

Учредитель журнала:
ООО Рекламно-издательская
фирма «Стройматериалы»

Журнал зарегистрирован
Министерством РФ по делам
печати, телерадиовещания
и средств массовой информации
ПИ №77-1989

Главный редактор
ЮМАШЕВА Е.И.

Редакционный совет:
РЕСИН В.И.

(председатель)

БАРИНОВА Л.С.

БУТКЕВИЧ Г.Р.

ВАЙСБЕРГ Л.А.

ВЕДЕРНИКОВ Г.В.

ВЕРЕЩАГИН В.И.

ГОНЧАРОВ Ю.А.

ГОРИН В.М.

ГРИДЧИН А.М.

ЖУРАВЛЕВ А.А.

КОВАЛЬ С.В.

КОЗИНА В.Л.

КРАСОВИЦКИЙ Ю.В.

ЛЕСОВИК В.С.

ПИЧУГИН А.П.

РУДЫЧЕВ А.А.

ФЕДОСОВ С.В.

ФИЛИППОВ Е.В.

ХИХЛУХА Л.В.

ЧЕРНЫШОВ Е.М.

ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.

Авторы

опубликованных материалов
несут ответственность

за достоверность приведенных
сведений, точность данных

по цитируемой литературе
и за использование в статьях

данных, не подлежащих
открытой публикации

Редакция

может опубликовать статьи
в порядке обсуждения

и разделяя точку зрения автора

Перепечатка

и воспроизведение статей,
рекламных

и иллюстративных материалов
возможны лишь с письменного

разрешения главного редактора

Редакция не несет ответственности
за содержание рекламы и объявлений

Адрес редакции:

Россия, 127434, Москва,

Дмитровское ш., д. 9, корп. 3

Тел./факс: (495) 976-22-08

(495) 976-20-36

E-mail: mail@rifsm.ru

http://www.rifsm.ru

Журнал «Строительные материалы»® 55 лет с отраслью4

Отрасль в современных экономических условиях

И.Г. ПОНОМАРЕВ

Строительный комплекс РФ в 2009 году: ожидания и реальность5

В.Г. ГАГАРИН

Макроэкономические аспекты обоснования
энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты
ограждающих конструкций зданий8

А.А. СЕМЕНОВ

Российский рынок щебня и гравия: итоги последних лет17

Нормативная база отрасли

П.Б. РАПОПОРТ, Н.В. РАПОПОРТ, А.В. КОЧЕТКОВ, О.Г. ТАСКАЕВ

Стандарты на методы испытаний дорожно-строительных материалов
и конструкций автомобильных дорог20

Устанавливается соответствие требованиям ГОСТ серии 5725, международной практике
и Закона «О техническом регулировании» стандартных методов испытаний, применяемых
в дорожной отрасли РФ. Имеют место недостаточная детализация этих методов
и необеспеченность этими методиками заданных точностей. Выявлена необходимость
проведения работ по проверке правильности стандартных методов испытаний в дорожной
отрасли. Установлено, что в дорожной отрасли применяется достаточно много норм,
противоречащих международному праву и практике, в том числе директивам и
стандартам ЕС.

А.В. КОЧЕТКОВ

Нарушение интеллектуальных прав в дорожном хозяйстве:
пример постановки проблемы27

Рассматривается актуальная проблема борьбы с контрафактом строительных материалов
и изделий на примере геосинтетических материалов.

Современные бетоны: наука и практика

Т.В. КУЗНЕЦОВА

Производство и применение сульфоалюминатных цементах29

Приведены основные этапы научных исследований по получению расширяющихся цементах,
невзрывчатых разрушающих вяжущих, сверхбыстротвердеющих и быстрохватывающихся
цементов, коррозионно-стойких цементов.

И.Н. ШИРИН-ЗАДЕ

Структура глинодоломитовых композиционных материалов33

Показано, что глинодоломитовые композиционные материалы, обожженные
при 750°C, имеют в своем составе минералы, обладающие вяжущими свойствами.
Это объясняет увеличение прочности материала при гидравлическом твердении.

В.С. ИЗОТОВ, Р.А. ИБРАГИМОВ

Влияние добавок – ускорителей твердения на свойства тяжелого бетона35

Представлены результаты исследования влияния добавок – ускорителей твердения
Мобет-1, Мобет марки 3 эконом, Sika® Rapid 2, сульфата алюминия и сульфата натрия
на свойства цементного теста и тяжелого бетона.

Г.В. НЕСВЕТАЕВ, А.Н. ДАВИДЮК

Гиперпластификаторы «Melflux» для сухих строительных смесей и бетонов ...38

Проведен сравнительный анализ эффективности гиперпластификаторов Melflux 5581
(новая добавка), Melflux 2641, Melflux 2651, Glenium 51, Glenium 30, Structuro 530.

Для этого исследованы напряжения сдвига цементного теста, полная пористость
и степень гидратации цемента, модуль упругости, ползучесть цементного камня, усадка,
контракционная пористость.

С.В. ФЕДОСОВ, А.М. ИБРАГИМОВ, А.С. РЕДЬКИНА, С.А. НЕСТЕРОВ

Контроль тепловых процессов, происходящих в теле монолитной железобетонной конструкции при зимнем бетонировании 40

Приведена постановка и проведение натурального эксперимента при зимнем бетонировании монолитного фундамента.

И.Н. ЧЕРНОВ

Современные материалы для производства бетонных конструкций 44

ГК ЕТС поставляет химические продукты более чем от 150 зарубежных производителей. Для изготовления ЖБИ ГК ЕТС поставляет поликарбоксилатные пластификаторы, воздухововлекающие добавки, ускорители твердения, форморазделительные масла, поверхностный замедлитель схватывания бетона, противоморозные добавки, специальные волокна, предназначенные для армирования бетона. Представлены специальные текстильные материалы для армирования бетонных конструкций и описана возможность их применения, а также архитектурный поверхностный замедлитель схватывания, позволяющий создать поверхность с обогащенным наполнителем.

Современные материалы и технологии бетонов. Методы контроля качества (Информация) 46

С.В. ФЕДОСОВ, М.В. АКУЛОВА, Т.Е. СЛИЗНЕВА, В.А. ПАДОХИН, В.И. КАСАТКИНА

Определение технологических параметров механомагнитной активации водных систем с пластифицирующей добавкой 49

Исследовано влияние механомагнитной активации воды затворения с пластифицирующей добавкой на физико-механические свойства цементного теста и камня на портландцементном вяжущем. Установлено, что применение механомагнитной активации позволяет существенно снизить количество пластифицирующей добавки без ухудшения основных характеристик цементных композитов. Получены оптимальные технологические параметры проведения механомагнитной активации.

С.В. ФЕДОСОВ, В.И. БОБЫЛЕВ, Ю.А. МИТЬКИН, А.М. СОКОЛОВ

Исследование суточной прочности бетона при электротепловой обработке токами различной частоты 52

Выполнены экспериментальные исследования суточной прочности стандартных образцов бетона класса В20 при использовании электротепловой обработки токами промышленной (50 Гц) и ультразвуковой частоты 20 кГц. В результате исследований получена область благоприятного сочетания параметров электротепловой обработки. Дано качественное объяснение полученных результатов. Приведенные результаты являются основой для выбора параметров электротепловой обработки, оптимизации технологического процесса изготовления бетонных и железобетонных изделий, разработки перспективных технологических процессов.

В.И. КАЛАШНИКОВ

От практики к теории, а от теории к практике, или Ответ на полемические заметки (№ 2–2009 г.) 54

Рассмотрен вопрос получения бетонов прочностью 65 МПа с осадкой бетонной смеси 20–22 см при расходе цемента 300 кг с модификатором МБ-01 и о вреде запредельного расхода цемента в самоуплотняющихся бетонах марок 1200–1500.

Опыт производства стеновых блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения на заводах силикатного кирпича (Информация) 59

Н.П. БОГДАНОВА, И.А. БЕЛОВ, Е.Я. ПОДЛУЗКИЙ, Е.С. КЛИНЧУК, Т.Л. ВЕРБИЦКАЯ

Ячеистый бетон пониженной плотности для изоляции строительного и технического назначения 63

Рассматриваются технологические приемы дисперсного армирования волластонитом автоклавного ячеистого бетона пониженной плотности для строительной изоляции. Проведены исследования и получены экспериментальные данные физико-механических и теплофизических свойств ячеистого бетона пониженной плотности, изготовленного в промышленных условиях.

Н.Н. ФЕДОСОВ, Е.С. КЛИНЧУК, Т.Л. ВЕРБИЦКАЯ

Новые строительные материалы 67

Рассмотрены перспективы применения отходов производства автоклавного ячеистого бетона при производстве различных видов строительных материалов на примере ОАО «Сморгоньсиликатобетон».

В.Н. МОРГУН, А.Ю. БОГАТИНА, Л.В. МОРГУН, П.В. СМИРНОВА, Я.С. НАБОКОВА

О ячеистом бетоне пониженной сейсмоустойчивости 73

Научно обосновано снижение сейсмической уязвимости пенобетонов при дисперсном армировании их синтетическими волокнами. Приведены результаты экспериментальных исследований бетонных образцов и перемычек, подтверждающие возможность и эффективность применения фибропенобетона в изгибаемых элементах строительных конструкций.

«СтройСиб–2010»: повод для оптимизма есть (Информация) 77

А.М. ГЛУШКОВ, В.М. СМИРНОВ

Технологический комплекс ПБК-Р для производства неавтоклавного пенобетона 81

Представлена резательная технология и технологический комплекс для производства неавтоклавного пенобетона средней плотностью от 300 до 500 кг/м³. В данной технологии эффективно использован принцип самотермообработки пенобетона.

Л.Д. ШАХОВА, С.А. САМБОРСКИЙ, Ж.А. ПАЛАЛАНЕ

Причины деформационных усадок пенобетонов 84

Рассмотрены технологические приемы дисперсного армирования волластонитом автоклавного ячеистого бетона пониженной плотности для строительной изоляции. Определены физико-механические и теплофизические свойства ячеистого бетона пониженной плотности, изготовленного в промышленных условиях.

Материалы

М.А. НУРИЕВ, А.В. МУРАФА, Д.Б. МАКАРОВ, В.Г. ХОЗИН

Битумные эмульсии для гидроизоляции и защиты от коррозии строительных конструкций87

Разработанные анионоактивные битумные эмульсии исследованы в качестве гидроизоляционных и антикоррозионных покрытий строительных конструкций и изделий. Определен процесс формирования антикоррозионных покрытий из эмульсий на металлических и бетонных поверхностях, проведены испытания покрытий на водо- и химстойкость в различных агрессивных средах. Осуществлена антикоррозионная защита разработанными составами элементов металлических коммуникаций и опорных конструкций из кирпича и бетона в системе ЖКХ.

К.Н. ЛУКЪЯНЕНКО, В.Ф. СТЕПАНОВА, С.Е. СОКОЛОВА, Г.С. РОЯК, Э.М. ВЕРЕНКОВА

Экологичные защитно-декоративные покрытия «Полифан» для бетонных конструкций90

Проведены лабораторные и стендовые испытания защитно-декоративных покрытий «Полифан» для бетонных конструкций, позволившие рекомендовать их для применения при сооружении объектов гражданского, промышленного и транспортного назначения, в том числе в тоннелестроении и мостостроении.

А.И. БЕК-БУЛАТОВ

Пенополистирол – история создания и долговечность92

Приведена история создания пенополистирола и его внедрение в производство, в том числе в России. Дано определение долговечности материала и описаны условия эксплуатации материала в конструкциях. Основными зарубежными стандартами, по которым оценивается долговечность пенополистирола в конструкциях, является ASTM C1512-07 и EN 12091. В России в настоящее время не существует утвержденного стандарта, регламентирующего требования к долговечности. Приведены результаты испытаний, проведенные по методике НИИСФ РААСН.

Новости94СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®

наука

тематический раздел журнала «Строительные Материалы» № 3 – 2010 г.

Н.И. МАКРИДИН, Е.В. КОРОЛЕВ, И.Н. МАКСИМОВА, Ю.В. ОВСЮКОВА

Прогностические параметры качества структуры бетона повышенной прочности99

Приведены результаты экспериментальной оценки кинетических зависимостей, коэффициента внутреннего трения и динамического модуля упругости для бетонов конструкционного назначения повышенной прочности.

И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, В.В. СТРОКОВА, Е.В. МИРОШНИКОВ, А.Б. БУХАЛО, Н.И. КОЖУХОВА, С.С. УВАРОВА

Некоторые возможности применения полнопрофильного РФА в задачах строительного материаловедения102

Излагаются некоторые вопросы применения полнопрофильного рентгенофазового анализа (РФА), основанного на методе Ритвельда, для решения аналитических задач строительного материаловедения.

Александр Александрович БАЙКОВ (1870–1946)106

В.Л. ИГОНИН

Исследование влагопоглощения базальтоволокнистыми материалами110

Исследованы особенности взаимодействия воды со строительными материалами на основе базальта (базальтовой ваты и плит на ее основе). В ходе исследования кинетики влагопоглощения гравиметрическим методом были выявлены основные сопутствующие процессы – вымывание вещества из минеральной породы, образование гидратной оболочки на базальте и структурный переход связующего плит в равновесное состояние. Учет обнаруженных процессов при прогнозировании необходим для более точного предсказания срока эксплуатации таких материалов.

А.М. ДАНИЛОВ, И.А. ГАРЬКИНА, О.В. КОРОЛЕВА, В.А. СМЕРНОВ

Математические методы при разработке и управлении качеством материалов специального назначения112

На основе опыта разработки и управления качеством материалов специального назначения дается оценка возможности применения ряда математических методов в строительном материаловедении. Приводится алгоритм синтеза материалов как сложных систем.

Д.И. ШТАКЕЛЬБЕРГ, Б.И. ВИЛЬГЕ, С.В. БОЙКО, Ф.А. ГОЛЬДМАН

Физическая сущность линейных корреляций прочность–электрическое сопротивление при контроле упрочнения цементно–бетонных композиций118

На основании объединения концепции Т. Пауэрса и закона Д. Арчи физически обосновано существование линейных зависимостей прочность–электрическое сопротивление при твердения цементных паст, строительных растворов и бетонов. При этом формула Арчи адаптирована к динамическому характеру процессов структурообразования и упрочнения. Показано, что возрастание электрического сопротивления в процессах твердения обусловлено увеличением гелевой составляющей формирующейся пористости, а также изменением ее собственных электропроводящих свойств.

Подписка на журнал «Строительные материалы» с тематическим разделом «Строительные материалы: наука» осуществляется по индексам:

70886 каталог
«Пресса России»79809 каталог
агентства «Роспечать»**Не забудьте оформить подписку своевременно!**

Журнал «Строительные материалы»[®]

55 лет с отраслью

Наши главные



П.П. Будников



А.А. Крупин



А.Н. Садовский



М.Г. Рублевская

55 лет назад было начато издание печатного органа Министерства промышленности строительных материалов СССР – журнала «Строительные материалы». В послевоенные годы промышленность строительных материалов фактически создавалась заново, был взят курс на индустриализацию строительства, и на журнал возлагались задачи «обобщать и распространять опыт новаторов, помогать кадрам промышленности совершенствовать технику производства, создавать новые эффективные изделия и конструкции, улучшать качество продукции...».

В течение многих лет главным редактором журнала был выдающийся ученый в области химии и технологии силикатов член-корреспондент АН СССР П.П. Будников. Он привлек в журнал крупнейших ученых, работающих в различных областях строительного материаловедения. В разные годы в журнале выступали П.А. Ребиндер, Ю.М. Бутт, П.И. Боженов, Б.Г. Скрамтаев, А.Н. Попов, В.Н. Михайлов, В.И. Сорокер, А.В. Волженский, В.С. Фадеева, Г.И. Книгина, С.В. Шестоперов, В.Б. Ратинов и многие другие.

Активно пропагандировалась на страницах журнала вузовская наука. Многолетние деловые взаимоотношения связывают редакцию с московскими вузами МГСУ, РХТУ, МАДИ, МИИТ, петербургскими СПбГАСУ, Технологическим институтом, ПГУПС, Воронежским, Ивановским, Ростовским, Пензенским, Казанским, Самарским, Томским, Новосибирским, Тюменским, Красноярским и другими строительными институтами (ныне академии и университеты). Традиционно тесные контакты редакция поддерживает с Белгородским государственным технологическим университетом, созданным в 1973 г. по инициативе министра промышленности строительных материалов И.А. Гришманова с целью подготовки специалистов для отрасли.

Большой вклад в укрепление связи журнала с отраслевыми научно-исследовательскими институтами внес **А.А. Крупин**, назначенный главным редактором в 1970 г. Фронтоник, защитник ленинградской «дороги жизни», в мирное время он руководил организационной работой промышленности строительных материалов в Эстонии и на Урале, а затем возглавил головной институт по строительным материалам – ВНИИСТРОМ.

В 1977 г. МПСМ СССР поручило руководство журналом известному организатору промышленности **А.Н. Садовскому**, уделявшему большое внимание технической реконструкции действующих предприятий. Большой личный вклад внес Анатолий Николаевич в создание первых отечественных автоматизированных кирпичных заводов. Под его руководством разрабатывались проекты высокотехнологизированных предприятий теплоизоляционных минераловатных изделий, силикатобетонных изделий, керамзитового гравия и др. Благодаря А.Н. Садовскому значительно укрепилась связь журнала с промышленностью.

Имея высокий авторитет среди специалистов и широкую известность среди производителей, журнал фактически является связующим информационным звеном между учеными вузов, исследовательских институтов и специалистами предприятий промышленности строительных материалов и стройиндустрии.

В 2002 г. Федеральный институт промышленной собственности присвоил товарный знак журналу «Строительные материалы»[®], что является признанием журнала как советского бренда, а также высокой ценности научной, технической и экономической информации, публикуемой в лучших традициях издательской культуры.

«Пятилетка», прошедшая со времени юбилея журнала, была насыщенной и напряженной, как и жизнь промышленности.

В 2007 г. ушла из жизни главный редактор журнала и генеральный директор издательства «Стройматериалы» **Маргарита Григорьевна Рублевская** – человек, усилиями, волей и высочайшим профессионализмом которого в годы перестройки был сохранен отраслевой научно-технический журнал «Строительные материалы»[®].

Новая редакция, сформированная под руководством М.Г. Рублевской в начале 90-х гг. прошлого века, не только восприняла все новое и прогрессивное в издательском деле, но и вплатила и продолжает бережно сохранять и умножать традиции издательской культуры, формирования отношений с авторами, читателями и рекламодателями.

Редакция продолжила работу над успешными проектами и начала новые. Существенно расширено взаимодействие с Российской академией архитектуры и строительных наук (РААСН). Специалисты редакции являются постоянными участниками научных чтений, конференций, годовых собраний академии. Результаты работ, финансируемых РААСН, находят отражение на страницах журнала, мы с удовлетворением отмечаем их практическую реализацию.

Научно-практическая конференция «Развитие керамической промышленности России» превратилась в крупный международный проект КЕРАМТЭКС. С 2007 г. успешно развивается Международная научно-практическая конференция «Производство силикатного кирпича в России: СИЛИКАТЭКС». Следует отметить, что специалисты и ученые силикатной подотрасли не встречались в аналогичном формате с конца 80-х гг. прошлого века.

В целях дальнейшего продвижения издания стенд журнала был представлен на 23-й Международной выставке керамической индустрии Ceramics China-2009 в Гуанчжоу (Китай) и на 11-й Международной отраслевой выставке оборудования, технологий и сырья для индустрии керамики и порошковой металлургии CERAMITEC-2009 в Мюнхене (Германия).

Свое 55-летие журнал встречает в эпицентре финансово-экономического кризиса. В этих условиях проблемы строителей, промышленности строительных материалов, отраслевой и вузовской науки редакции близки и понятны, так как журнал является неотъемлемой частью строительного комплекса страны. Вместе мы преодолеем все трудности, не согнемся под напором обстоятельств и будем гордиться своими делами.

Оставайтесь с нами!

Главный редактор **Е.И. Юмашева**

И.Г. ПОНОМАРЕВ, канд. техн. наук, ген. директор ИКФ «ИТКОР» (Москва)

Строительный комплекс РФ в 2009 году: ожидания и реальность

Август 2009 г. характеризовался некоторым замедлением развития кризисных процессов. Однако аналитики ИКФ «ИТКОР» оценивали этот факт не слишком оптимистично, поскольку считали, что «дна» кризиса в 2009 г., по крайней мере в промышленности строительных материалов, достигнуто не будет [1]. Следует отметить, что этот вывод не вполне совпадал с официальной точкой зрения Минэкономразвития и других структур, формирующих экономическую политику России. По завершении III квартала, продемонстрировавшего формальную стабилизацию и даже признаки небольшого роста основных показателей, расхождение в наших оценках усилилось. Из уст ряда высокопоставленных экспертов и руководителей ключевых министерств тогда прозвучало, что кризис в России закончился, грядет рост объема инвестиций и деловой активности. ИКФ «ИТКОР», как коллективный эксперт, в течение многих лет занимающийся изучением строительного комплекса РФ, не изменил своей позиции, присоединившись к мнению коллег, утверждающих, что интерпретация статистических данных некорректна (рис. 1).

Действительно, выход в III квартале 2009 г. динамики показателей на горизонтальный участок и последовавший вслед за этим их некоторый подъем ввели многих в искушение заявить о конце кризиса. Однако следует помнить, что на графиках представлена не абсолютная величина показателей, а их относительный индекс в процентном отношении к соответствующему месяцу предыдущего года. Очевидно, что в III–IV квартале 2008 г. все показатели лавинообразно снижались, будучи по абсолютной величине <100% по отношению к 2007 г. Поэтому визуальная стабилизация и даже положительный знак производных на графиках рис. 1 в

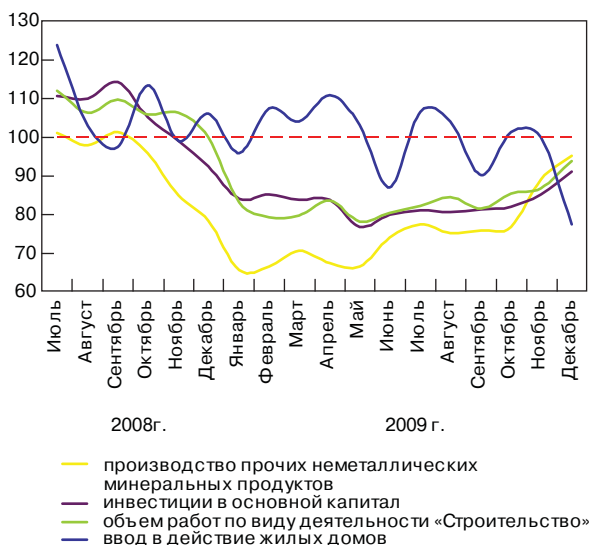


Рис. 1. Динамика основных показателей инвестиционно-строительной деятельности в России в 2008–2009 гг. в % к соответствующему периоду предыдущего года, финансовые показатели – в сопоставимых ценах

IV квартале 2009 г. отнюдь не означали действительного улучшения ситуации. Снижение величины всех основных показателей продолжалось, причем весьма интенсивно. Например, показатель инвестиций в основной капитал составил в декабре 2009 г. 91% по отношению к декабрю 2008 г. и всего 80% к декабрю 2007 г.

Показатели инвестиционно-строительной деятельности в 2009 г. в целом представлены в табл. 1 и на рис. 2. Данные табл. 2 показывают расхождение прогнозных и фактических показателей инвестиционно-строительной деятельности в 2009 г. Прокомментируем приведенные цифры.

Фактическая величина ввода жилой площади превзошла ожидания как строителей, так и аналитиков. Президент Ассоциации строителей России Н.П. Кошман в одном из выступлений в сентябре 2009 г. прогнозировал ввод жилья около 53 млн м²; самые низкие оценки аналитиков были на уровне 42–45 млн м². Тем не менее многие эксперты полагают, что официальная отчетная цифра Росстата достаточно близка к истине, однако цена ее велика: в течение года было достроено все, что можно было достроить. Учитывая, что со второй половины 2008 г. новых объектов было заложено крайне мало, есть все основания опасаться, что на протяжении 2010–2011 гг. последует откат на позиции 2003–2004 гг. (около 40 млн м²), при этом нет уверенности, что затем сразу последует бум строительства.

Показатель инвестиций в основной капитал можно считать интегральным для инвестиционно-строительной деятельности. Он оказался несколько выше, чем ожидалось: не 78,6% к предыдущему году, а 82,4%. И это вселяет оптимизм в специалистов Минэкономразвития. Однако представляется, что в действительности причины для этого оптимизма кроются в другом: по итогам года средней уровень цен на нефть оказался не 54 USD за баррель, как это прогнозировалось в июле, а 61 USD.

При этом объем инвестиций хоть и оказался больше, чем ожидалось, продолжает падать. Это закономерно,

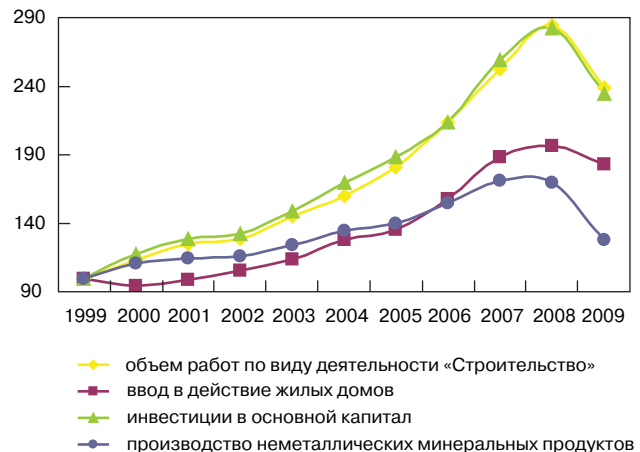


Рис. 2. Динамика индексов показателей состояния строительного комплекса и итоги 2009 г.

Таблица 1

Основные показатели инвестиционно-строительной деятельности в России по данным Росстата (в ценах соответствующих лет)	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Инвестиции в основной капитал, млрд р./% к пред. году	3534 110,9	4580,5 113,7	6418,7 121,1	8764,9 109,8	7339,9 83
Объемы работ, выполненных по виду деятельности «Строительство», млрд р. / % к пред. году	1711,7 110,5	2246,8 115,7	3293,3 118,2	4528,1 112,8	3869,1 84
Ввод в действие жилых домов, млн м ² /% к предыд. году	43,6 106,3	50,6 116,1	61 119,4	63,8 104,1	59,8 93,3
Ввод в действие зданий нежилого назначения, млн м ² /% к пред. году	11,5 107,5	13,3 115,7	23,6 176,7	20,3 86,4	н/д

Таблица 2

Показатель	Прогноз июля 2009 г.	Факт (официальные данные)
Инвестиции в основной капитал, млрд р./% к пред. году	6950,8 78,5	7339,9 82,4
Ввод жилой площади, млн м ² /% к пред. году	51–54 80–85	59,8 93,3

так как «целый год строительные компании занимались не маркетингом, проектированием и строительством, а переговорами с банками о реструктуризации долгов» [2]. В 2010 г. многие строительные организации будут вынуждены брать кредиты не на новые проекты, а преимущественно на рефинансирование текущей задолженности и пополнение оборотных средств. В результате цикл подготовки к строительству сдвинулся по существу на неопределенный срок, но не менее чем на год. Как определил ситуацию аналитик журнала «Эксперт» Илья

Таблица 3

Материал	2008 г., % к пред. году	2009 г., % к пред. году
Цемент	89,4	82,7
Смесь бетонная (товарный выпуск)	90,5	70,2
Кирпич строительный, в т. ч. – кирпич керамический – кирпич силикатный	102,2	62,7 68 52,7
Блоки мелкие стеновые из ячеистого бетона	111	72,1
Нерудные строительные материалы	106	61,9
Известь строительная		57
Известь технологическая	99,6	81,2
Гипс	101,2	80,1
Плитки керамические для внутренней облицовки	108,5	72,3
Плитки керамические фасадные	122,3	64,2
Плитки керамические для полов	106,6	86,9
Волокнистые теплоизоляционные материалы	102,3	85,4
Материалы мягкие кровельные и изоляционные	98,7	83,8

Ступин, «строительная отрасль пребывает в полуобморочном состоянии» [2], и, как отмечают многие аналитики, корреляция с ценами на нефть здесь весьма слабая.

Связка инвестиции–строительство является лишь одним из звеньев весьма длинной цепи, имеющей продолжение в обе стороны. Строительство как таковое определяет ситуацию (и одновременно зависит от нее) в промышленности строительных материалов; которая, в свою очередь, связана с добычей и переработкой природных сырьевых ресурсов, используемых в стройиндустрии. Показатели деятельности отдельных подотраслей последней за 2009 г. оставляют не слишком много поводов для оптимизма (табл. 3).

Общий индекс объема производства в промышленности строительных материалов составляет около 73% к 2008 г., при этом предприятия отрасли загружены в среднем на 50%.

Наибольшее падение согласно табл. 3 зафиксировано в производстве силикатного и шлакового кирпича (47,3%), извести строительной (43%), нерудных строительных материалов (38,1%).

Чего же следует ожидать в 2010 году?

В табл. 4 представлены основные показатели прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2009–2012 гг., опубликованные 22 декабря 2009 г. Напомним, что прогноз разрабатывается и регулярно корректируется Минэкономразвития РФ в рамках «Сценарных условий функционирования экономики России». В скобках указаны соответствующие цифры прогноза от 15 июля 2009 г.:

1а – консервативный сценарий (стагнация экономики вследствие продолжающегося сокращения инвестиционного спроса);

2 – умеренно-оптимистичный сценарий (оживление в экономике вследствие продолжения инвестиционных программ естественных монополий и поддержки государством внутреннего спроса);

2б – нефтяной сценарий (оживление в экономике, обусловленное ростом цен на нефть и более интенсивным выходом из кризиса мировой экономики).

Сопоставляя цифры прогнозов от 15 июля и 22 декабря 2009 г., нетрудно заметить, что последний весьма оптимистичен. По нашему мнению, в основе этого оптимизма два фактора: продолжающаяся оставаться гипертрофированной оценка зависимости экономики России от цен на нефть и некорректная интерпретация показателей динамики развития страны во II полугодии 2009 г. *По мнению экспертов ИКФ «ИТКОР», серьезный и объективный анализ этих показателей позволяет говорить о продолжающемся развитии кризисных явлений, по крайней мере в строительном комплексе.*

На основе своих исследований и оценок ИКФ «ИТКОР» сделан собственный прогноз развития промышленности строительных материалов на период до 2012 г. В табл. 5 представлено несколько вариантов прогноза потребления важнейших видов строительных материалов.

Таблица 4

Основные показатели прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2009–2012 гг.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Цены на нефть Urals (мировые), USD/барр.				
Вариант 1а	61	58 (55)	59 (56)	60 (57)
Вариант 2	(54)	56	70	71
Вариант 2b		69 (60)	74 (70)	81 (77)
Валовой внутренний продукт, темп роста %				
Вариант 1а	91,5	101,3 (100,1)	101 (101,5)	102,9 (103,2)
Вариант 2	(91,5)	103,1 (101)	103,4 (102,6)	104,2 (103,8)
Вариант 2b		91,5 (101,7)	103,5 (102,7)	103,6 (103,8)
Промышленность, в %				
Вариант 1а	88,5	101,7 (99,7)	101,9 (100,8)	103,4 (101,5)
Вариант 2	(87,5)	102,8 (100,8)	102,9 (101,7)	104,3 (101,9)
Вариант 2b		103,1 (100,8)	103 (102,3)	104,8 (102,9)
Инвестиции в основной капитал, %				
Вариант 1а	82,4	101,1 (97,2)	103,6 (104,1)	108,6 (107,8)
Вариант 2	(78,6)	102,9 (100,4)	107,9 (105,7)	110,3 (109)
Вариант 2b		104 (98,8)	109,4 (105,6)	112 (108,5)

Таблица 5

Прогноз потребления основных видов строительных материалов на период до 2012 г.	2008 г.	2009 г.		Прогноз								
	Отчет	прогноз июля 2009г.	факт (пред-вар. оценка)	Вариант 2 умеренно-оптимистич-ный			Вариант 2 б высокие цены на нефть			Вариант 3 «интуитивный»		
				2010 г.	2011 г.	2012 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Цемент, млн т	60,6	47,4	41,2	50,3	53,4	58	50,8	54,7	60,4	44	49	55
Стеновые материалы, млрд шт. усл. кирпича	20,2	15	12,7	15,2	16	17,2	15,4	16,4	17,9	13	14,7	17
Сборные железобетонные конструкции и изделия, млн м ³	28,4	21,5	17,5	22,6	23,5	25,2	22,8	24,1	26,2	18	20,5	23
Минераловатные тепло-изоляционные материалы, млн м ³	22,5	20,4	17,4	21,6	23,7	26,6	21,8	24,3	27,7	18,5	21,5	24
Плитка керамическая всех видов, млн м ²	191,2	150	133,6	156,1	168,2	185,2	157,8	172,3	192,7	140	157	175
Линолеум, млн м ²	143,2	107	132,3	124,6	132,4	143,9	125,9	135,6	149,7	122	128	135
Нерудные строительные материалы, млн м ³	434,6	338	270	338,6	364,8	401,8	342,2	373,8	418,1	280	320	390
Стекло листовое, млн м ²	202,6	168	187,7	190	199,3	221,3	192	204,3	230,3	190	205	216

Варианты 2 и 2b просчитаны на формализованной модели и жестко привязаны к официальному прогнозу социально-экономического развития России (варианты 2 и 2b). В частности, модель опирается на прогнозную величину объемов инвестиций в основной капитал. Можно спорить, хороша или нет модель, но если принять прогнозируемую специалистами Минэкономразвития динамику развития страны, то с ее помощью мы получим представленные в колонках «2» и «2b» контрольные цифры объемов потребления строительных материалов.

Вариант 3 – «интуитивный» не связан с какими-либо моделями и опирается исключительно на экспертную оценку динамики предшествующего периода и субъективное видение экспертами перспективы дальнейшего развития ситуации. Несогласие экспертов с «машинным» прогнозом – это, по существу, несогласие с интерпретацией того, что происходило в последние месяцы, и, как следствие, расхождение в ожиданиях.

По нашему мнению, результаты 2009 г., оказавшиеся значительно хуже ожидавшихся даже в июле–августе 2009 г., не дают оснований для беспечности и надежды на положительную динамику.

Тем не менее мы считаем, что прогноз варианта 3 достаточно оптимистичен – в том смысле, что 2010 г. согласно этому прогнозу все же является переломным. Другое дело, каким будет последующий процесс релаксации. Это покажет будущее: практика, как известно, – критерий истины.

Список литературы

1. Пономарев И.Г. Российский строительный комплекс в условиях кризиса // Строит. материалы. 2009. № 8. С. 4–8.
2. Ступин И. Вернитесь на стройку! // Эксперт. 2010. № 2 (688).



17 мая 2010 г. исполняется 60 лет Владимиру Геннадьевичу Гагарину, доктору технических наук, профессору, заведующему лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН.

Практически вся трудовая жизнь В.Г. Гагарина связана с Научно-исследовательским институтом строительной физики, где с 1975 г. он прошел путь от старшего техника до заведующего лабораторией строительной теплофизики. В.Г. Гагарин в 1978 г. закончил Ленинградский институт водного транспорта, где специализировался на энергоснабжении промышленных предприятий, а в 1994 г. — Экономическую академию при Министерстве экономики РФ, где специализировался на макроэкономическом планировании и регулировании. В 1985 г. он защитил кандидатскую, а в 2000 г. — докторскую диссертацию на тему «Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий».

В.Г. Гагарин является одним из лидеров научной школы по строительной теплофизике в области теории теплопереноса в строительных материалах и ограждающих конструкциях. В его научные интересы входят комплексные исследования теплофизических свойств ограждающих конструкций, в том числе теплозащиты, влажностного режима, аэродинамики в воздушных прослойках. Он занимается также теплофизическими свойствами строительных материалов, экономическими вопросами теплозащиты и энергосбережения, историей строительной физики и др.

Владимиром Геннадьевичем были разработаны методы расчета нестационарного влажностного режима ограждающих конструкций и определены расчетные характеристики материалов для этих расчетов, на основании чего опубликовано Руководство по расчету. Существенный вклад им сделан в исследование эксплуатационных теплофизических показателей строительных материалов и в развитие соответствующих теоретических положений, создана теория расчета гистерезиса сорбционного увлажнения материалов, нестационарной теплопроводности в материалах при их контакте с поверхностью воды и др. Он участвовал в разработке и внедрении конструкций стеновых панелей с повышенными теплозащитными свойствами на ДСК в городах Петрозаводск, Норильск, Сургут и др. Принимал участие в научном сопровождении проектирования и строительства ряда уникальных объектов, например, Храма Христа Спасителя. В последнее время он занимается разработкой методов расчета при проектировании ограждающих конструкций с повышенными теплозащитными свойствами, например, навесных теплоизоляционных фасадов.

В.Г. Гагарин является автором нескольких нормативных документов. Им опубликовано более 140 научных работ и изобретений, в том числе монографии. Под его руководством защищено пять кандидатских диссертаций. Он председатель диссертационного совета при НИИСФ по специальности «Строительные конструкции, здания и сооружения», член диссертационного совета при МГСУ по специальности «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

В.Г. Гагарин Почетный строитель России, лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники. За исследования в области долговечности материалов и конструкций он награжден медалью РНТО строителей имени профессора В.М. Москвина, за вклад в развитие российской науки ОВК — медалью НП АВОК имени профессора И.Ф. Ливчака.

В.Г. Гагарин является членом президиума АВОК и членом редакционного совета журнала «Жилищное строительство». С журналом «Строительные материалы»[®] Владимира Геннадьевича связывают многие годы плодотворного сотрудничества: он постоянный автор, строгий, но доброжелательный рецензент, научный консультант.

Редакция, редакционный совет, коллеги поздравляют Владимира Геннадьевича с 60-летием и желают ему здоровья, новых научных достижений, успехов во всех начинаниях и неиссякаемой энергии.

УДК 699.86

В.Г. ГАГАРИН, д-р техн. наук, заведующий лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН (Москва)

Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий

С 1960-х гг. раздаются призывы к повышению уровня теплозащиты зданий с целью экономии энергетических ресурсов. Они носят в основном декларативный характер, оторваны от реалий строительной практики, в них преобладают эмоциональные доводы типа «хватит топить улицу». Игнорируются традиции отечественного строительства.

Традиция нормирования строительной деятельности существует в России с 1811 г., когда императором Александром I был подписан первый «Урочный реестр по части гражданской архитектуры, или Описание разных работ, входящих в состав каменных зданий», разрабо-

танный Инженерным департаментом при Военном министерстве. С тех пор сохранялась преемственность нормирования и требований к техническим решениям конструкций зданий. Строительные нормы учитывали многовековой народный опыт строительства и достижения строительной науки. Требования к теплозащите стен зданий постепенно совершенствовались и повышались с учетом возможностей практического строительства и экономической ситуации в стране. В частности, в СССР были введены нормы на удельные теплопотери здания. В последних советских СНиП II-3-79*

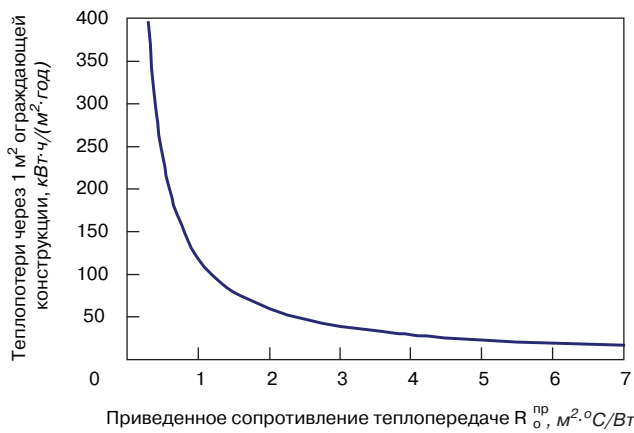


Рис. 1. Зависимость теплопотери через 1 м² ограждающей конструкции от приведенного сопротивления теплопередаче для климатических условий Москвы

«Строительная теплотехника» было введено нормирование приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Это означало практический учет и ограничение теплопотери через теплопроводные включения конструкций, что отражало изменившиеся конструктивные решения ограждений и позволило в 1980-е гг. перейти на массовое строительство зданий из энергоэффективных ограждающих конструкций.

Взвешенная политика в области повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций была нарушена, когда в 1995 г. вступили в силу Изменения № 3 к СНиП II-3–79*, согласно которым резко повысились требуемые значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Для стен эта величина с 2000 г. была повышена более чем в три раза по сравнению с существовавшей ранее. Это беспрецедентное в инженерной практике решение не было обеспечено проектными решениями ограждающих конструкций с таким уровнем теплозащиты. К такому повороту событий оказались не готовы производители основных строительных материалов, а также строители, не владевшие новыми технологиями. В результате сократился объем строительства, в том числе жилищного, снизилось его качество. Никаких статистических данных о полученной в стране экономии энергии на отопление зданий неизвестно. Не проведен анализ результатов этого гигантского эксперимента над базовой отраслью страны.

С целью соблюдения новых норм по теплозащите были разработаны, внедрены и постепенно улучшаются новые конструкции стеновых ограждений. Несмотря на большую работу по их совершенствованию, они значительно дороже применявшихся ранее, и требуют дальнейшей доработки. Большинство новых конструктивных решений с трудом соответствует требованиям действующих СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий». Расчетные значения приведенного сопротивления теплопередаче стен зданий несколько ниже требуемого значения с 2000 г., но больше минимально допустимого значения и позволяют получить нормируемые значения удельного расхода тепловой энергии на отопление зданий, так называемый потребительский подход. Например, в Москве требуемое значение приведенного сопротивления теплопередаче стен жилых зданий с 2000 г. составляет 3,13 м²·°С/Вт, но допускается его снижение до 1,97 м²·°С/Вт при условии удовлетворения требованиям к удельному расходу тепловой энергии на отопление здания. Различия в теплопотерях через ограждающую конструкцию при данных значениях приведенного сопротивления теплопередаче не-

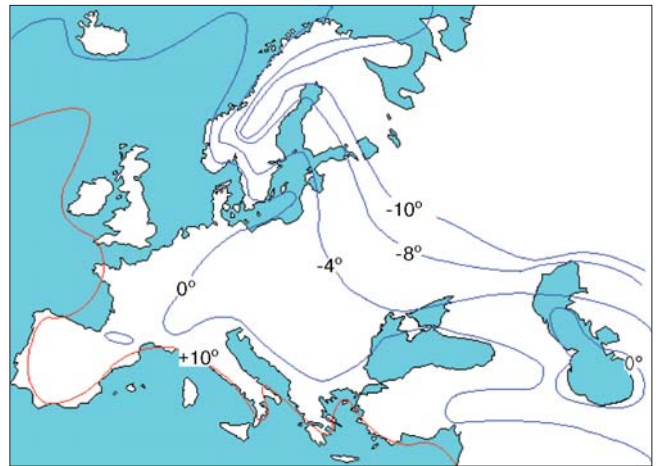


Рис. 2. Изотермы температуры воздуха в Европе в январе (рис. предоставлен А.П. Паршевым)

большое (рис. 1), поэтому на удельный расход тепловой энергии на отопление здания изменение приведенного сопротивления теплопередаче стен в указанных пределах сказывается незначительно. Характер зависимости, приведенной на рис. 1, показывает, что чем выше достигнутый уровень теплозащиты, тем меньший эффект дает дальнейшее его повышение.

Повышение требований к теплозащите зданий приводит не только к повышению стоимости строительства, но и отрицательно влияет на долговечность ограждающих конструкций. Особые сложности наблюдаются при строительстве стен с приведенным сопротивлением теплопередаче выше 1,5–2 м²·°С/Вт. Долговечность этих стен в целом ниже, чем традиционно применяемых в России. Так, конструкции навесных теплоизоляционных фасадов проектируются в настоящее время с долговечностью 50 лет. Однако, по заключениям экспертов из Германии, где эти фасады эксплуатируются около 40 лет, продолжительность межремонтного периода для фасадов со скрепленной теплоизоляцией и тонким штукатурным слоем составляет 20 лет [1]. В климатических условиях России этот период вряд ли будет больше.

В 2008 г. автор участвовал в натурном обследовании 51 здания в Москве, наружные стены которых выполнены с облицовкой из кирпичной кладки. Несмотря на то что срок эксплуатации этих зданий не превышал десяти лет, на их наружных стенах были выявлены различные повреждения, вплоть до обрушения облицовочного слоя [2]. Аналогичные разрушения многослойных стен обнаружены во многих регионах страны. В связи с изложенными обстоятельствами возникает вопрос: чем обосновано резкое повышение теплозащиты стен выше значений, проверенных десятилетиями (и соответствующих кладке толщиной в два шелевых кирпича или в два с половиной полнотелых для условий Москвы и Санкт-Петербурга)?

Призывы к дальнейшему повышению требований к теплозащите зданий звучат и в настоящее время. Вызывает тревогу, что люди, их высказывающие, далеки от проблем ограждающих конструкций. Они не оценивают последствия, к которым может привести дальнейшее повышение требований к теплозащите. Аргументируются подобные устремления, как и 40 лет назад, необходимостью энергосбережения. Приводятся случайные данные из зарубежных источников без анализа правомерности их сопоставления с аналогичными российскими данными. Экономическое обоснование предлагаемых решений или не делается вообще, или делается с заведомыми ошибками. Например, длительное время исполь-

* Расчет по формуле $Q = 0,024 \text{ ГСОП} / R_0^{\text{пр}}$, где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год; Q – годовые теплопотери через 1 м² конструкции, кВт·ч/(м²·год), $R_0^{\text{пр}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции, м²·°С/Вт.

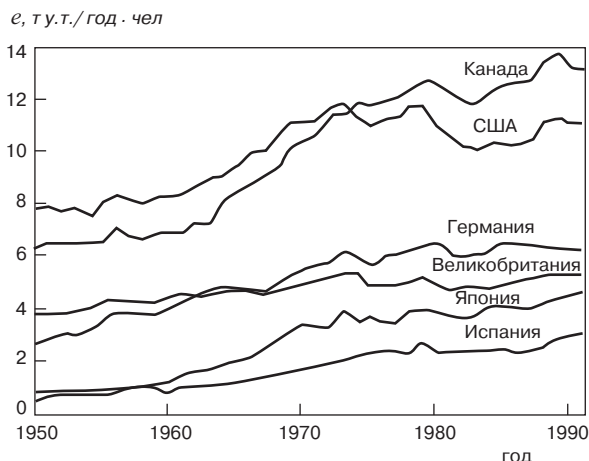


Рис. 3. Изменение потребления энергии на душу населения в развитых странах мира [9]

зовался метод определения «экономически целесообразного сопротивления теплопередаче по минимуму приведенных затрат», содержащий элементарную ошибку, которая рассмотрена в [3]. Идея увеличения сопротивления теплопередаче наружных стен звучала даже со страниц центральной газеты страны «Правда» [4], где было отмечено, «что мероприятия по повышению теплозащиты зданий увеличат их стоимость на 1,5–2,5%, однако эти затраты окупятся снижением расходов на отопление уже в течение 3–5 лет». В настоящее время в условиях рыночной экономики нашей страны эти затраты в большинстве случаев вообще не окупаются [3], сторонники повышения теплозащиты зданий просто игнорируют экономическое обоснование. Между тем отсутствие окупаемости увеличения толщины стен всего с 2,5 до 3 полнотелых кирпичей в условиях Санкт-Петербурга было показано еще В.А. Сокольским 100 лет назад [5]. Несмотря на это предлагается повысить требуемое сопротивление теплопередаче стен жилых зданий в Москве до 3,8, а общественных — до 3,5 м²·°С/Вт, что обосновывается «продекларированным решением Президента» [6].

Аргументы в пользу энергосбережения, которые повсеместно используются, являются декларативными, апеллируют к макроэкономическим показателям, и находятся вне сферы как практического строительства, так и строительной науки. Эти аргументы могут быть сгруппированы следующим образом.

1. Большое потребление энергии в России по сравнению со странами Западной Европы и Америки.
2. Высокая энергоёмкость ВВП в России по сравнению с другими развитыми странами.
3. Необходимость снижения эмиссии в атмосферу двуокиси углерода, образующегося при сжигании углеводородного топлива.
4. Ограниченность запасов углеводородных энергоресурсов и ожидаемый кризис их добычи.
5. Получение значимого экономического эффекта при энергосберегающих мероприятиях.

В данной статье сделана попытка краткого обсуждения с макроэкономической точки зрения приведенных аргументов применительно к проблеме повышения теплозащиты зданий, и прежде всего стен.

Влияние климата на потребление энергии.

Действительно ли потребление энергии в России большое по сравнению со странами Северной Европы и Америки

Географическое положение и климат страны опреде-

ляют национальный характер народа, национальную экономику и в совокупности с историческим развитием — национальную идею. Это положение сформулировали и развивали виднейшие российские историки С.М. Соловьев, В.О. Ключевский, Л.Н. Гумилев и др. Как пишет академик Л.В. Милов: «С.М. Соловьев предельно обобщенно отметил, что «природа для Западной Европы, для ее народов была мать; для Восточной, для народов, которым суждено было здесь действовать, — мачеха» [7]. Однако в советское время официальная пропаганда утверждала, что «влияние географического фактора на характер и темпы развития народов и государства есть порождение буржуазной науки, то есть в корне неверно» [7]. Вслед за пропагандой многие ученые, прежде всего экономисты и другие гуманитарии, как бы забыли о российском климате и других географических условиях и до сих пор не избавились от «фигурирующей в наших учебниках отечественной истории концепции, где все шло, как на Западе, только с некоей временной задержкой, а фундаментальным климатическим и природным факторам не уделено никакого внимания» [7]. Постепенно эти положения стали основой для сравнения как отечественной экономики в целом, так и отдельных ее частей и даже используемых технологических приемов с западными и послужили предпосылкой идеи полного подражания Западу. Свидетелями очередной попытки практического воплощения этой идеи мы и являемся. Политика механистического изменения идеологических и экономических ориентиров может привести к очень тяжелым последствиям.

Считать Россию по климатическим условиям сопоставимой со странами Западной Европы, мягко говоря, некорректно. На рис. 2 приведены изотермы средней январской температуры в Европе, из которых следует, что в таких странах, как Дания, Франция, Великобритания, средняя температура в январе положительна, в то время как через Москву проходит изотерма -10°C².

Около двух третей территории России относится к зоне вечной мерзлоты, 86% населения России проживают в районах со значением градусо-суток отопительного периода (ГСОП) более 4000 °С·сут/год [8]. Естественно ожидать, что при одинаковом уровне жизни среднее душевое потребление энергии в России оказалось бы выше, чем в других странах. Однако у нас в стране и средний уровень жизни ниже, чем в других развитых странах Северной Европы и Америки, и среднедушевое энергопотребление меньше, чем, например, в Финляндии, Норвегии, Канаде. Если ставить в качестве цели достижение в России столь же высокого уровня жизни, как в Норвегии или США, то, очевидно, необходимо увеличивать энергопотребление.

Количественные оценки влияния климата и географических особенностей страны на энергопотребление разработал в начале 1990-х гг. профессор В.В. Клименко, руководитель лаборатории «Глобальные проблемы энергетики» ИБРАЭ РАН–МЭИ. Он исследовал количественную зависимость среднедушевого потребления энергии от среднегодовой температуры и эффективной территории для стран с постиндустриальным уровнем развития [9]. В.В. Клименко установил, что для стран, достигших постиндустриального уровня развития (таких стран он насчитал почти сорок), потребление энергии на душу населения, то есть удельное потребление энергии e (т у. т./чел·год)³, почти не меняется в течение 20–25 лет (рис. 3). Удельное потребление энергии тем больше, чем ниже среднегодовая температуры страны T_a (рис. 4) [9]. Эту зависимость В.В. Клименко аппроксимировал уравнением (1). Удельное потребление энергии в стране, рассчитанное по этому уравнению, обозначается e_{∞} .

² Можно отметить, что изотерма -4°C является исторической границей между западной и русской цивилизациями. Эти цивилизации отличались способами ведения сельского хозяйства и строительства, то есть способами хозяйствования, что и формировало национальный характер народов.

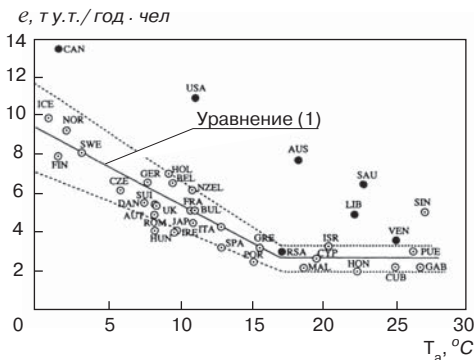


Рис. 4. Зависимость удельного потребления энергии в постиндустриальном обществе от ср едногодовой температуры воздуха [9]

$$e_{\infty} = \begin{cases} 9,3 - 0,4 \cdot T_a & \text{при } T_a < 17^{\circ}\text{C} \\ 2,5 & \text{при } T_a \geq 17^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (1)$$

В своем исследовании В.В. Клименко опирался на данные до 1993 г., когда социально-экономическое устройство стран мира было более разнообразным, чем в настоящее время, поэтому он отметил: «Поистине удивительным кажется то, что энергопотребление стран, различающихся типом экономики, структурой импорта/экспорта, стереотипом потребления, наконец, культурными традициями, описывается в пределах $\pm 25\%$ единым уравнением, не содержащим в явном виде экономических характеристик» [9]. Как следует из рис. 4, энергопотребление нескольких стран не укладывается в зависимость (1). Почти все эти страны, кроме Сингапура, отличаются большой эффективной территорией⁴ S_e . Поэтому В.В. Клименко предложил корректировку закономерности энергопотребления рассматриваемыми странами, суть которой поясняется рис. 5. Оптимальное (расчетное) среднедушевое потребление энергии e_{∞} представляет собой значение e_{∞} , скорректированное на эффективную территорию страны S_e , в соответствии с уравнением (2).

$$\frac{e_s}{e_{\infty}} = \begin{cases} 1 & \text{при } S_e \leq 0,5 \text{ млн км}^2 \\ 1,26 \cdot S_e^{1/3} & \text{при } S_e > 0,5 \text{ млн км}^2 \end{cases} \quad (2)$$

Согласно расчетам В.В. Клименко (с учетом погрешности 20%) среднедушевое потребление энергии в России для достижения постиндустриального уровня развития должно достигать 18–19 т. у. т./чел.год. Этот показатель в России уже более 10 лет составляет около 6 т. у. т./чел.год⁵, в советское время было

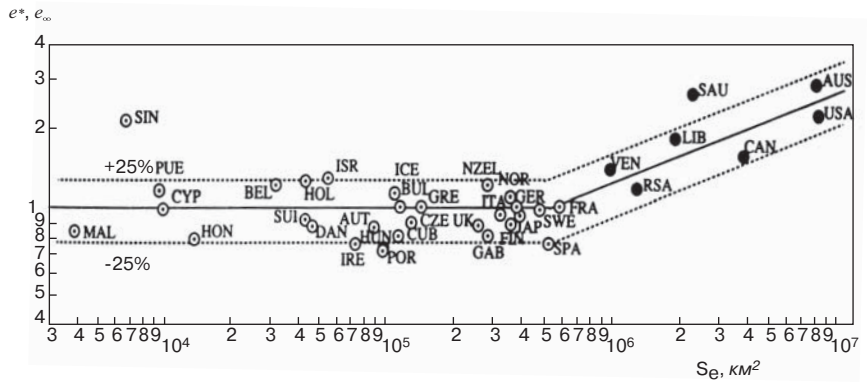


Рис. 5. Связь душевого потребления энергии с эффективной территорией страны [9]

8–9 т. у. т./чел.год. Таким образом, фактическое потребление энергии в России составляет около 33% от оптимального.

В качестве иллюстрации возможного применения подхода В.В. Клименко могут служить данные из работы [12]. По данным на 1992 г. руководитель Центра международных экономических сопоставлений Института Европы РАН профессор В.М. Кудров представил сравнительные показатели производительности труда в производящих отраслях народного хозяйства некоторых стран [12]. Обработка этих данных и сопоставление с относительным потреблением энергии в различных странах показали, что можно говорить о корреляции между производительностью труда и относительным потреблением энергии [13]. Чем больше относительное энергопотребление, тем выше производительность труда в производственных отраслях (рис. 6). Недостаточным потреблением энергии в России и объясняется в конечном итоге пониженная производительность труда в нашей стране. В России и потребление электроэнергии меньше, чем в других развитых странах [14].

Результаты работ лаборатории В.В. Клименко вызвали большой интерес и дискуссию в прессе⁶. Со времени их выполнения изменились промышленная структура и структура потребления энергии в некоторых странах [11], что привело к отступлениям от полученных В.В. Клименко закономерностей. Несмотря на это, *работы В.В. Клименко остаются единственными, устанавливающими количественную связь климатических и географических условий страны и среднедушевого энергопотребления*. Именно полученные значения оптимального энергопотребления страны могут служить ориентиром при дальнейшей оценке этого параметра в ходе каких-либо преобразований в стране. Повысить энерго-

³ В нашей стране для измерения энергопотребления используется условное топливо (у. т.). В качестве единицы у. т. принимается 1 кг твердого или 1 м³ газообразного топлива с низкой теплотой сгорания 29,3 МДж/кг. Такая величина была принята из расчета, что низшая теплота сгорания 1 г у. т. равна 7000 кал. Эквиваленты для пересчета натуральных топлив в условное: кг угля – 0,718, нефти – 1,43, мазута – 1,3, горючих сланцев – 0,353, торфа – 0,4, дров – 0,249 кг у. т. Один кубометр природного газа эквивалентен 1,17–1,2 кг у. т. Наряду с килограммами у. т. используют тонны у. т. Следует отметить, что 1 т у. т. соответствует 77 кал. Применяемый во многих странах нефтяной эквивалент (н. э.) связан с у. т. соотношением: 1 кг н. э. = 1,43 кг у. т. Баррель нефтяного эквивалента (б. н. э.) определяется различно, чаще всего принимается 1 т н. э. = 7,4 б. н. э.

⁴ Это понятие определяется как территория страны со средней годовой температурой выше -2°C и расположенная ниже 2000 м над уровнем моря, измеряется в млн км². Именно на такой территории возможна самостоятельная сельскохозяйственная, промышленная и культурная жизнь нации. Это понятие было введено французским географом и социологом Элизе Реклю (Elisie Reclus 1830–1905) в его 19-ти томном сочинении «Всеобщая география. – Земля и Люди». Эффективная территория России составляет менее 1/3 от всей ее территории. По величине эффективной территории (5,51 млн км²) Россия занимает пятое место в мире после Бразилии (8,05), США (8), Австралии (7,68), Китая (5,95) [10]. Большая часть территории Сибири относится по этому определению к неэффективной, чем и объясняется незаинтересованность в ее присоединении в течение многих веков со стороны Китая и других азиатских государств. И только России удалось освоить Сибирь за счет эксплуатации своей эффективной территории в Европейской части.

⁵ В 2005 г. среднедушевое потребление энергии в России составило 6,2, в США – 9,8, в Канаде около 10,8, в Великобритании – 5,1, в ФРГ – 5, в Норвегии – 8,5, в Финляндии – 6,9 т. у. т./чел.год [11].

⁶ Работы В.В. Клименко были представлены в «Доклады АН» академиком А.И. Леонтьевым. Результаты В.В. Клименко плодотворно использовал в своих работах академик Н.Н. Моисеев в частности, в статье «Есть ли будущее у России? (Размышления в свете анализа общепланетарной картины)», опубликованной в журнале «Наш современник» №10, 1996.

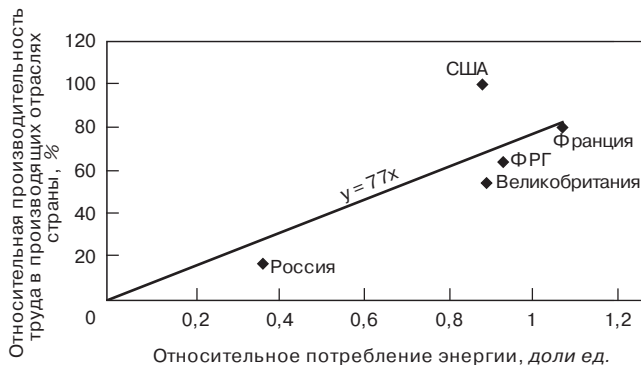


Рис. 6. Относительная производительность труда в производящих отраслях страны в зависимости от относительного потребления энергии в 1992 г. [13].

потребление в России до оптимального не представляется возможным. Отсюда следует вывод о принципиальном отличии долженствующих целей нашего общества от целей общества потребления западных стран. Россия не должна слепо копировать ни социальную, ни экономическую составляющие западных стран – они просто не соответствуют нашим возможностям.

Причины высокой энергоёмкости ВВП в России по сравнению с другими развитыми странами

Действительно, энергоёмкость ВВП в России выше, чем в других развитых странах. На рис. 7 изображена диаграмма, разработанная академиком П.Л. Капицей по данным до 1970 г. и продолженная академиком А.Э. Конторовичем с соавторами до 2000 г. [15]. Данная диаграмма публиковалась неоднократно, в частности в докладе академика Н.П. Лаверова на научной сессии общего собрания РАН «Энергетика России: проблемы и перспективы» 20–21 декабря 2005 г. По диаграмме прослеживается зависимость среднедушевого ВВП от среднедушевого энергопотребления.

Энергоёмкость ВВП представляет собой отношение потребленного количества энергии к ВВП. На диаграм-

ме энергоёмкость ВВП равна ctg угла наклона прямой, проведенной из начала координат к точке, характеризующей страну. Ряд стран – Швейцария, Дания и др. обладают наименьшей энергоёмкостью ВВП. В этих странах сведены до минимума энергоёмкие отрасли экономики, такие как металлургия, производство алюминия, минеральных удобрений и т. д. США, Канада, Австралия и др. обладают значительно большей энергоёмкостью ВВП, что объясняется наличием энергоёмких отраслей народного хозяйства. К этой группе стран относился Советский Союз и РСФСР. В 1990 г. энергоёмкость ВВП России и Канады практически совпадали и незначительно превышали энергоёмкость США.

С 1991 г. в России резко сократилось энергопотребление и снизилась величина ВВП, причем величина ВВП сократилась опережающим темпом как менее инерционный параметр. Высокая энергоёмкость ВВП России объясняется не столько большим расходом энергии, сколько малым значением ВВП.

Расчет по диаграмме (рис. 7) показывает, что величина энергоёмкости ВВП в России около 1,3 кг у.т./USD, в то время как для Швейцарии – 0,13, для Швеции – 0,25, для США – 0,34, для Канады – 0,44 кг у.т./USD. В то же время энергоёмкость ВВП в России в 1990 г., по этому же источнику⁷, составляла 0,48 кг у.т./USD, что близко к значению этой характеристики для Канады и некоторых других стран. Доля услуг в структуре ВВП США составляла и составляет около 75%, в то время как в СССР она не превышала 33%. Соответственно более корректно рассчитывать энергоёмкость производственной части ВВП. Энергоёмкость производственной части ВВП СССР была ниже, чем США, то есть по этому показателю СССР опережал США и ряд других стран. В то же время при сопоставлении энергопотребления в СССР и США никто не оперировал энергоёмкостью производственной части ВВП.

Экспорт энергоносителей обладает значительно большей энергоёмкостью, чем услуги или продукция высоких этапов передела. Как это ни парадоксально, экспорт нефти и других энергоносителей из России мо-

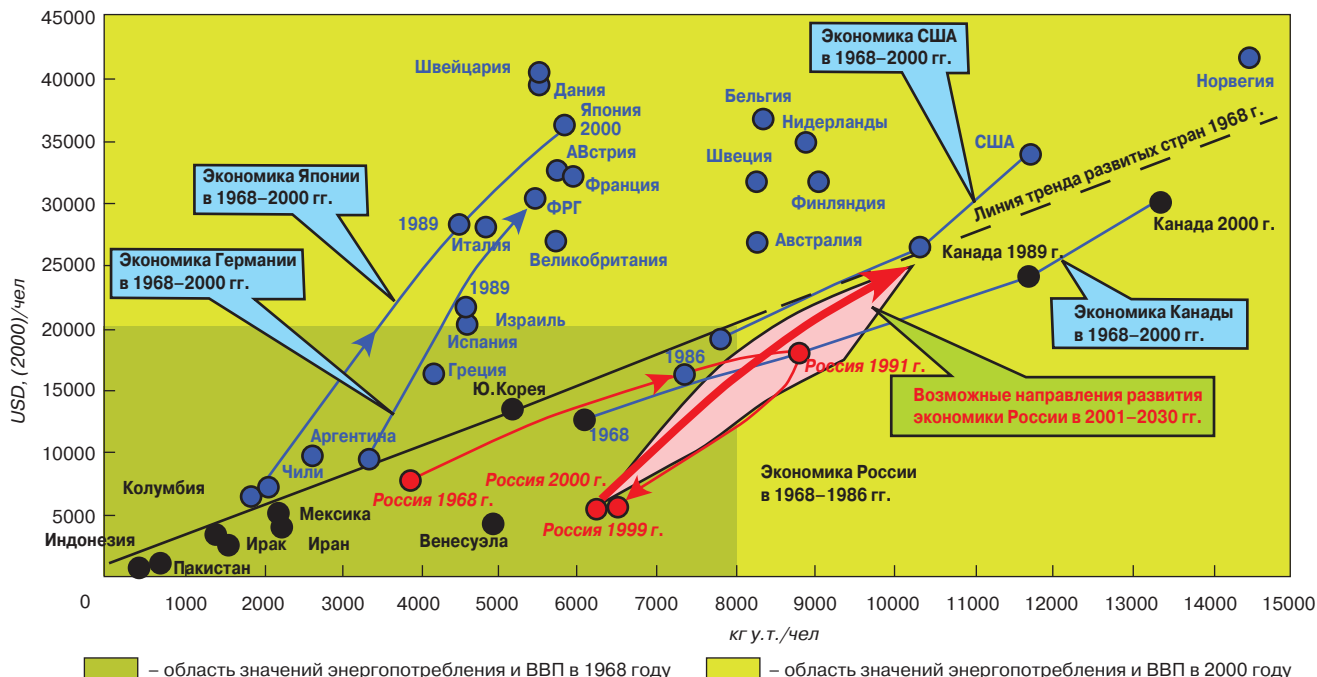


Рис. 7. Соотношение удельного потребления энергии и удельного ВВП некоторых стран. Диаграмма академиков П.Л. Капицы и А.Э. Конторовича [14].

⁷ В зависимости от используемого источника информации могут получаться различные значения указанной характеристики, поэтому важно соотношение между ними в одном источнике.

жет обладать большей энергоемкостью, чем ВВП России. Например, средняя цена тонны нефти в 2005 г. составила 53,6 USD за баррель, что эквивалентно $53,6 \cdot 7,4/1,43 = 277$ USD/т у. т., следовательно, «энергоемкость» экспорта нефти составила $1000/277 = 3,61$ кг у. т./ USD. В то же время расчет по данным [11]⁸ показывает, что энергоемкость ВВП России в текущих ценах в том же 2005 г. составила 1,16 кг у. т./ USD, что существенно меньше, чем подсчитанная энергоемкость экспорта нефти (3,61 кг у. т./ USD). Для сравнения, энергоемкость ВВП в текущих ценах развитых стран в том же году составила: для США – 0,24, для Канады – 0,31, для Великобритании – 0,14, для ФРГ – 0,15 кг у. т./ USD. Для стран-экспортеров нефти энергоемкость ВВП значительно выше: для ОАЭ – 0,58, для Кувейта – 0,66, для Венесуэлы – 0,58 кг у. т./ USD.

Эти данные доказывают, что Россия фактически превращена в сырьевой придаток развитых стран, то есть живет за счет экспорта углеводородного сырья. Большая часть произведенной в России энергии идет на экспорт. По данным [14], в 2006 г. в России произведено 1673 млн т у. т. энергоресурсов, из них 45% (753 млн т у. т.) непосредственно отправлено на экспорт. Кроме того, экспортирована продукция начальных этапов передела (черные металлы, алюминий, удобрения, необработанные лесоматериалы и т. д.), на изготовление которой затрочено не менее 200 млн т у. т., а на транспортирование – 57 млн т у. т. [14]. На внутреннее потребление в стране фактически осталось 458 млн т у. т., или 3,2 т у. т./ (чел. год). Таким образом, фактическое внутреннее потребление страны составило 27% от произведенного количества энергии. В то же время официально внутреннее потребление энергоресурсов в России в 2006 г. считается равным 920 млн т у. т. (55% от 1673 млн т у. т.), или 6,5 т у. т./ (чел. год).

Вклад в ВВП от производства энергии и продукции начальных переделов, приходящийся на единицу потребленной энергии, значительно меньше, чем от продукции высших переделов или от банковского сектора. Без развития наукоемкого производства понижение энергоемкости ВВП возможно только за счет увеличения доли услуг. Сырьевая ориентация экономики не позволит существенно снизить энергоемкость ВВП по сравнению с западными странами.

Следует отметить *общую некорректность использования энергоемкости ВВП для анализа энергопотребления*. Эта некорректность обусловлена:

- неучетом паритета покупательной способности доллара в разных странах;
- неучетом структуры ВВП (разная доля услуг);
- неучетом национальных особенностей при формировании ВВП;
- неучетом природно-климатических особенностей стран;
- сокрытием среднедушевого потребления энергии в стране.

Энергоемкость ВВП главным образом зависит от величины ВВП, а не от потребления энергии. ВВП может существенно измениться в течение нескольких лет, в то время как потребление энергии изменяется очень медленно. Например, до 2008 г. в России ВВП возрастал примерно на 7% в год за счет роста непроизводственной части, а среднедушевое потребление энергии практически не изменялось.

Согласно указу Президента РФ Д.А. Медведева «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» к 2020 г. следует снизить на 40% энергоемкость ВВП, а не снизить

потребление энергии на 40%, как иногда считают. Снижение энергоемкости ВВП планируется главным образом за счет увеличения непроизводственной части ВВП по образцу западных стран. Энергосбережение весьма незначительно отразится на энергоемкости ВВП и не решит проблему высокой энергоемкости ВВП России. Рассматриваемый аргумент в пользу энергосбережения является абсолютно неубедительным.

Парниковый эффект

и обязательства России по снижению эмиссии CO₂

Вопросам, относящимся к изменению климата и антропогенному влиянию на это изменение, посвящено огромное количество специальной литературы. Наибольшую известность эти вопросы получили в связи с ратификацией Киотского протокола. Страны, которые ратифицировали протокол, обязались снизить общую эмиссию парниковых газов к 2020 г. как минимум на 20% относительно базового 1990 г.

По поручению Президента РФ В.В. Путина от 16.03.2004 № Пр-432 Президент РАН Ю.С. Осипов организовал специальный совет-семинар для всестороннего изучения проблемы. В его работе участвовали представители многих институтов РАН. По результатам работы совета-семинара Президенту России В.В. Путину было направлено письмо «О позиции РАН по проблеме Киотского протокола» [16], в котором, в частности, отмечено, что «Киотский протокол не имеет научного обоснования... ратификация Протокола в условиях наличия устойчивой связи между эмиссией CO₂ и экономическим ростом, базирующимся на углеродном топливе, означает существенное юридическое ограничение темпов роста российского ВВП».

Несмотря на однозначно отрицательную позицию научного сообщества в лице РАН, Киотский протокол был ратифицирован.

Губительные последствия присоединения России к Киотскому протоколу комплексно проанализированы в [17]. Также следует напомнить, что США, которые являлись инициаторами Киотского протокола, успешно из него вышли и наблюдают за развитием событий без дополнительных материальных и организационных ограничений.

Таким образом, *вопросы, связанные с ограничением эмиссии CO₂, являются чисто политическими и не могут служить основанием для принятия технических решений, в том числе энергосберегающих мероприятий*.

Об ограниченности углеводородных энергоресурсов

Запасы невозобновляемых источников энергии ограничены. Хотя энергосбережение проблему ограниченности энергоресурсов не решает в принципе, оно имеет значение при рассмотрении ближайших перспектив энергообеспечения страны.

Перспективы энергообеспечения России обстоятельно изложены в докладе академика Н.П. Лаврова [18]. Он отмечает, что основная часть разведанных запасов углеводородов располагается в Западной и Восточной Сибири, на морском шельфе Сахалина, Карского и Баренцева морей. Данное обстоятельство создает большие сложности в добыче и транспортировке энергоносителей в промышленные регионы страны. Анализ нефтедобычи показывает, что до 2012 г. нефть в России будет добываться из разрабатываемых и ранее подготовленных к освоению месторождений, затем потребуются освоение новых месторождений и интенсивное освоение новых нефтегазоносных бассейнов Восточной Сибири, которые станут основными источниками углеводородов с 2020–2025 гг. [18].

⁸ Выбор 2005 г. объясняется тем, что последнее, доступное на момент написания статьи, издание статистического ежегодника ООН относится к 2008 г. В этом издании полные данные имеются только до 2005 г.

Большие проблемы накопились и в электроэнергетике. Не хватает генерирующих мощностей в Москве, Северо-Западе, Нечерноземье, Сибири, на Урале и Дальнем Востоке [19]. За время «реформ» допущено старение основных фондов. «Ввод новых энергетических мощностей сократился в 10 раз (с 6–12 до 0,4–0,6 ГВт в год). Половина генерирующих и электропередающих мощностей и до 60% теплосетей страны выработали свой ресурс и требуют замены» [19].

В то же время, по оптимистическому сценарию развития страны, к 2025 г. душевое потребление энергии планируется увеличить до 10 т у. т./чел.·год, а душевой ВВП – до 25 тыс. USD/(чел.·год). По расчетам экономистов на эти цели потребуются около 950 млрд USD, из них только на геолого-разведочные работы около 60 млрд USD [20].

Нельзя забывать, что совокупный национальный долг страны после 2007 г. превысил 1 трлн USD [20]. Совокупный внешний долг составил в этом же году около 500 млрд USD. «Значительная часть этой задолженности приходится на крупнейшие структурообразующие предприятия российской экономики («Роснефть», «Газпром», «Лукойл», «Алроса», ГАЗ, «Транснефть» ОАО АК «Транснефтепродукт», корпорация «Иркут», «Норильский Никель», «Ростелеком» и др.)» [20]. Следует обратить внимание, что интенсивный долговой рост происходил в 2000-е гг. (особенно в 2006–2007 гг.), то есть в период высоких цен на нефть. Большие долги энергопроизводящих и энерготранспортирующих предприятий снижают их возможности к инвестициям в развитие ТЭК.

Таким образом, имеются основания считать, что страну ожидает энергетический кризис. В стране, живущей за счет экспорта энергоресурсов, при кризисе энергопроизводящей отрасли последует сокращение внутреннего энергопотребления при сохранении или увеличении экспорта углеводородного сырья.

В условиях энергетического кризиса и недостаточного энергопотребления должна быть изменена вся парадигма развития страны. Очевидно, должны были быть прекращены энергорасточительные проекты, такие как развитие личного автотранспорта, строительство высотных зданий и др. В частности, следует пересмотреть перспективы развития строительной отрасли и приготовиться к жизни в условиях энергопотребления, пониженного даже по сравнению с настоящим временем. Что касается энергосбережения, то оно, конечно, будет актуальным в создавшихся условиях, как и всегда было актуальным в России [7], однако не решит проблему недостатка энергии.

Влияние повышения теплозащиты стен зданий на потребление энергии в стране

В условиях ожидаемого дефицита энергии любое значимое сбережение энергии будет актуальным, если его реализация не сопровождается обратным эффектом, то есть не будет энергозатратным. Для этого все конкретные энергосберегающие мероприятия должны быть экономически окупаемыми. Другое важное условие для применения энергосберегающих мероприятий: они не должны снижать долговечность объектов строительства, иначе они также превращаются в энергозатратные.

Существенное повышение требований к теплозащите создает трудности при строительстве всех ограждающих конструкций, но наибольшие проблемы возникают при обеспечении высоких значений требуемого сопротивления теплопередаче стен. *Долговечность стен явля-*

ется определяющей для долговечности всего здания. При увеличении теплозащиты стен в наибольшей степени повышается стоимость строительства.

Проведем приближенную оценку доли теплопотерь через стены зданий от энергопотребления в стране. По данным [19], на долю промышленности в России приходится свыше 55% потребляемой энергии. Предполагая, что на долю транспорта и сельского хозяйства приходится 15%, получается, что на долю ЖКХ приходится 30% потребляемой энергии. Допустим, что вся эта энергия расходуется на жилые и общественные здания. По данным [21], структура потребления энергии в общественных зданиях в среднем следующая: трансмиссионные теплопотери через стены и окна – 28%, инфильтрационные теплопотери – 52%, на горячее водоснабжение (ГВС) – 7%, электроэнергия – 13%. Следует отметить, что при остекленности общественных зданий более 25% на теплопотери через стены приходится менее половины трансмиссионных теплопотерь. Для жилых зданий (без учета затрат электроэнергии) увеличивается доля ГВС до 30%, общие трансмиссионные теплопотери через стены и окна составляют около 30–45% от всей потребляемой зданием тепловой энергии при значении сопротивлений теплопередаче стен около 1 м²·°C/Вт (требуемое значение до 1995 г.), остальная часть теплопотерь приходится на воздухообмен. Доля теплопотерь через стены зависит от их сопротивления теплопередаче и составляет, по данным [21], от 8 до 20%. Таким образом, можно считать, что трансмиссионные потери через стену составляют в среднем 15% от энергопотребления здания. Следовательно, теплопотери через стены могут составлять 0,3×0,15=0,045, то есть 4,5% от потребления энергии в стране. Даже если в приведенных рассуждениях допущена ошибка и теплопотери через стены зданий составляют 6% от потребления энергии в стране, это эквивалентно 60 млн т у. т., то есть 0,4 т у. т./чел.·год. *Но следует учесть, что экономия энергии, которая может получиться при повышении теплозащиты стен, составит лишь небольшую долю от этих 6% и не сможет оказать заметного влияния на энергетический баланс страны и тем более явится причиной нехватки энергии в стране, высокой негетемкости ВВП, повышенной эмиссии CO₂ и других негативных явлений,* к которым апеллируют сторонники повышения требований к теплозащите ограждающих конструкций.

Повышение теплозащиты стен не сможет привести к значительной экономии энергопотребления в стране, но сопряжено со значительными трудностями и расходами при строительстве и эксплуатации зданий.

Об экономической эффективности повышения теплозащиты ограждающих конструкций зданий

Экономическое обоснование при принятии решения об энергосберегающем мероприятии, в частности о повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий, в условиях рыночной экономики является обязательным. Одно из основных отличий рыночной экономики западного образца, которая фактически создана в России, заключается в наличии процентной ставки за банковский кредит, p^9 . Основным критерием приемлемости технического решения с экономической точки зрения является необходимое условие окупаемости, которое в общем виде выражается неравенством:

$$\Delta K \cdot p < \Delta \Delta, \quad (3)$$

где ΔK – единовременные затраты на техническое реше-

⁹ Величина p является платой за банковский кредит, она иногда называется ростовщический процент. В русском языке такая плата, по сути являющаяся учетной ставкой за кредит банка, называлась лихва, отсюда выражение окупиться с лихвой, а ростовщик (банкир) назывался лихоимщик (см. Толковый словарь живого великорусского языка В.И. Даля).

ние, р./ед. изделия; p — годовая процентная ставка за банковский кредит, доли ед./год; $\Delta\mathcal{E}$ — годовая прибыль, получаемая за счет реализации технического решения, р./ед. изделия·год).

Если на реализацию технического решения потребовался банковский кредит (единовременные затраты) ΔK , то ежегодная прибыль $\Delta\mathcal{E}$, должна превосходить ежегодные платежи банку $\Delta K \cdot p$. Если неравенство (3) не выполняется, то реализация технического решения при постоянных во времени значениях $\Delta\mathcal{E}$ и p никогда не окупится. Для оценочных расчетов это неравенство вполне пригодно [3].

Если под техническим решением понимать дополнительное повышение теплозащиты ограждающей конструкции, то в качестве единицы изделия принимается 1 м^2 ограждающей конструкции, а неравенство принимает вид:

$$\Delta K \cdot p < 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot (-\Delta k) \cdot C_T, \quad (4)$$

где ΔK — единовременные затраты на снижение коэффициента теплопередачи ограждения, р./ м^2 ; Δk — снижение коэффициента теплопередачи при дополнительном утеплении ограждения, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; ГСОП — градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$; C_T — цена тепловой энергии, р./ $(\text{кВт} \cdot \text{ч})$; 0,024 — размерный коэффициент, $\text{кВт} \cdot \text{ч}/(\text{Вт} \cdot \text{сут})$.

В отечественном строительстве величиной, характеризующей теплозащиту ограждающей конструкции, является приведенное сопротивление теплопередаче, которое связано с коэффициентом теплопередачи конструкции формулой:

$$k = \frac{1}{R_{\text{пр}}} \quad (5)$$

Из (4) следует макроэкономический критерий окупаемости повышения теплозащиты ограждающих конструкций:

$$-\frac{\Delta K}{\Delta k} < \omega, \quad (6)$$

где ω — предельное значение удельных единовременных затрат является макроэкономическим параметром региона строительства и определяется по формуле

$$\omega = 0,024 \times \text{ГСОП} \times C_T / p. \quad (7)$$

В неравенстве (6) слева находится характеристика конструкции — удельные единовременные затраты на повышение теплозащиты ограждающей конструкции, а справа — характеристика региона строительства — предельное значение удельных единовременных затрат (они не зависят от конструкции). Левая часть неравенства (6) почти не зависит от региона строительства, а правая часть не зависит от параметров конструкции. Таким образом, для каждого региона существует свое ограничение на повышение теплозащиты ограждающих конструкций, выражаемое неравенством (6). Это неравенство позволяет оценивать варианты повышения теплозащиты ограждающих конструкций. Более подробно вывод и анализ неравенства (6) приведен в [3]. Приведем примеры.

Пример 1. Требуется оценить окупаемость повышения сопротивления теплопередаче оконных блоков в жилых домах Москвы и Санкт-Петербурга с 0,54 до 0,8 ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$. Для упрощения расчетов примем, что для климатических условий Москвы и Санкт-Петербурга значения ГСОП приблизительно равно $5000^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$, а цена тепловой энергии не превышает 1 р./ $(\text{кВт} \cdot \text{ч})$. Современное значение учетной ставки за банковский кредит составляет около 20% ($p = 0,2$ доли ед./год). Следовательно, согласно (7): $\omega = 0,024 \cdot 5000 \cdot 1/0,2 = 600 \text{ р.} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Неравенство (6) принимает вид: $\Delta K < 600 \cdot (-\Delta k)$. Снижение ко-

эффициента теплопередачи составит: $\Delta k = 1/0,8 - 1/0,54 = -0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Следовательно, значение единовременных затрат на повышение теплозащиты заполнений светопроемов не должно превышать $\Delta K = 600 \cdot 0,6 = 360 \text{ р.}/\text{м}^2$. Если единовременные затраты, то есть увеличение цены оконного блока, превосходят 360 р./ м^2 , то увеличивать указанное сопротивление теплопередаче оказывается экономически невыгодным, поскольку вложенные средства не окупятся.

Пример 2. Требуется оценить окупаемость повышения сопротивления теплопередаче торцевых стен жилых зданий в Москве со значений 2–3 $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, достигаемых в настоящее время, до значений 6 $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, то есть $\Delta k = -0,33 - -0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Значение единовременных затрат на повышение теплозащиты торцевых стен не должно превышать значений $\Delta K = 600 \cdot (0,33 - 0,17) = 200 - 100 \text{ р.}/\text{м}^2$. Для указанного повышения сопротивления теплопередаче стен требуется увеличить толщину слоя теплоизоляции не менее чем на 0,12 м для экструдированного пенополистирола, или на 0,15 м для минераловатных плит. Цена теплоизоляционных материалов составляет не ниже 3000 р./ м^3 . Следовательно, только цена дополнительной теплоизоляции для указанного повышения сопротивления теплопередаче составит не менее 350–450 р./ м^2 . Кроме указанных затрат на теплоизоляцию необходимы дополнительные затраты на другие конструктивные элементы и на работу. Проведенная приближительная оценка окупаемости показывает экономическую нецелесообразность указанного повышения теплозащиты торцевых стен.

Примеры иллюстрируют экономическую абсурдность призывов к повышению нормируемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

В [3] приведены расчетные параметры и результаты расчетов значений ω для регионов России и некоторых зарубежных стран для 2000 г. Вычисленные значения параметра ω для развитых западных стран примерно на порядок выше, чем для России. Такое различие приводит к тому, что повышение теплозащиты ограждающих конструкций, которое не окупается в России, оказывается окупаемым и экономически целесообразным в западных странах. Причины такого различия являются экономическими, обусловленными различием цен на тепловую энергию и величины учетной банковской ставки¹⁰.

Данные расчеты можно уточнять, поскольку расчетные параметры со временем изменяются. Однако основные выводы за 10 лет не изменились. Этих выводов два:

1. В условиях современной России повышение теплозащиты ограждающих конструкций свыше санитарно-гигиенических требований в большинстве случаев экономически невыгодно, поскольку не окупается.
2. В развитых западных странах климатические условия мягче, а экономические условия более благоприятны, чем в России. Вследствие этого в России нельзя непосредственно использовать пример этих стран для повышения теплозащиты ограждающих конструкций.

Заключение

Итак, из аргументов доказывающих необходимость энергосбережения и апеллирующих к макроэкономическим показателям первые три нельзя признать корректными:

1. Среднедушевое потребление энергии в России, с учетом климатических и географических особенностей существенно меньше, чем в Западных стра-

¹⁰ Отличие экономических условий в России и Европе отмечал и В.А. Сокольский 100 лет назад [6].

нах. Этого энергопотребления недостаточно для достижения постиндустриального уровня развития в стране, при котором приоритет переходит от преимущественного производства товаров к преимущественному производству услуг.

2. Высокая энергоёмкость ВВП обусловлена сырьевой ориентацией Российской экономики и большой долей продукции первого передела. Для снижения энергоёмкости ВВП необходимо увеличивать долю услуг в ВВП, по примеру Западных стран. За счет энергосбережения энергоёмкость ВВП существенно снизить не удастся.
3. Проблема необходимости снижения эмиссии углекислого газа с целью предотвращения глобального потепления, по заключению РАН, не имеет научно обоснования. Следовательно, научно обоснованным является и энергосбережение, с целью снижения эмиссии углекислого газа.

Эти аргументы используются для манипуляции общественным сознанием с целью достижения коммерческих (например, увеличение продажи теплоизоляционных материалов) или политических (ограничение энергопотребления в стране) целей. Принимать их для мотивации направления технической политики несерьезно.

Четвертый аргумент – ожидаемый энергетический кризис. В условиях надвигающегося энергетического кризиса следует ожидать нарастающего дефицита энергопотребления в стране, обусловленного невозможностью снизить экспорт энергоносителей при спаде их производства. При этом четвертый аргумент в пользу энергосбережения должен быть сформулирован в таком виде: *существующая в стране экономическая система приведет в ближайшей перспективе к нарастающему дефициту энергопотребления, в*

том числе, в ЖКХ, для уменьшения его влияния необходима реализация энергосберегающих мероприятий.

При этом следует учитывать, что реализация энергосберегающих мероприятий будет проводиться в условиях дефицита инвестиций. Поэтому необходимо тщательно проверять экономическую целесообразность каждого такого мероприятия и выявлять реально достижимые пределы энергосбережения при его реализации. Мероприятие, которое экономически не окупается, по существу, является энергозатратным, а не энергосберегающим. **Пятый аргумент** в пользу энергосбережения, применительно к повышению теплозащиты ограждающих конструкций всегда требует проверки.

В числе энергосберегающих, как одно из многих направлений, может иметь место и повышение теплозащиты ограждающих конструкций. Однако, нормируемый в настоящее время уровень теплозащиты с трудом (и не всегда) достигается. Как показывают простейшие расчеты, дальнейшее **увеличение нормируемой теплозащиты ограждающих конструкций экономически не целесообразно** (отсутствует окупаемость).

Нормирование повышенной теплозащиты стен должно быть широко и всесторонне обсуждено и экономически обосновано. Внедрение ограждающих конструкций с повышенной теплозащитой должно проходить при тщательной проработке проектных решений и сопровождаться экспериментальным строительством. Нормативные требования к теплозащите стен должны следовать за апробированными решениями, а не наоборот, как это осуществляется с 1995 г. до настоящего времени.

Работа, необходимая для написания настоящей статьи выполнена по инициативе автора и никем не финансировалась.

Список литературы

1. Гагарин В.Г. Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем. Температурно-влажностные воздействия и долговечность систем с тонким штукатурным слоем (По материалам статьи Н.М. Künzel, Н. Künzel, К. Sedelbauer «Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Wärmedamm-Verbundsystemen», Bauphysik, 2006, Bd. 28, N. 3) // АВОК. 2007. № 6, С. 82–90; № 7, С. 66–74.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Крышов С.И., Пономарев О.И. Теплозащита наружных стен зданий с облицовкой из кирпичной кладки // АВОК. 2009. № 5. С. 48–56; № 6. С. 48–55.
3. Гагарин В.Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строит. материалы. 2008. С. 41–47.
4. Комзин И., Морозов Н., Богуславский Л. Письмо в «Правду». А тепло идет на улицу // Правда. 24 сентября 1969 г.
5. Сокольский В.А. Принципы экономичности и их выражение в современном строительстве. СПб, 1910. 538 с.
6. Ливчак В.И. Повышать ли уровень теплозащиты зданий? Ответ – «да» // АВОК. 2009. № 7. С. 22–29.
7. Милов Л.В. Великорусский пахарь и особенности российского исторического процесса. М.: РОССПЭН, 2001. 576 с.
8. Гашо Е.Г. Особенности эволюции городов, промузлов, территориальных систем жизнеобеспечения. М.: Центр системных исследований, 2006. 150 с.
9. Клименко В.В. Влияние климатических и географических условий на уровень потребления энергии // Доклады академии наук. 1994. Т. 339. № 3. С. 319–322.
10. Клименко В.В. Россия: тупик в конце туннеля? // Общественные науки и современность. 1995. № 5. С. 71–80.
11. Statistical Yearbook (UN). 52-nd issue. New York, 2008.
12. Кудров В. Производительность труда в промышленности России, США, Германии, Франции и Великобритании // Вопросы экономики. 1999. № 8. С. 112–123.
13. Гагарин В.Г. Энергию надо тратить! // Энергия: экономика, техника, экология. 2002. № 11. С. 23–28.
14. Цибульский В.Ф. Сколько электроэнергии надо России? // Энергия: экономика, техника, экология. 2009. № 2. С. 2–8.
15. Конторович А.Э., Коржубаев А.Г. Энергия рождает энергию. Энергетика в устойчивом развитии мирового сообщества // ЭКО. 2002. № 8. С. 54–66. (Диаграмма опубликована также в статье «Энергетика России: когда наступит завтра?» // Наука и Жизнь. 2006. № 3. С. 3–7.
16. Письмо президента РАН академика Ю.С. Осипова Президенту Российской Федерации В.В. Путину. В кн. «Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий: проблема Киотского протокола». Материалы совета-семинара при Президенте Российской академии наук. М., 2006. С. 258–259.
17. Илларионов А.Н., Пивоварова Н.А. Экономические последствия ратификации Российской Федерацией Киотского протокола // Вопросы экономики. 2004. № 11. С. 34–59.
18. Лавров Н.П. Топливо-энергетические ресурсы // Вестник РАН. 2006. Т. 76. № 5. С. 398–408.
19. Велихов Е.П., Гагаринский А.Ю., Субботин С.А., Цибульский В.Ф. Энергетические ресурсы планеты и России // Энергия: экономика, техника, экология. 2008. № 2. С. 2–10.
20. Мальцева И.Г. Долговые тенденции экономики России с позиций национальной безопасности // Энергия: экономика, техника, экология. 2009. № 1. С. 30–39.
21. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: МГСУ, 2009. 292 с.

А.А. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук, генеральный директор ООО «ГС-Эксперт» (Москва)

Российский рынок щебня и гравия: итоги последних лет

Основным источником природного сырья для производства щебня являются месторождения строительного камня. В настоящее время в России учитываются около 1500 месторождений этого вида сырья с суммарными балансовыми запасами порядка 32 млрд м³. Также важным источником сырья для производства щебня являются месторождения песчано-гравийного и валунно-песчано-гравийного материала, запасы которых оцениваются примерно в 5 млрд м³. Таким образом, ежегодные объемы добычи сырья для производства щебня в России не превышают 1% от имеющихся запасов.

В 2005–2008 гг. производство щебня и гравия в стране стабильно возрастало, что было обусловлено увеличивающимися объемами дорожного строительства и строительства зданий и сооружений всех типов (рис. 1). При этом темпы роста производства в 2005–2007 гг. варьировались в диапазоне 110–120%. Производство

щебня и гравия в России по итогам 2008 г. составило, по данным Росстата, 199,8 млн м³ (8,2% к аналогичному периоду 2007 г.) Замедление темпов роста производства было связано с негативным влиянием кризиса на российскую экономику в целом и строительную отрасль в частности во втором полугодии. В 2009 г. ситуация с производством щебня и гравия в стране еще более усугубилась. По итогам года объем выпуска этой продукции снизился на 30,3% по сравнению с предыдущим годом и составил всего 139,3 млн м³. Таким образом, по объему производства щебня и гравия Россия вернулась на уровень 2005 г.

Следует отметить, что несмотря на падение спроса на щебень и гравий в связи с кризисом, в 2009 г. российские компании продолжили инвестировать средства в создание новых производственных мощностей. Так, ООО «Евробетон» (входит в состав холдинга «Евроцемент групп») в 2009 г. ввело в эксплуатацию новый дро-



Рис. 1. Динамика производства щебня и гравия в России в 2005–2009 гг.

Источник: оценка «ГС-Эксперт» на основе данных Росстата

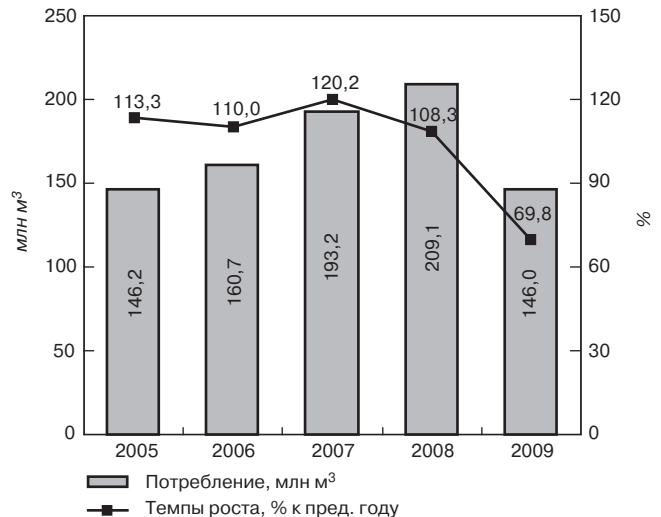


Рис. 3. Динамика потребления щебня и гравия в России в 2005–2009 гг.

Источник: оценка «ГС-Эксперт»

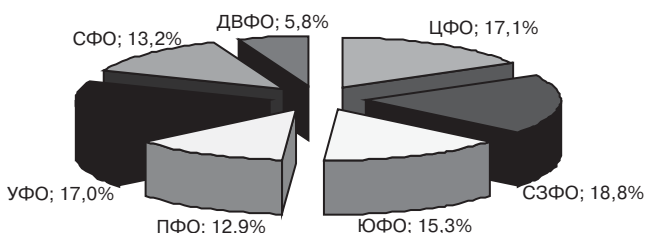


Рис. 2. Региональная структура производства щебня и гравия в России в 2009 г.

Источник: оценка «ГС-Эксперт» на основе данных Росстата

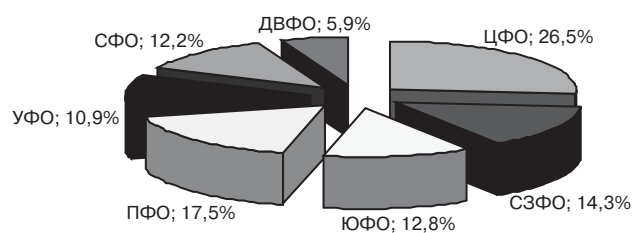


Рис. 4. Региональная структура потребления щебня и гравия в России в 2009 г.

Источник: оценка «ГС-Эксперт»

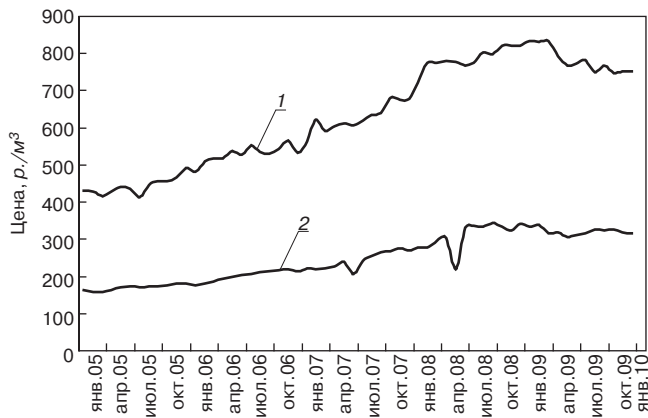


Рис. 5. Помесячная динамика средних цен производителей и средних цен приобретения щебня в России в 2005–2009 гг.: 1 – средние цены производителей; 2 – средние цены приобретения

Источник: Росстат

бильно-сортировочный завод в Республике Карелия (ООО «Лобское-5») мощностью около 3 млн т в год (по горной массе) и ведет строительство трех новых карьеров в Воронежской, Челябинской областях и Республике Карелия суммарной проектной мощностью около 30 млн т в год, которые должны быть запущены в эксплуатацию к 2012 г.

В Курганинском районе Краснодарского края в 2009 г. на базе месторождения ПГС был введен в эксплуатацию новый дробильно-сортировочный завод компании «Выбор-С» мощностью 2000 тыс. м³ нерудных материалов в год, в том числе 1400 тыс. м³ щебня.

Наибольшие объемы производства щебня характерны для Уральского, Центрального и Северо-Западного федеральных округов. В 2009 г. в этих регионах суммарно было произведено около 53% щебня и гравия, в то время как на долю Дальневосточного округа пришлось менее 6% российского производства (рис. 2).

По итогам 2009 г. во всех федеральных округах было отмечено сокращение производства щебня по сравнению с предыдущим годом. Наиболее значительно производство этой продукции снизилось в Приволжском, Уральском и Сибирском федеральных округах (на 36,1–39,9% по сравнению с 2008 г.). Меньше всего кризисные явления отразились на производстве щебня в Дальневосточном федеральном округе: в 2009 г. производство сократилось всего на 1,7% по сравнению с предыдущим годом.

За период с 2005 по 2008 г. потребление щебня и гравия в России увеличилось более чем на 43% и превысило 209 млн м³. При этом в 2005–2007 гг. темпы роста потребления щебня и гравия в России сохранялись на уровне не менее 10% и имели тенденцию к росту (рис. 2). Однако по итогам 2008 г. темпы роста потребления щебня в России несколько снизились по сравнению с 2007 г., что было связано с негативным влиянием кризиса на российскую экономику во втором полугодии. В 2009 г. на фоне развития кризисных явлений в российской экономике и сокращения объемов строительных работ потребление щебня сократилось более чем на 30% по сравнению с 2008 г. до 146 млн м³, то есть по объемам потребления щебня страна вернулась к уровню 2005 г.

Следует отметить, что на долю экспортных поставок российской продукции в рассматриваемый период приходилось менее 0,3% от объема производства щебня и гравия. В то же время доля импортных поставок в последние годы имела тенденцию к росту, что обусловлено дефицитом высокопрочного щебня в Централь-

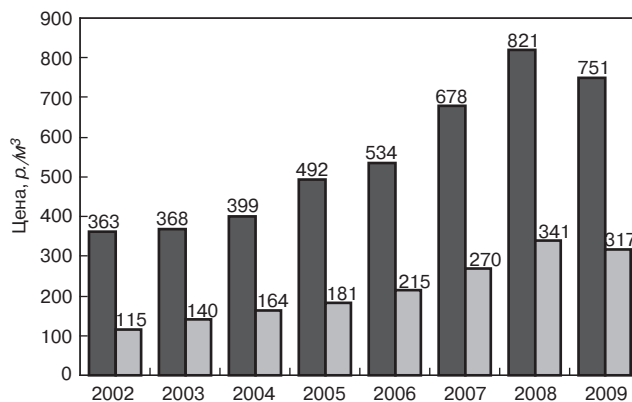


Рис. 6. Динамика средних цен производителей и средних цен приобретения щебня в 2002–2009 гг. (на конец года)

Источник: Росстат

ном и Южном регионах страны и, как следствие, ростом объемов импорта из Украины и Беларуси. Стоит отметить, что еще одним конкурентным преимуществом украинского и белорусского щебня являются относительно низкие цены по сравнению с продукцией российского производства.

Для оценки региональной структуры потребления щебня и гравия в стране был применен комплексный подход на основе трех методик расчета. В качестве этих методик были использованы: оценка «видимого» потребления щебня и гравия в разрезе федеральных округов, оценка расчетной потребности в щебне и гравии по федеральным округам и оценка объемов работ по виду деятельности «Строительство» в каждом из округов. Полученные данные усреднялись (рис. 4).

Основной объем потребления щебня и гравия в России в 2009 г. – 26,5% общероссийского потребления этой продукции, или около 39 млн м³, по оценкам «ГС-Эксперт», пришелся на долю Центрального федерального округа. Наименьшие объемы потребления традиционно характерны для Дальневосточного федерального округа – в регионе было использовано менее 9 млн м³ исследуемой продукции, что составляет менее 6% общероссийского потребления.

По оценкам «ГС-Эксперт», в 2009 г. основной объем щебня – около 69% использовался для строительства и ремонта автомобильных и железных дорог. На долю потребления щебня в строительстве (производство сборных железобетонных изделий и конструкций и производство бетонной смеси) пришлось около 28% от общего объема потребления щебня в стране.

Среднегодовые цены производителей на щебень и гравий российского производства за период с 2005 по 2009 гг. увеличились в 1,9 раза и превысили 320 р./м³ без НДС. При этом в 2006–2007 гг. рост среднегодовой цены производителей составлял около 20%, а в 2008 г. средние цены производителей на щебень и гравий выросли еще на 31,1%. В 2009 г. на фоне кризисных явлений в российской экономике и существенном падении спроса на нерудные стройматериалы со стороны предприятий строительного комплекса и дорожного хозяйства среднегодовые цены производителей остались на уровне 2008 г. Однако если проследить месячную динамику изменения цен, то можно отметить снижение средних цен производителей к декабрю 2009 г. примерно на 7% по сравнению с началом года.

Средние цены приобретения щебня строительными и подрядными организациями в 2,4–2,8 раза

превышают средние цены производителей на эту продукцию (по данным Росстата). При этом в последнее время темпы роста цен приобретения были несколько ниже темпов роста цен производителей, что объясняется существенно возросшей конкуренцией на рынке в условиях снижения спроса (рис. 5). Так, по итогам 2009 г. средние цены приобретения щебня снизились на 19%, в то время как средние цены производителей за этот же период снизились всего на 6,8%.

Среди российских регионов цены приобретения выше средних традиционно характерны для Центрального и Приволжского федеральных округов, что связано с недостаточным уровнем производства высококачественного щебня и, как следствие, с необходимостью его транспортировки из других регионов, что ведет к существенному удорожанию этой продукции (рис. 6). В 2009 г. также существенно выросли цены на щебень в Дальневосточном федеральном округе вследствие существенно возросшего спроса на него в рамках строительства объектов саммита АТЭС-2012.

В целом по РФ наиболее высокие цены приобретения щебня в 2009 г. были характерны для Москвы и Московской области, Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Астраханской, Кировской, Магаданской, Новгородской, Пензенской, Самарской, Томской и Тюменской областей, Республик Мордовия, Чувашия, Саха (Якутия). Минимальные цены были зафиксированы в Республиках Карелия, Адыгея, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкессия, Северная Осетия – Алания, Башкортостан, а также в Ставропольском, Приморском и Красноярском краях, Свердловской, Челябинской и Кемеровской областях.



ООО «ГС-Эксперт»

- ◆ Специализируется на проведении маркетинговых исследований и мониторинге рынков в области строительных материалов и минерального сырья в России и ряде стран СНГ.
- ◆ Осуществляет постоянный мониторинг и всесторонний анализ текущей ситуации и основных тенденций на рынках исследуемой продукции, включая анализ данных о ее производстве и потреблении, экспортно-импортных поставках, сырьевой базе, состоянии ведущих участников рынка, а также законодательства, касающегося этих отраслей.
- ◆ Выполнены работы по:
 - минеральному сырью: гипсовому камню, полевоому шпату, различным видам глин, стекольным и формовочным пескам, карбонатным породам (доломиту, мелу, известняку) кварцу, бентониту, волластониту, диатомиту и др.
 - строительным материалам: цементу, извести, гипсу, листовому стеклу, щебню, гравиию, теплоизоляционным и кровельным материалам, архитектурному профилю из алюминиевых сплавов и ПВХ, кирпичу, ячеистому бетону и др.
- ◆ Предлагаем готовые аналитические обзоры рынков, проведение исследований по вашим индивидуальным заказам, а также услуги по мониторингу цен и объемов поставок продукции (внутренние поставки и анализ ВЭД) на ежемесячной или ежеквартальной основе.

125047, Москва, 1-й Тверской-Ямской пер., д. 18, оф. 230

Тел: (495) 250-48-74, (916) 507-83-77

Факс: (495) 250-48-74

www.gs-expert.ru

E-mail: info@gs-expert.ru



Активатор
измельчение активация синтез

Реклама

Российские промышленные эллиптические шаровые мельницы "Активатор" интенсивного помола.

	Activator-C100	Activator-C500	Activator-C1000	Activator-C5000
произв-сть	100 кг/ч	500 кг/ч	1000 кг/ч	5000 кг/ч
тонина помола	1-3 мкм	4-7 мкм	20-50 мкм	50-70 мкм
потребляемая мощность	5,5 кВт/ч	11 кВт/ч	30 кВт/ч	75 кВт/ч
габариты, мм	1020×570×1230	1122×750×1500	1710×925×1815	2850×1700×2950

Результаты активации цемента и помола материалов - на нашем сайте.

● Все мельницы проходят испытания на Вашем материале, а дисперсный состав помолотых порошков тестируется в лаборатории.

Мельницы "Активатор" производятся только по оригинальным чертежам разработчика и защищены Патентами РФ №18501, №33037 на полезные модели. Патентообладатель: ЗАО "Активатор".



подготовка шихты для керамической плитки помол пигментов активация цемента смешение компонентов пенобетона

получение сухих смесей

www.activator.ru >>

Новосибирск, Софийская 18, оф 107
630056, Новосибирск 56, а/я 141
Факс: 8 (383) 325-18-49
Тел: 8 913 942 94 81
e-mail: belyaev@activator.ru

П.Б. РАПОПОРТ, канд. техн. наук, Н.В. РАПОПОРТ, канд. техн. наук,
ООО Центр дорожных технологий «Дорэксперт»; О.Г. ТАСКАЕВ, канд. техн. наук,
ОАО «Сибгипротранс» (Новосибирск); А.В. КОЧЕТКОВ, д-р техн. наук,
ФГУП «РОСДОРНИИ» (Москва)

Стандарты на методы испытаний дорожно-строительных материалов и конструкций автомобильных дорог

В соответствии со ст. 3 [1] техническое регулирование должно осуществляться с учетом принципов единства правил и методов исследований (испытаний) и измерений при проведении процедур обязательной оценки соответствия. Согласно п. 1 статьи 7 [1] «технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие единство измерений».

Единство измерений – это свойство, которое возникает благодаря использованию набора определенных методов и технических средств. Эти методы и средства при измерениях одного и того же значения какой-то физической величины в любой точке страны и мира должны обеспечивать получение одного и того же результата в законных единицах с определенной регламентированной точностью.

Чтобы измерения выполнялись одинаковым образом, метод измерений должен быть стандартизован. Это означает, что должен быть нормативный документ, устанавливающий во всех подробностях, как должно выполняться измерение, и включающий описание процедур получения и подготовки образцов для выполнения измерений (ГОСТ Р 1.5–2002; ГОСТ Р-8.563–96).

Стандартизация методов измерения осуществляется в целях сопоставимости результатов исследований (испытаний) и измерений, технических и экономико-статистических данных [1].

Испытания дорожно-строительных материалов и замеры параметров технологических операций являются неотъемлемой частью процесса устройства автомобильных дорог. Испытания (измерения) проводят при оценке качества дорожно-строительных материалов, дорожных работ и автомобильной дороги в целом, выполняются по методикам, представленным в действующих стандартах.

Однако на практике имеет место несовпадение результатов испытаний одних и тех же материалов, полуфабрикатов и изделий, полученных в различных лабораториях, что приводит к многочисленным конфликтам между заказчиком, подрядчиком и независимыми организациями (лабораториями). Причиной этих конфликтов в числе прочих важную роль играет несовершенство действующих стандартов на методы испытаний.

В связи с этим весьма актуальным становится внедрение в дорожной отрасли стандартов, принятых в России в качестве национальных (ГОСТ Р ИСО 5725-1÷6–2002).

В ИСО 5725: 1994–1998 и ИСО/МЭК 17025–99 понятие «метод измерений» («measurement method») включает совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов с известной точностью. Таким образом, понятие «метод измерений» по ИСО 5725 адекватно понятию «методика выполнения измерений (МВИ)» по [2] (п. 3.1).

Следует отметить, что в отечественной метрологии точность и погрешность результатов измерений, как правило, определяются сравнением результата измерений с истинным или действительным (условно истинным) значением измеряемой физической величины (являющимися фактически эталонными значениями измеряемых величин, выраженными в законных единицах).

В условиях отсутствия необходимых эталонов, обеспечения воспроизведения, хранения и передачи соответствующих значений единиц величин, необходимых для оценки погрешности (точности) результатов измерений (что характерно для дорожного хозяйства), в отечественной и в международной практике за действительное значение зачастую принимают общее среднее значение (математическое ожидание) установленной (заданной) совокупности результатов измерений. Эта ситуация отражена в термине «принятое опорное значение» (см. пп. 3.5 и 3.6) (ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002) и там же рекомендуется для использования в отечественной практике.

Стандарт на продукцию – нормативный документ, содержащий требования к продукции, которые обеспечивают соответствие продукции ее назначению. Стандарт может быть полным или неполным. Полный стандарт на продукцию содержит также правила отбора образцов для испытаний, порядок проведения испытаний и т. д. Стандарт на методы испытаний – нормативный документ, устанавливающий методики, правила, процедуры различных испытаний и связанных с ними действий.

Методы испытаний, применяемые в дорожной отрасли, представлены в стандартах на методы испытания; в национальных стандартах на методы испытания; в стандартах на технические условия; в ведомственных строительных нормах (в пяти действующих ВСН представлено 12 методов испытаний); в методических рекомендациях (в четырех действующих МР представлено 12 методов испытаний); в отраслевых методических документах (в четырех ОДМ, изданных за период 2002–2007 гг., приведено 16 методов испытаний).

До настоящего времени в дорожном хозяйстве РФ недостаточно внимания уделяли организации и проведению целенаправленной комплексной и последовательной работы по совершенствованию и обеспечению заданной точности испытаний. Так, в нарушение требований п. 7.3.1 (ГОСТ Р 1.5–2002), который действовал на момент разработки стандартов, методы контроля (испытаний, измерений, анализа), применяемые в дорожном хозяйстве, не всегда обеспечивают воспроизводимость результатов. В нарушение требований п. 7.3.8 этого же стандарта при изложении требований к точности метода контроля в большинстве стандартных методов не указаны допустимые его погрешности, не при-

водятся данных о воспроизводимости и повторяемости результатов, обеспечиваемых данным методом.

Показатели точности (правильности и прецизионности) стандартных методов испытаний и измерений экспериментом по оценке точности в нарушение требований п. 4.2 (ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002) не подтверждены.

Имеют место явные различия во внутрилабораторных стандартных отклонениях или в средних значениях результатов различных испытаний по лабораториям [3], которые указывают на недостаточную детализацию стандартных методов испытаний и измерений и на необходимость их совершенствования.

Испытания (измерения) включают: отбор образцов (проб), подготовку образцов к испытаниям, испытания (измерения), обработку результатов, подготовку и выдачу результатов испытаний. Погрешности методов испытаний, применяемых в дорожной отрасли, складываются из погрешностей на каждом этапе испытаний.

На этапе отбора образцов (проб), как правило, не обеспечивается представительство проб. Методика отбора проб, приведенная в стандартах, как правило, предназначенная для производителя, а не потребителя, в отдельных случаях, например для битума [4], отсутствует. Методы отбора проб щебня и песка обеспечивают представительность проб только до процесса транспортировки материалов. Методов отбора проб щебня и песка из буртов нет.

Отбор проб при приготовлении смесей и укрепленных грунтов в производственных смесительных установках по п. 4.1 ГОСТ 12801–98 не обеспечивает однородности смеси; отбор точечных проб смесей производят с интервалом 15–30 мин, следовательно, пробы отбирают из разных замесов. Фактически пробы отбирают из разных машин, так как время загрузки одной машины меньше 15 мин. Методики отбора проб для сухого рассева отсутствуют.

В соответствии с п. 4.2 отбор проб из конструктивных слоев дорожных одежд осуществляется на расстоянии не менее 0,5 м, что противоречит указаниям СНиП 3.06.03–85, п. 10.40, от края покрытия. На рас-

стоянии 0,5 м от края дороги расположена укрепительная полоса, а не покрытие. В ГОСТе в отличие от СНиП не указан допустимый срок отбора проб, который оказывает существенное влияние на результат испытаний.

При требовании заказчика определять пределы прочности при сжатии переформованных образцов в соответствии со стандартом массу вырубки или кернов следует увеличивать, что противоречит указаниям этого же стандарта по ограничениям размеров вырубки.

При выпиливании проб появляются плоскости в элементах щебенки, не смазанные битумом, что существенно влияет на результаты испытаний. Испытанные керны и образцы из вырубок, а также оставшиеся части вырубок и оставшиеся керны используют для изготовления переформованных образцов по п. 6.1; разрезанные элементы щебенки попадают в смесь и изменяют соотношение битума и минеральной части, а также гранулометрический состав минеральной части.

В соответствии со стандартом выпиленные образцы должны иметь форму, приближающуюся к кубу или прямоугольному параллелепипеду со сторонами от 5 до 10 см; в стандарте не указан порядок действий при толщине слоя меньше 5 см или больше 10 см.

За рубежом и у геологов в РФ применяется метод отбора цилиндрического образца известного объема вдавливанием в земляное полотно пробоотборника с режущей кромкой, если грунт достаточно связный, чтобы извлечь образец. В РФ дорожники практикуют вбивание пробоотборника, что приводит к нарушению структуры грунта и искажению получаемых в дальнейшем результатов.

Необходимое и достаточное количество замеров или испытаний, определенное по известной методике с учетом коэффициента вариации и стандартных ошибок, представленное в табл. 1, не соответствует числу образцов, принимаемому в соответствии с действующими стандартами.

Порядок обработки результатов испытаний, представленный в действующих стандартах, не отвечает данным, приведенным в табл. 1:

Таблица 1

Показатель при испытаниях	V*	b**	n/N***
Плотность грунта (прибор Ковалева)	0,03	0,015	4/2
Испытание асфальтобетонной смеси и асфальтобетона	0,03	0,01	6/3
Модуль упругости грунта, отобранного штампом	0,3	0,1	6/2
Модуль упругости слоев дорожной одежды, отобранного прогибомером	0,25	0,1	5/2
Толщина слоев дорожной одежды	0,2	0,08	5/2
Ширина слоев	0,1	0,05	4/2
Просвет под 3-метровой рейкой	0,8	0,2	8/2
Прочность асфальтобетона	0,1	0,05	4/3
Прочность цементогрунта	0,15	0,05	6/3
Влажность грунта	0,1	0,05	4/2
Угол естественного откоса грунта	0,1	0,05	4/2
Температура асфальтобетонной смеси	0,18	0,03	12/3
Примечания: * V – коэффициент вариации. ** b – допустимая ошибка, принимаемая при физико-механических испытаниях 3–8%, при механических испытаниях – 10–15%. *** n – требуемое количество испытаний (число повторных замеров или испытаний). N – количество испытаний по действующим стандартам.			

- среднюю работу деформирования образцов при одноосном сжатии и при сжатии по схеме Маршалла вычисляют как среднеарифметическое значение результатов испытания трех образцов;
 - за результат определения набухания принимают среднеарифметическое значение трех определений;
 - за результат определения истинной плотности смеси принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений;
 - среднеарифметическое значение потери прочности при сжатии вычисляют по трем образцам;
 - массовую долю вяжущего определяют по результатам двух параллельных испытаний;
 - показатель слеживаемости вычисляют как среднеарифметическое результатов испытания трех образцов; расхождение между наибольшим и наименьшим результатами испытаний не должно быть более четырех ударов;
 - насыпную плотность противогололедного материала вычисляют как среднеарифметическое двух результатов определений.
- Стандарты написаны небрежно, например:
- расхождение между результатами испытания отдельных образцов на прочность при сжатии не должно превышать $\pm 10\%$ (не указано % от чего);
 - расхождение между результатами параллельных определений массовой доли вяжущего не должно быть более 0,2% (по абсолютной величине) (не указано % от чего);
 - расхождение между результатами параллельных определений плотности по абсолютной величине не должно превышать, % (не указано % от чего);
 - смесь считают выдержавшей испытание, если после кипячения не менее 3/4 поверхности остается покрытой пленкой вяжущего (не приведена методика определения площади поверхности);
 - за условный показатель слеживаемости холодной смеси принимают количество ударов, необходимое для полного разрушения образца конусом (не определены признаки разрушения);
 - оценка точности полученных результатов действующими стандартами не предусмотрена.

Отдельные положения стандартных методов противоречат требованиям других действующих нормативных документов, например:

- в соответствии с п. 5.5.3 «Методических рекомендаций по строительству оснований и покрытий из виброукатанного цементобетона» прочность цементобетона проверяют по данным испытаний кернов, выбуренных из покрытия через 20 сут после его укладки, а по п. 8 рекомендуется выбуривать керны в 26-суточном возрасте;
- представленный в п. 12 3.3 «Методических рекомендаций по контролю качества полимерасфальтобетонных покрытий с применением полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) на основе СБС» 2003 г. «Метод определения эластичности полимерасфальтобетона» существенно отличается от способа определения эластичности полимерасфальтобетона по п. 7.2.2 ОСТ 218.010–98 «Вяжущие полимербитумные дорожные на основе блоксополимеров типа СБС» (не отменен);
- порядок приготовления образцов из полимерасфальтобетона по п. 5.2 ОДМ 218.2.001–2007 и определение эластичности не соответствуют аналогичному порядку и испытанию, представленным в МР 2003 г., на который в этом же ОДМ имеется ссылка.

В соответствии с требованиями п. 4 [5] совместно с результатом измерений должны быть представлены характеристики его погрешности либо результат измерений должен быть указан доверительным интервалом, покрывающим с известной вероятностью истинное значение измеряемой величины. Практически во всех дорожных лабораториях в нарушение требований стандарта (ГОСТ Р ИСО 5725-2–2002) оценка неопределенности испытаний не производится и заказчику не предоставляется, погрешность или доверительный интервал при выдаче результатов не указывается.

Точность некоторых из получаемых результатов испытаний характеризуется приведенными в табл. 2 возможными границами определяемых величин, т. е. доверительными интервалами, которые получены в результате статистической обработки данных, полученных по НИР Лаборатории контроля качества дорожных одежд и земляного полотна СГУПС (Новосибирск, 2002).

Таблица 2

Наименование показателя	Характеристика показателей по объектам			Примечание
	Бердское шоссе, новое покрытие	Бердское шоссе, старое покрытие	Ул. Лесная	
Плотность а/б, г/см ³	2,459±0,01, коэффициент вариации 0,407	2,47±0,02, коэффициент вариации 0,76	2,505±0,016, коэффициент вариации 0,76	Результаты изменяются в пределах 2,44–2,47, 2,45–2,52, 2,48–2,52
Плотность а/б смеси, г/см ³	2,46±0,01, коэффициент вариации 0,67	2,46±0,02, коэффициент вариации 0,752	2,495±0,035, коэффициент вариации 0,75	Результаты изменяются в пределах 2,42–2,48, 2,43–2,48, 2,43–2,53
Коэффициент уплотнения	1±0,012	0,995±0,015	0,996±0,02	Результаты изменяются в пределах 0,98–1,12, 0,98–1,1, 0,97–1,1
Водонасыщение а/б смеси, %	1,377±0,34, стандартная ошибка 0,14	1,51±0,14, уровень надежности 0,82	1,73±1,25, уровень надежности 1,65	Результаты изменяются в пределах 0,6–2,7, 0,8–2,3, 0,9–4,9
Водонасыщение а/б, %	0,79±0,13	1,79±1,2, уровень надежности 0,28	2,03±0,9, уровень надежности 0,28	Результаты изменяются в пределах 0,4–1,8, 0,6–4,9, 1,1–3,1
Содержание щебня, %	34,37±7,99	42,45±5,28	42,25±7,53	Результаты изменяются в пределах 28,9–37, 34–58,3, 21,8–54,5
Толщина слоя, см	6,79±3,14, стандартная ошибка 0,62	5,83±1,06, уровень надежности 0,77	4,21±0,89, уровень надежности 0,76	Результаты изменяются в пределах 4,9–9,5, 4–9, 3–5

Анализ приведенных в табл. 3 данных показывает, что точность испытаний в целом не обеспечена. В отдельных случаях (определение содержания щебня (не предусмотренного действующими нормативными документами), определение толщины слоя, водонасыщения погрешность превышает 25, 46, 66% и более от определяемой величины.

Результаты испытаний, представленные в [3], показывают, что в 4 из 8 видов испытаний битумов экстремальное значение воспроизводимости, полученное по данным межлабораторного эксперимента, в котором приняло участие свыше 80 аккредитованных испытательных лабораторий, превышает нормативное значение.

В [3] приведены результаты воспроизводимости, полученной на основании межлабораторных испытаний, например:

- для массы образцов на воздухе для песчаной смеси 405,168 г, что почти в два раза превышает определяемую величину (рекомендуемая масса образцов в соответствии с ГОСТ 12801–98 составляет 220–240 г);
- для высоты образцов из песчаных асфальтобетонных смесей – 0,395/0,36, что превышает допускаемое отклонение в 3–4 раза (рекомендуемые размеры образцов в соответствии с ГОСТ 12801–98 составляют: диаметр 50,5, высота $50,5 \pm 1$ мм);
- для средней плотности песчаной смеси 0,055, для мелкозернистой смеси 0,032/0,031, что превышает допускаемое отклонение на 10–80% (допускаемое отклонение значений плотности 0,03 г/см³, п. 7.3 ГОСТ 12801–98);
- для водостойкости песчаной смеси 0,238, мелкозернистой смеси 3,031/0,169, что превышает определяемое значение этого показателя в два раза;
- для пределов прочности при 20, 50 и 0°С значения полученной воспроизводимости соизмеримы со значениями определяемых величин.

Из приведенных данных [3] следует, что аккредитованные лаборатории, принимавшие участие в межлабораторных испытаниях (более 80), не могут правильно использовать стандартные методы испытаний: испытания битумов; испытания мелкозернистых асфальтобетонов; испытания песчаных асфальтобетонов. В результате межлабораторных испытаний выявлена недостаточная детализация стандартных методик и необеспеченность ими заданной точности.

В стандартах на методы испытания битумов приводятся предельные значения показателей сходимости и воспроизводимости, что не соответствует названию и смыслу этих терминов по 3.12–3.2 (ГОСТ Р ИСО 5725–2–2002), в соответствии с чем следует применять «стандартное отклонение повторяемости» и «стандартное отклонение воспроизводимости».

В остальных стандартах на методы испытаний дорожного хозяйства, в том числе испытаний мелкозернистых и песчаных асфальтобетонов, отсутствуют требования к погрешности измерений в виде воспроизводимости результатов измерений в разных лабораториях или несоответствия нормированных показателей, например повторяемости (сходимости) или воспроизводимости, показателям и условиям их определения, установленным в стандарте ГОСТ Р ИСО 5725–1–2002.

В отдельных стандартах на методы испытания в дорожном хозяйстве требования к пределу (нормативу) воспроизводимости нормированы для результатов измерений (испытаний), получаемых на идентичных объектах разными операторами на разных экземплярах оборудования в пределах одной лаборатории, т. е. в условиях промежуточной прецизионности, а не в разных лабораториях согласно требованиям стандартов ГОСТ Р ИСО 5725, как это принято в международной практике.

Стандартизованный метод измерений должен быть устойчивым. Другими словами, небольшие отклонения в процедуре не должны быть причиной непредвиденно больших изменений результатов. Если такое происходит, то должны быть приняты адекватные меры предосторожности или предупреждения. Желательно также, чтобы в процессе разработки стандартного метода измерений прикладывались все усилия для устранения или уменьшения систематической погрешности. При разработке стандартов на методы испытаний в дорожной отрасли это не проводилось. Систематическую погрешность по видам испытаний не определяли, что и предопределило наличие значительных расхождений результатов испытаний одинаковых проб дорожно-строительных материалов, проводимых в разных лабораториях.

ГОСТы Р ИСО 5725-1÷6–2002 допустимо применять для оценки точности выполнения измерений различных физических величин, характеризующих измеряемые свойства того или иного объекта, в соответствии со стандартизованной процедурой. При этом в п. 1.2 (ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002) отмечено, что стандарт может применяться для оценки точности выполнения измерений состава и свойств очень широкой номенклатуры материалов, включая жидкости, порошкообразные и твердые материалы – продукты материального производства или существующие в природе, при условии, что учтена любая неоднородность материала. Именно эти объекты составляют основную номенклатуру дорожной отрасли и промышленности дорожно-строительных материалов.

ГОСТ Р ИСО 5725 введен общий термин «прецизионность» для всех видов случайных погрешностей. Термины «повторяемость» и «сходимость» стали синонимами и относятся к измерениям, выполняемым в течение краткого промежутка времени одним исполнителем на одном и том же оборудовании, с использованием одних и тех же реактивов и т. д. («в условиях повторяемости»).

Мерой повторяемости (сходимости) является дисперсия повторяемости s_r^2 . Другими словами, это минимально возможная для методики измерений случайная погрешность. Для стандартных методов испытаний, применяемых в дорожном хозяйстве, минимально возможные для методик измерений случайные погрешности не определены и на практике не применяются.

Термин «воспроизводимость» однозначно связан с межлабораторным разбросом результатов измерений; мерами воспроизводимости являются межлабораторная дисперсия воспроизводимости s_L^2 и дисперсия воспроизводимости $s_R^2 = s_L^2 + s_r^2$.

В применении к внутрилабораторному контролю термин «воспроизводимость» вообще использоваться не должен: для отдельно взятой лаборатории соответствующий эффект уже не является случайным; он вырождается в систематическую погрешность этой лаборатории. Поскольку стандартизованные методы испытаний не обеспечивают заданную точность, систематическую погрешность лабораторий в дорожном хозяйстве не определяют.

В соответствии с п. 7.3.8 ГОСТ Р 1.5–2002 в стандартах на методы контроля (испытаний, измерений, анализа) при изложении требований к точности метода должны быть приведены нормы показателей воспроизводимости, обеспечиваемые этим методом.

Однако даже в нормативных документах, введенных в действие после ноября 2002 г. (ГОСТ Р 52128–2003, ГОСТ Р 52129–2003, ГОСТ 31015–2002), не приведены нормы показателей воспроизводимости, обеспечиваемые этими методами. Очевидно, что нормы расхождений между результатами в пределах одной лаборатории

не могут быть механически перенесены на расхождения между результатами, полученными в разных лабораториях. В ряде случаев требуется изучение материала, накопленного в ходе применения конкретного стандарта, а иногда и организация специального эксперимента по оценке показателей воспроизводимости метода. Только после установления норм на предел воспроизводимости (см. пп. 3.18 и 3.20 ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002) следует вносить этот показатель в стандарт. Стандарты, в которых регламентированы требования к воспроизводимости, не соответствующие этим нормам, подлежали отмене с 1 июля 2004 г. Анализ применяемых МВИ на предмет их соответствия требованиям стандартов ГОСТ Р ИСО 5725 предназначен выявить методики, которые не могут быть применены без доработки. В отношении таких методик должна быть спланирована работа по приведению их в соответствие; изъятию; замене. В дорожном хозяйстве такой анализ не осуществлен и соответствующая работа по приведению стандартов в соответствие не проводилась.

Считалось, что изменения должны были вноситься в первую очередь в государственные стандарты Российс-

кой Федерации и межгосударственные стандарты, утвержденные в 1993–2002 гг., в которых требования к пределу (нормативу) воспроизводимости либо вообще отсутствуют, либо нормируются для результатов испытаний, получаемых на идентичных объектах разными операторами на разных экземплярах оборудования в пределах одной лаборатории, т. е. в условиях промежуточной прецизионности, а не в разных лабораториях согласно требованиям стандартов ГОСТ Р ИСО 5725 и как принято в международной практике.

Изменения также должны были вноситься и в стандарты, в которых вообще отсутствуют требования к точности метода, даже к показателю повторяемости (сходимости), в том числе стандарты на методы испытаний, применяемые в дорожном хозяйстве.

Согласно п. 2 «Порядка введения в действие ГОСТов серии 5725» все действующие нормативные документы (в том числе стандарты) и другие документы на МВИ состава и свойств веществ и материалов, разработанные до введения в действие стандартов ГОСТ Р ИСО 5725, оставались в силе до 1 июля 2004 г. В течение этого периода в документы должны

Таблица 3

НД	Наименование определяемого свойства по альтернативным методам	№№ пунктов НД
ГОСТ 12801-98	Содержание вяжущего	23.1, 23.3 и 23.4
	Истинная плотность	10.1 и 10.2
	Водостойкость	19 и 21
	Удельная масса, пикнометрический метод	2.1
	Удельная масса минерального порошка, объемметр Ле Шателье	2.2
ГОСТ 8269.0-97	Содержание в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц (метод отмучивания, пипеточный метод, метод мокрого просеивания, ускоренный фотоэлектрический метод, по расходу красителя – факультативный метод)	4.5.1, 4.5.2, 4.5.3, 4.5.4 и 4.5.5
	Зерновой состав (мокрый и сухой способы)	4.3.2
	Содержание в щебне (гравии) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм (метод визуальной разборки и определения на щелевидных ситах)	4.7.1, 4.7.2
	Морозостойкость щебня (гравия) (метод замораживания и ускоренное определение морозостойкости)	4.12.1, 4.12.2
	Истинная плотность горной породы и зерен щебня (гравия) (пикнометрический метод и ускоренное определение истинной плотности)	4.15.1, 4.15.2
	Реакционная способность горной породы и зерен щебня (гравия) (минералогический и химические методы, где используются весовой и фотокалориметрический методы)	4.22.1, 4.22.2
	Истинная плотность (пикнометрический метод) Ускоренное определение истинной плотности	8.1, 8.2
ГОСТ 8735-97*	Общее содержание серы (весовой метод, метод йодометрического титрования)	12.2.1, 12.2.2
	Содержание пылевидных и глинистых частиц (метод отмучивания, пипеточный метод, метод мокрого просеивания, фотоэлектрический метод). Содержание пылевидных и глинистых частиц допускается определять одним из приведенных выше методов в зависимости от наличия оборудования. При этом метод отмучивания разрешается применять до 01.01.95	5.1, 5.2, 5.3, 5.4 5.5
ГОСТ 30412-96	Методы измерений неровностей поверхности оснований и покрытий: – измерения рейкой с клиновым промерником; – нивелиром и нивелирной рейкой; – с применением автомобильной установки ПКРС-2 (для ускоренной предварительной оценки)	4, 5 и 6
	Содержание реагента в пескосольной смеси (термостатический метод, ареометрический метод)	1.10.1 и 1.10.2
	ОДМ «Методика испытания противогололедных материалов»	

были бы внесены необходимые изменения, в противном случае они подлежали отмене. Согласно п. 5 «Порядка...» с даты введения в действие стандартов ГОСТ Р ИСО 5725 подлежат отмене рекомендации и методики институтов Госстандарта России и других организаций, устанавливающие алгоритмы оценивания повторяемости (сходимости) и воспроизводимости методов (МВИ), результатов измерений (испытаний, анализа), алгоритмы (процедуры) контроля показателей точности результатов выполняемых измерений (испытаний, анализа) состава, свойств веществ и материалов, не соответствующие требованиям стандартов (ГОСТ Р ИСО 5725).

Так как в действующие стандарты по методам испытания дорожно-строительных материалов соответствующие изменения не были внесены, их нужно было отменить с 1 июля 2004 г.

Особого внимания заслуживают требования ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 к стандартизации альтернативных методов измерений. Главным требованием является обязательное сопоставление методов, предлагаемых для контроля одной и той же измеряемой характеристики. Методы могут быть стандартизованы в рамках одного либо в разных стандартах. В ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 (раздел 8) предполагается, что в качестве альтернативного, как правило, рекомендуется более простой и дешевый метод, но реже применяемый. Для обоснования использования более дешевого метода для некоторой ограниченной номенклатуры продукции используют оцененные для этого метода в ходе эксперимента значения систематической погрешности, показателей повторяемости, воспроизводимости, которые должны быть не ниже установленных для основного стандартизованного метода для всей группы продукции.

В стандартах, регламентирующих альтернативные методы измерений (МВИ), по результатам экспериментов по оценке и сопоставлению показателей точности этих МВИ (см. п. 8.3 ГОСТ Р ИСО 5725-4-2002) должны быть установлены нормы их соответствия (допускаемые смещения, систематические отклонения ожидаемых результатов измерений контролируемого показателя по альтернативной МВИ и по основной стандартизованной (арбитражной) МВИ).

В качестве примера подобного типа стандартов, применяемых в дорожном хозяйстве, могут быть приведены некоторые из альтернативных методов испытаний, представленные в табл. 3.

В нарушение требований п. 7.3.2 (ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002) в стандартах на методы контроля, устанавливающих требования к методам контроля одного показателя несколькими способами, ни один из представленных в табл. 3 не определен в качестве верочного (арбитражного). Исследование и сравнение значений систематической погрешности альтернативных методов, приведенных в табл. 3 не осуществлено, эксперименты по оценке и сопоставлению показателей точности этих МВИ (см. п. 8.3 ГОСТ Р ИСО 5725-4-2002) не проведены.

В стандартах, регламентирующих альтернативные методы измерений (МВИ), не установлены нормы их соответствия (допускаемые смещения, систематические отклонения ожидаемых результатов измерений контролируемого показателя по альтернативной МВИ и по основной стандартизованной (арбитражной) МВИ). В связи с этим законность применения этих методов сомнительна.

В дорожной отрасли применяется много норм, противоречащих международному праву и практике, в том числе директивам и стандартам ЕС. Одной из целей принятия ФЗ [1] является гармонизация отечествен-

ной нормативно-технической документации с международной. В ст. 4 ФЗ сказано о приоритетности международного права. В связи с этим появилась необходимость более детально гармонизировать отечественную систему стандартизации, в том числе и стандарты на методы испытаний дорожной отрасли, с международной практикой. И как следствие, на первый план выходит необходимость устранения следующих несоответствий.

1. По зерновому составу щебня. Все нормативные документы РФ регламентируют определение зернового состава на ситах с круглыми отверстиями. Все зарубежные стандарты ориентированы на использование сит с квадратными отверстиями D' (при этом считается, что $D_0 = 1,25D'_0$ или $D'_0 = 0,81D_0$).

Это явилось одной из причин различий в традиционном существующих и используемых на практике в различных странах размерах заполнителя, представленных в табл. 3.

2. Прочность щебня. НД РФ регламентируют определение прочности щебня по дробимости или по истираемости в полочном барабане. НД евростандарта регламентируют определение прочности щебня испытанием в шаровой мельнице, США – в полочном барабане.

3. Форма зерен щебня. НД РФ регламентируют определение лещадности щебня измерением каждого зерна щебня штангенциркулем или шаблоном. Зарубежные НД регламентируют определение лещадности щебня просеиванием пробы щебня на шелевидных ситах.

4. Уплотнение грунта. При лабораторном испытании по Проктору за рубежом используют падающий груз массой 2,5 кг в металлическом стакане диаметром 10 см. При этом диаметр плоского основания трамбовки равен 5 см, т. е. вдвое меньше диаметра стакана с образцом грунта. После каждого удара груз смешают по кругу и последующий удар наносят по новому месту. При этом обеспечивается возможность возникновения в грунте сдвиговых деформаций, моделирующих условия уплотнения в поле. Удары равномерно распределены по поверхности образца. В соответствии с НД РФ диаметр трамбовки равен внутреннему диаметру стакана. При испытании образец находится в условиях однородного напряженного состояния без возможности сдвиговой деформации с боковым выпором грунта.

В действующих в США стандартах (Т180-93, Т99-94 и Е180-93) диаметр уплотняемого образца, масса груза, число и толщина слоев, а также число ударов поставлены в зависимость от максимальной крупности зерен. Эти изменения в РФ не учитывались вовсе. Под одним и тем же названием «плотность» в РФ и за рубежом подразумевается различное содержание.

5. Битум. При испытании битума зарубежными НД предусмотрено определять коэффициент вариации, у дорожников РФ нет. В РФ не нормированы условия подготовки проб битумных вяжущих для приготовления образцов для стандартных испытаний и условия отбора проб органических вяжущих для дорожного строительства.

В РФ не определяются также показатели свойств битума, регламентированные зарубежными нормативными документами:

- вязкость при 135°C и динамическая вязкость (EN 12596);
- потери массы после прогрева при 163°C;
- модуль упругости битума при -18°C;
- предельное относительное удлинение при разрыве при -18°C и т. д.;
- степень растворимости битумных вяжущих без и с малыми включениями минерального материала, не являющегося составляющим асфальтобетонной смеси, в определенном растворителе;

Таблица 4

Вид заполнителя	Крупность зерен, мм по странам						
	Россия	Германия	Франция	Австралия	США	Япония	Венгрия
Мелкий	0–5	0–3	0–7	0–5	0–3	0–5	0–7
Средний	5–10	3–12	7–15	5–10	3–7	5–20	7–15
Крупный	>10	12–15	15–25	10–19	7–20	–	15–30

Примечание. В Японии осуществлен переход на фракцию мелкого заполнителя 0–3.

- количество парафина в битуме или битумном вяжущем методом дистилляции (нормы DIN 52015);
- количество парафина, содержащегося в битуме или битумном вяжущем, методом экстрагирования (AFNOR NF T 66-015);
- оценка эффекта совместного влияния высокой температуры и воздуха на битум или битумное вяжущее при вращении его в виде тонкой пленки, имитирующего процесс старения, которому подвергается битумное вяжущее во время приготовления асфальтобетонной смеси, транспортировки и хранения (EN 1426).

6. Асфальтобетон. В соответствии со стандартами AASHTO и ASTM (Ассоциацией испытаний и материалов) в США применяют различные методы проектирования составов асфальтобетонной смеси (по Хвиму, Маршаллу или системе суперпейв), а также различные методы испытания смесей и их компонентов, существенно отличающиеся от принятых в РФ.

При формировании лабораторных асфальтобетонных образцов в РФ применяют сжатие на прессе при давлении 400 кгс/см² (40 МПа) или комбинированный метод – вибрация на стенде 3 мин+сжатие на прессе 200 кгс/см² (20 МПа) 3 мин (стандарт для щебенистых смесей), а за рубежом – метод Маршалла (вращательное уплотнение на гираторе).

У этих отечественных стандартных методов и приборов нет возможности варьировать работу уплотнения и оценивать уплотняемость составов смесей, как это делается в методе Маршалла, за счет изменения количества ударов трамбовки или количества оборотов гиратора во вращательном уплотнителе.

Выводы и предложения.

1. Работа по проверке «правильности» стандартов на методы испытаний в дорожном хозяйстве не проведена, что ставит под сомнение правомерность применяемых в отрасли стандартных методов испытаний [6, 7].

2. Рекомендовать в дорожной отрасли разработать планы экспериментов по оценке точности и определить содержание экспериментов при оценке показателя «правильности» (систематической погрешности), показателей прецизионности (повторяемости и воспроизводимости), промежуточных показателей прецизионности стандартизуемых и уже стандартизованных методов измерений.

3. В стандартах и других документах на МВИ необходимо в соответствии с международными требованиями представить приписанные (установленные) характеристики составляющих погрешности с указанием совокупности условий, для которых эти характеристики приняты.

4. Рекомендовать разработчикам стандартов при разработке новых и (или) пересмотре методик выполнения измерений (МВИ), в том числе подлежащих стандартизации и предназначенных для испытаний продукции, а также при разработке предлагаемых к стандартизации альтернативных методов контроля (измерений, испытаний, анализа) (имеются в виду все альтернативные методы контроля независимо от их физических принци-

пов) безусловный учет основных положений стандартов серии ГОСТ Р ИСО 5725.

5. Возможность стандартизации альтернативного метода должна быть обоснована и подтверждена процедурами оценивания и сопоставления показателей точности предлагаемого к стандартизации метода со стандартизованным арбитражным методом.

6. Для стандартных методов измерений установить одно общее среднее стандартное отклонение повторяемости (сходимости), которое будет применимо для любой лаборатории. Предусмотреть, что любая лаборатория, выполняя серию измерений в условиях повторяемости (сходимости), может получить оценку своего собственного стандартного отклонения повторяемости для метода измерений и сопоставить ее с общепринятой стандартной величиной.

7. С целью внедрения в практику инженерных методов, позволяющих давать объективные интегральные оценки результатов измерений, проводимых в процессе испытаний и контроля, а также проверки самих средств измерений, провести масштабную целевую проверку испытательных лабораторий, работающих в дорожной отрасли.

8. Внедрить в практику контроля точности измерений как показатель качества значение систематической погрешности лаборатории при реализации конкретной МВИ и стабильность этого значения в течение определенного периода времени выполнения измерений в лабораториях.

Список литературы

1. «О техническом регулировании». Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. 184-ФЗ.
2. Концепция развития национальной системы стандартизации. 28.02.2006 г. № 266-р.
3. Васильев Ю.Э., Шляфер В.Л., Козик П.В., Маринич С.А., Матвиевич С.А. Регулярные межлабораторные испытания // Наука и техника в дорожной отрасли. 2006. № 2. С. 19–20.
4. Программа гармонизации международных и российских стандартов в области дорожных битумов на 2007 г. Распоряжение Федерального дорожного агентства 633-р. 19.12.06.
5. МИ 1317–2004 Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления; способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.
6. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Чубукин И.В., Сукорцев С.В., Таскаев О.Г. Мнение читателей // Наука и техника в дорожной отрасли. № 1. 2007. С. 36–39.
7. Рапопорт П.Б., Таскаев О.Г., Ачимов Ю.А. Компетентность испытательных лабораторий в свете требований Закона «О техническом регулировании» и стандартов ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025, ГОСТ Р ИСО 5725 // Дороги России XXI века. № 2. 2007. С. 13–16.

А.В. КОЧЕТКОВ, патентовед, доктор технических наук, профессор, академик транспорта (Москва)

Нарушение интеллектуальных прав в дорожном хозяйстве: пример постановки проблемы

Контрафактная продукция — продукция, выпускаемая с нарушением прав третьих лиц, в том числе с нарушением патента на изобретение, промышленные образцы, товарные знаки, авторские права на тиражирование аудио-, видеопродукции, программного обеспечения, базы данных и т. п.

Этой продукцией наносится ущерб экономике государства в виде непоступления налоговых и иных платежей в бюджеты государства и государственные внебюджетные фонды; престижу страны, подрыва инвестиционного климата; владельцам авторских прав на продукцию и прав на товарные знаки; здоровью потребителей контрафактной и фальсифицированной продукции. В дорожном хозяйстве дискредитируется авторитет отечественных и зарубежных предпринимателей, формируется теневой сектор экономики, публичные компании несут моральный и материальный ущерб, снижается лояльность потребителей к бренду, здоровье производителей дорожных работ и потребителей дорожных услуг подвергается риску.

Понятие контрафакта определено в ст. 4 Закона РФ от 23 сентября 1992 г. № 3520-1 «О товарных знаках, знаках обслуживания и наименованиях мест происхождения товаров», согласно которой «...товары, этикетки, упаковки этих товаров, на которых незаконно используется товарный знак или сходное с ним до степени смешения обозначение, являются контрафактными».

Товарный знак и знак обслуживания — это обозначения (словесные, изобразительные, объемные и их комбинации), способные отличать соответственно товары и услуги одних юридических или физических лиц от однородных товаров и услуг других юридических или физических лиц (ст. 1 Закона). Они могут быть зарегистрированы на имя юридического лица, а также физического лица, осуществляющего предпринимательскую деятельность.

Владелец товарного знака имеет исключительное право пользоваться и распоряжаться им, а также запрещать его использование другими лицами.

Статья 14.10 КоАП РФ устанавливает административную ответственность за незаконное использование чужого товарного знака, знака обслуживания, наименования места происхождения товара или сходных с ними обозначений для однородных товаров в виде административного штрафа на граждан в размере от 15 до 20 МРОТ с конфискацией предметов, содержащих незаконное воспроизведение товарного знака, знака обслуживания, наименования места происхождения товара; на должностных лиц — от 30 до 40 МРОТ с конфискацией предметов, содержащих незаконное воспроизведение товарного знака, знака обслуживания, наименования места происхождения товара; на юриди-

ческих лиц — от 300 до 400 МРОТ с конфискацией предметов, содержащих незаконное воспроизведение товарного знака, знака обслуживания, наименования места происхождения товара.

Незаконное использование товарного знака неоднократно или с причинением крупного ущерба влечет уголовную ответственность (ст. 180 УК РФ) в виде штрафа до 200 тыс. руб. Однако данная статья в отличие от мер административной ответственности не предусматривает конфискацию контрафактной продукции. Гражданско-правовая ответственность за незаконное использование товарного знака заключается в праве требования с правонарушителя взыскания причиненных убытков или выплаты определяемой судом денежной компенсации в размере от 1 тыс. до 50 тыс. МРОТ.

Согласно данному ФЗ от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» в качестве одной из целей принятия технических регламентов является «...предупреждение действий, вводящих в заблуждение приобретателей». Достоверность представленной информации о товаре фактически приравнена к ее безопасности.

Визуальный осмотр контрафакта обычно выявляет предполагаемые признаки контрафактности, в связи с чем компетентными, например таможенными органами проводится взятие проб и образцов. В заключение экспертизы обычно указывается, что представленный товар имеет признаки контрафактности, выражающиеся в отсутствии обязательной подвесной маркировки либо в наличии подвесной маркировки неустановленного образца, наличии на внутренней стороне язычка лейбла неустановленного образца, качество товара недопустимо низкое для продукции известной фирмы.

Идея статьи возникла после получения ООО «ФОРТЕК» (Саратов) угрозы в возбуждении уголовного дела по нарушениям патентных прав ОАО «УНР 494» (Московская область). В связи с этим группа патентоведов и патентных поверенных Москвы и Саратова получила поручение на проведение патентной экспертизы по данной претензии.

Действительно, известна решетка с ячеистой структурой для стабилизации и закрепления грунтовой поверхности, описанная в патенте России № 2129189. Решетка с ячеистой структурой и способ ее изготовления. Авторы А.И. Ким, К.К. Бражников. Опубликовано 20.04.1999 г. Согласно патенту решетка с ячеистой структурой для стабилизации и закрепления грунтовой поверхности, выполненная из гибких полимерных полос, установленных на ребра и соединенных между собой сварными швами в шахматном порядке, отли-

чающаяся тем, что полосы изготовлены из состава, содержащего смесь полиэтилена высокого давления и полиэтилена низкого давления, а швы расположены вертикально или наклонно по отношению к ребрам полос. Также указан способ изготовления решетки с ячеистой структурой для стабилизации и закрепления грунтовой поверхности путем сварки гибких полимерных полос в шахматном порядке, отличающийся тем, что полосы выполнены из состава, содержащего смесь полиэтилена высокого давления и полиэтилена низкого давления, а сварку полос осуществляют в **вертикальном** или наклонном направлении относительно ребер полос на расстоянии 0,2–1 м с частотой 18–25 кГц, при этом образующиеся сварные швы имеют прочность не менее 100 кг/см².

Патентная экспертиза ограничилась ранее известными и не подлежащими охране интеллектуальных прав признаками, содержащимися в формуле патента № 2129189: «...полос, установленных на ребра и соединенных между собой сварными швами в шахматном порядке» (признаки известного патента США № 4797026, опубликованного 10.01.89 г.). Результат экспертизы: недостатком известного технического решения являются ограниченные функциональные возможности решетки, которая изготавливается из полос, установленных на ребра до выполнения сварных швов в вертикальном или наклонном направлении относительно ребер полос. Такой способ реален как техническое решение только для выполнения непосредственно на укрепляемой поверхности в месте производства работ, так как в патенте прямо указано на установку полос на ребра до выполнения. Другим недостатком данного технического решения является неопределенность понятия шахматного порядка, например невозможно соединить в шахматном порядке две полосы. Кроме того, сварные швы по функциональному назначению и своей конструкции не предназначены для работы на изгиб и не меняют своей формы при изготовлении. Поэтому швы, изготовленные ООО «ФОРТЕК», не являются сварными по определению сварных швов. Значительно сокращает технологические возможности изготовления указанный в способе признак вертикальности швов полос, установленных на ребра, тогда как изготовление швов на станке производится в их горизонтальном положении.

Между тем современная георешетка является арматурой геотехнической, выполненной из гибких полимерных полос, соединенных между собой гибкими швами, с возможностью образования пространственной ячеистой структуры, которая обеспечивается пространственной гибкой с растяжением полос между собой, швы выполняются в горизонтальной плоскости в заданном порядке и расстояниях чередования перпендикулярно и/или наклонно и/или разнонаклонно к ребру лежащей полосы, причем в виде концентраторов напряжений гибки при растяжении через распределенную и/или центральную осевую опору, а ширина шва составляет 4–6 мм; гибкие швы выполняются между вогнутой стороной верхней полосы и выпуклой стороной нижней полосы методом точного формообразования обработкой давлением с совмещением теплового и частотного воздействия путем локального инжектирования материала верхней полосы в материал нижней лежащей полосы и созданием чередующихся впадин в материале верхней полосы (*стандарт организации СТО ООО «ФОРТЕК»*).

Вывод патентной экспертизы: «...признать совокупность признаков изготовления георешетки по патенту № 2129189 правообладателя ОАО «УНР 494», касающихся изготовления георешетки путем сварки швов на установленных на ребро полос, не соответ-

ствующей (содержащей признаки ложного заявления) угрозе в возбуждении уголовного дела в отношении ООО «ФОРТЕК».

В связи с предположением, что в ОАО «УНР 494» при изготовлении своей продукции полосы сваривают в их горизонтальном положении (на станках, а не на укрепляемой поверхности), а не поставленными на ребро, патентной экспертизой начата встречная проверка признаков нарушения ОАО «УНР 494» интеллектуальных прав патентообладателей, в патентах которых фигурируют признаки изготовления георешеток из полос в горизонтальном положении на специализированном оборудовании.

В ответе руководства ООО «ФОРТЕК» генеральному директору ОАО «УНР 494» А.И. Киму было указано, что продукция ООО «ФОРТЕК» изготавливается по другим отличительным признакам по патенту на полезную модель № 77299 и что «...Вы можете обратиться за защитой Вашего права, в том числе и по возбуждению уголовного дела по ст. 147 УК РФ. Однако после того как мы поставили Вас в известность об отсутствии нарушения патентных прав, такие необоснованные действия могут быть квалифицированы как заведомо ложный донос и могут повлечь за собой уголовную ответственность по ст. 306 УК РФ».

Вместе с тем следует приветствовать активную борьбу, публичность и бескомпромиссность с контрафактом в дорожном хозяйстве руководства ОАО «УНР 494». Оно, как и в случае первооткрывателя темы геосинтетика, стало первым в организации этой борьбы. Это вызывает уважение и признательность со стороны публичных предприятий дорожного хозяйства.

В рамках проекта охраны интеллектуальной собственности и патентно-лицензионной деятельности отечественного дорожного хозяйства с целью обеспечения защиты интеллектуальной собственности, созданной в рамках федерального бюджетного финансирования по плану НИОКР Росавтодора, предлагается проведение научного и предварительного патентного анализа перечня технических решений для первоочередного патентования. Предлагается разработать рекомендации по патентованию объектов интеллектуальной собственности в Федеральном дорожном агентстве, подготовить перечень важнейших патентов, которые могли быть предложены для включения в перечень отечественной высокотехнологичной продукции.

В настоящее время членами Поволжского научного центра Академии транспорта Российской Федерации создается база данных по случаям нарушения интеллектуальных прав, фальсификации и контрафакта дорожно-строительных материалов в дорожном хозяйстве.

Первым создаваемым разделом стала база данных по контрафакту и фальсификации геосинтетических материалов, изделий и конструкций (геоимплантатов). В рамках этого проекта заключено соглашение с ООО «Евродор» (Санкт-Петербург) о ежегодном выпуске справочника продукции производителей геосинтетика, которые активно ведут публичную борьбу с контрафактной и фальсифицированной продукцией в области геосинтетика.

Автор выражает признательность за полученные консультации и открытую информацию заслуженному деятелю науки РФ, академику транспорта, д-ру техн. наук, профессору, заведующему кафедрой «Мосты и транспортные сооружения» Саратовского государственного технического университета Игорю Георгиевичу Овчинникову и патентному поверенному Любови Ивановне Деровой.

Ключевые слова: контрафакт, признаки контрафактности, товарный знак, патент.



3 апреля 2010 г. исполняется 80 лет доктору технических наук, профессору кафедры химической технологии композиционных и вяжущих материалов РХТУ им. Д.И. Менделеева Тамаре Васильевне Кузнецовой.

После окончания в 1953 г. Томского политехнического института по специальности «Технология вяжущих материалов» Т.В. Кузнецова навсегда связала свою жизнь с созданием новых видов цемента и совершенствованием технологии существующих вяжущих материалов. Начав трудовую деятельность с должности старшего лаборанта, Тамара Васильевна со свойственной ей настойчивостью и энергией впоследствии возглавила заводскую лабораторию на Стерлитамакском комбинате «Сода» и в 1968 г. успешно защитила кандидатскую диссертацию на тему «Исследование факторов, влияющих на микроструктуру и технические свойства клинкера». С 1969 г. Т.В. Кузнецова работала в институте НИИЦемент, где прошла путь от младшего научного сотрудника до заместителя директора института по научной работе. В 1981 г. защитила докторскую диссертацию на тему «Химия и технология специальных цементов алюминатного и сульфоалюминатного твердения».

В 1982 г. Т.В. Кузнецова возглавила кафедру химической технологии вяжущих материалов МХТИ им. Д.И. Менделеева. В настоящее время она профессор этой

кафедры. Большой производственный опыт позволяет Тамаре Васильевне решать важные вопросы в области химии и технологии цементов, в первую очередь специальных — алюминатных, сульфоалюминатных, тампонажных, жаростойких и др. Сочетание высочайшего профессионализма и организаторских способностей, творческого подхода к делу и умение работать на перспективу снискали ей всеобщее заслуженное уважение. Высокие научные достижения Т.В. Кузнецовой отмечены премией Совета Министров СССР, Государственной премией РСФСР и широко внедрены в промышленности. Она автор более 500 статей, 12 монографий, свыше 180 авторских свидетельств и патентов. Много внимания Тамара Васильевна уделяет индивидуальной работе со студентами и аспирантами. Под ее руководством защищено более 40 кандидатских и докторских диссертаций.

Широко известна организационная деятельность Тамары Васильевны. Она является редактором международного журнала «Техника и технология силикатов», председателем секции минеральных вяжущих Российского химического общества им. Д.И. Менделеева, членом организационных комитетов по подготовке и проведению международных конгрессов по химии и технологии цемента.

Редакция и редакционный совет, коллектив кафедры химической технологии композиционных и вяжущих материалов РХТУ им. Д.И. Менделеева поздравляют Тамару Васильевну Кузнецову с юбилеем и искренне желают ей дальнейших творческих успехов, здоровья, благополучия.

УДК 691.554

Т.В. КУЗНЕЦОВА, д-р техн. наук, РХТУ им. Д.И. Менделеева (Москва)

Производство и применение сульфоалюминатных цементов

Сульфоалюминатные цементы — вяжущие вещества, в процессе гидратации которых образуются гидросульфоалюминаты кальция, играющие важную роль в обеспечении свойств твердеющего цементного камня. Они характеризуются высокой скоростью твердения и обеспечивают компенсацию усадки, расширение и самонапряжение цементного камня в процессе его твердения. Основой указанных цементов является сульфоалюминатный клинкер, фазовый состав которого в отличие от портландцементного клинкера представлен сульфоалюминатами и сульфоферритами кальция.

История создания. При изучении процесса минералообразования в присутствии гипса еще в начале 1950-х гг. Т.А. Рагозиной [1] и П.П. Будниковым [2] было установлено образование сульфоалюмината кальция ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4$). Однако эти работы прошли без особого внимания, и только после того как была расшифрована его структура [3], а в США [4] был получен клинкер, содержащий это соединение, внимание к сульфатсодержащим смесям усилилось. Клинкер, полученный в США, наряду с сульфоалюминатом кальция содержит до 50% CaO и 25% CaSO₄. Цемент из такого клинкера ввиду низкой прочности

самостоятельно не используется, а применяется только в качестве расширяющегося компонента при получении безусадочных и расширяющихся цементов. В Японии также получают расширяющуюся добавку, содержащую сульфоалюминат кальция, ангидрит и до 50% свободной извести.

Целью проведенных нами исследований являлось получение сульфоалюминатного клинкера, цемент из которого обладал бы ценными свойствами, аналогичными глиноземистому (быстрый рост прочности, высокая плотность и стойкость к агрессивным воздействиям различных сред, способность к твердению при пониженных температурах).

С 1970 по 1974 г. совместно с сотрудниками НИИЦемент Л.Л. Астанским, С.В. Безруковой, О.А. Бровцовой, Г.Ф. Куликовой, Д.А. Розман, И.Л. Сиденко при разработке технологии получения сульфоалюминатного клинкера были проведены следующие исследования: оценка потенциальной пригодности сырьевых материалов для получения сульфоалюминатного клинкера; разработка формул для расчета сырьевой смеси и минералогического состава клинкера; влияние природы сырьевых материалов на

процесс синтеза сульфоалюминатного клинкера; температурные параметры получения клинкера и оптимизация процесса помола цемента. Установлено, что в зависимости от исходного сырья можно получать клинкер с содержанием сульфоалюмината кальция 10–70%, соответственно цементам из таких клинкеров характеризовались прочностью при сжатии 10–68 МПа. Для получения цемента М500 необходим клинкер, в котором количество $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4$ должно быть не менее 40%. Клинкер с малым содержанием сульфоалюмината кальция (менее 30%) может быть использован как добавка к портландцементу при производстве расширяющихся цементов. Но следует отметить, что все сульфоалюминатные цементы характеризовались быстрым ростом прочности в ранний период твердения (1–3 сут); дальнейший прирост прочности цементного камня зависит от содержания в клинкере сульфоалюмината кальция. Быстрая гидратация $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4$ с одновременным образованием кристаллических и гелевых гидратных соединений обуславливает формирование прочной структуры в ранние сроки твердения. Оптимальное соотношение в клинкере между сульфоалюминатами, силикатами и алюминатами кальция позволяет получать сверхбыстротвердеющие, высокопрочные, безусадочные, расширяющиеся цементы. В дальнейшем выполненные исследования показали возможность получения на основе сульфоалюминатного клинкера различных видов специальных цементов.

Расширяющиеся цементы. Вопрос монолитности сооружений из сборных железобетонных конструкций приобретает огромное значение, особенно при строительстве подземных сооружений, находящихся под давлением воды и грунтовых вод, где наряду с прочностью требуется высокая водонепроницаемость. Опыт омоноличивания сборных конструкций растворами и бетонами на основе обычного портландцемента показывает, что при этом не достигается необходимой монолитности вследствие усадки цементного камня в процессе схватывания и твердения. В местах соединения с бетонными поверхностями нарушается сцепление из-за трещин, образующихся вследствие усадки. Вода, проникающая в эти трещины, при попеременном замораживании и оттаивании вызывает дальнейшее разрушение омоноличиваемого материала, что приводит к нарушению монолитности всего сооружения.

С целью снижения усадочных деформаций варьируют состав бетона, водоцементное отношение, разновидность заполнителей, температурные и влажностные условия твердения. Однако наиболее эффективным способом решения проблем усадочных деформаций является использование цементов, компенсирующих усадочные деформации цементного камня и бетона. На протяжении многих лет исследования ученых были направлены на поиск ответа, как избежать усадки цементного камня, как обеспечить расширение цементного камня при твердении, которое компенсировало бы усадку, какие силы обуславливают это явление.

Создание расширяющихся и напрягающих цементов как результат поиска снижения отрицательных последствий усадочных деформаций стало возможным благодаря фундаментальным исследованиям физико-хими-

ческих процессов твердения и структурообразования цементного камня И.В. Кравченко, В.В. Михайлова, О.П. Мчедлова-Петросяна и многих других отечественных и зарубежных ученых.

В основе химии расширяющихся цементов лежит реакция образования кристаллов гидросульфоалюмината кальция (эттрингита), гидроксида кальция и магния, увеличивающихся в объеме в процессе структурообразования и твердения цементного камня. Промышленное применение нашли цементы, расширение которых достигается реакцией образования эттрингита. Нашими исследованиями, предпринятыми с целью решения технологических задач, было установлено, что имеется определенная взаимосвязь между расширением цементного камня, его прочностью и самонапряжением. Установлено, что с увеличением линейного расширения цементного камня до определенного момента самонапряжение и прочность увеличиваются. Дальнейшее увеличение расширения вызывает менее интенсивное увеличение самонапряжения, прочность при сжатии снижается и наступает момент, когда прочность кристаллизационной структуры цементного камня не в состоянии сдержать силы расширения, что приводит к разрушению образца. С целью получения качественного цемента с высокими показателями прочности, расширения и самонапряжения нами были установлены технологические факторы, определяющие свойства, которые можно расположить (в порядке убывания степени их влияния) в следующий ряд: количество расширяющегося компонента; количество гипса; тонкость помола; минералогический состав расширяющегося компонента (сульфоалюминатный клинкер, глиноземистый шлак и другие алюминийсодержащие компоненты); минералогический состав портландцементного клинкера.

Большое влияние на свойства цемента оказывает степень измельчения цемента. При этом установлено (совместно с Д.А. Розман), что целесообразно более тонко размалывать портландцементную составляющую, а расширяющийся компонент – до умеренной степени измельчения.

Роль расширяющегося компонента, в частности сульфоалюминатного клинкера, сводится к тому, что образующиеся при его гидратации алюминаты кальция частично расходуются на образование эттрингита, а после его образования избыточная часть сульфоалюмината кальция выступает как самостоятельное вяжущее, обеспечивая высокую прочность цементного камня.

Влияние химико-минералогического состава портландцементного клинкера на свойства расширяющегося напрягающего цемента аналогично его влиянию на свойства портландцемента. Исследованиями, выполненными совместно с А.Г. Косым, установлено, что чем выше содержание C_3S в клинкере, тем более стабильно и выше качество получаемого цемента. При этом его влияние зависит от содержания и состава алюмоферритной фазы в портландцементном клинкере, в расширяющемся компоненте – от количества сульфоалюмината кальция. Эти данные были подтверждены и при выпуске расширяющегося цемента на Подольском цементном заводе, который обеспечил расширяющимся цементом все

Таблица 1

Вид цемента	Сроки схватывания, мин		Прочность при сжатии, МПа, в возрасте		
	начало	конец	2 ч	1 сут	28 сут
Быстротвердеющий	5	2	10,2	14	27
Быстротвердеющий	20	60	5,2	35	62

Таблица 2

Раствор	K _c цементного камня после твердения, мес							
	2	3	4	5	18	24	30	36
1% MgSO ₄	1,2	1,15	1,25	1,16	0,92	0,96	0,8	0,8
5% Na ₂ SO ₄	1,12	1,06	1,18	1,2	1	0,9	0,95	0,95
Морская вода	1,08	0,9	1,05	1	0,95	0,89	0,86	0,84

объекты строительства «Олимпиада-80» [5]. В течение многих лет завод постоянно выпускал и продолжает выпускать расширяющийся цемент для нужд строительства. Цемент используется для строительства различных объектов: для наливных полов, гидроочистных сооружений, для зачеканки тубингов при строительстве тоннелей метро, для устройства покрытий с упрочненным верхним слоем.

Невзрывчатое разрушающее вяжущее (НРВ). Создание этих материалов явилось результатом работ по созданию цементов с большим расширением и самоупрочнением. Совместно с Д.А. Розман в НИИЦемент разработан состав вяжущего, способного при твердении к саморазрушению, что было использовано для разрушения других материалов. При разборке элементов зданий и сооружений на действующих предприятиях применяется традиционный взрывной способ с применением промышленных взрывчатых веществ, который имеет ряд существенных недостатков: отключение попадающих в зону взрыва коммуникаций, остановка действующего производства и т. д. Разработанное вяжущее (НРВ) вместо традиционных взрывчатых веществ обеспечивает безопасное ведение работ без остановки основного оборудования, а также добычу штучного камня ценных пород. Это вяжущее при взаимодействии с водой в замкнутом объеме создает усилие на ограничивающий его материал, превышающее его прочность, и разрушает материал. За рубежом такие вяжущие выпускаются в Японии – тонкомолотый продукт обжига смеси известняка, глины и гипса. По минералогическому составу он содержит значительное количество извести, сульфалюмината кальция и ангидрита.

В США изготавливают клинкер, состав которого также содержит значительное количество извести и ангидрита. Совместный помол клинкера с замедлителем гидратации и добавкой, снижающей водопотребность, обеспечивает получение вяжущего для разрушения хрупких материалов.

Сверхбыстротвердеющие и быстросхватывающиеся цементы используются при аварийных работах дорожных магистралей или взлетных полос, время закрытия которых и связанные с этим нарушения движения должны быть сведены к минимуму; при необходимости остановить течь жидкости, находящейся под напором. В случае ремонта транспортных магистралей необходимо обеспечить удобоукладываемость цементных растворов и бетонов в течение сравнительно длительного времени (около 2 ч) и высокую прочность. Для приостановки

фильтрации жидкостей, находящихся под напором, необходимы цементы с коротким периодом схватывания: начало не позднее 5 мин, а конец схватывания не позднее 15 мин. Прочность цементного камня необязательно должна быть высокой.

Разработка таких цементов началась давно. Длительное время считалось, что портландцементный клинкер состоит из четырех минералов, однако интенсивные исследования твердых растворов с различными элементами привели к выводу, что внедрение элементов в различные клинкерные минералы создает локальные дефекты, изменяет полиморфную модификацию и соответственно физические и гидратационные свойства. Открылся новый путь формирования структуры клинкеров и свойств цементов. Это привело к созданию быстротвердеющего портландцемента (БТЦ), но очень скоро установили, что все известные классические БТЦ быстро затвердевают только в период 1–3 сут, а в более ранний период 3–6 ч они не отличаются от обычного портландцемента. Причем к 28-м сут твердения прочность цемента приблизилась к некоторому пределу (60 МПа). Наличие этого предела обусловлено природой цементного камня, в состав которого входит гидроксид кальция – компонент с прочностью не более 30 МПа. Когда его количество превышает 25% (это возможно при содержании алита в цементе около 65–70%), прочность цементного камня не растет, а в некоторых случаях даже снижается. Начались поиски новых направлений во избежание упомянутых ограничений.

Основное внимание уделялось глиноземистым цементам, которые уже через 3 сут имеют прочность 50–60 МПа (в отличие от портландцемента, при твердении которого такая прочность достигается только к 28-м сут). Однако применение глиноземистых цементов для вышеуказанных целей также ограничивается из-за фазовых превращений при твердении и сопровождается снижением прочности цементного камня. В связи с этим сульфалюминатные цементы явились именно тем материалом, который обеспечивает и быстрое схватывание и высокую прочность в ранние сроки твердения. В табл. 1 приведены свойства быстротвердеющих и быстросхватывающихся цементов на основе сульфалюминатного клинкера.

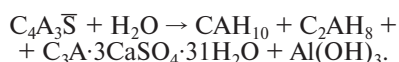
Коррозионно-стойкие цементы. Агрессивное воздействие сульфатных растворов на портландцемент определяется не только химическим взаимодействием агрессивной среды с цементом, но и физическими процессами.

Таблица 3

Среда твердения	Пористость цементного камня, %, в возрасте, мес		
	2	12	36
Вода	6,7	4,7	4,2
1% MgSO ₄	4,8	2,8	3
5% Na ₂ SO ₄	5,2	3	3,2
Морская вода	5,7	3,5	3,7

Даже сульфатостойкий портландцемент, соответствующий по химическому составу требованиям стандарта, не всегда является стойким. Установлено, что происходит выщелачивание извести из цементного камня при хранении образцов как в воде, так и в растворах сульфатов. Это приводит к увеличению пористости цементного камня, что сопровождается снижением прочности цементного камня. Сульфоалюминатные цементы в силу особенностей гидратации обуславливают образование плотного цементного камня. Соответственно при воздействии агрессивных сред прочность цементного камня остается высокой (табл. 2).

Как видно из табл. 2, в течение трех лет хранения в агрессивных средах цемент показывает высокую коррозионную стойкость. Это объясняется следующими обстоятельствами. При исследовании гидратации $C_4A_3\bar{S}$ установлено, что процесс гидратации протекает интенсивно, по скорости гидратации сульфоалюминат кальция опережает скорость взаимодействия CA с водой. Образовавшийся в начальный период гидратации этрингит, гидроалюминаты CAH_{10} и C_2AH_8 , гидроксид алюминия сохраняются в затвердевшем цементном камне в течение длительного времени, перекристаллизации гидратных соединений не происходит, соответственно цементный камень характеризуется плавным нарастанием прочности во времени. Реакция гидратации может быть представлена следующим уравнением:



Наличие в составе продуктов гидратации сульфоалюмината кальция, как и в случае с глиноземистым це-

ментом, и гидроксида алюминия обеспечивает высокую плотность цементного камня (табл. 3).

Соответственно заполнение гелеобразной фазой (гидроксид алюминия) пор цементного камня препятствует проникновению агрессивных сред во внутренние его части, и тем самым замедляется разрушение камня. Таким образом, сульфоалюминатный клинкер обеспечивает получение разнообразных цементов с высокими техническими свойствами.

Ключевые слова: минералообразование, гидратация, пористость, клинкер, плотность.

Список литературы

1. Рагозина Т.А. Взаимодействие сульфата кальция с алюминатами при температуре 1200°C. ЖПХ. 1957. Т. 30. № 11. С. 1682–1688.
2. Будников П.П., Кузнецова И.П. Роль сульфата кальция при получении быстротвердеющего белитоглиноземистого цемента на основе некондиционных бокситов. Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева. 1961. XXXVI, вып. 36. С. 129–132.
3. Halstead P.E. and Moore A.E. The composition and Crystallography of an Anhydrous Calcium Aluminosulfate occurring in Expanding Cements. Journ. App. Chemistry, 1972. V. 12. P. 417.
4. Klein A. and Troxell G.E. Studies of Calcium Sulfoaluminate Admixtures for Expansive Cements. Pros. ASTM. 1958. V. 58. P. 986–1008.
5. Кузнецова Т.В., Жарко В.И., Безрукова С.В. Выпуск сульфоалюминатного клинкера и напрягающего цемента на Подольском цементном заводе. Цемент. 1978. № 1. С. 12–14.

Реклама

**ООО
"ДРСУ-Дон"**
Строительство и ремонт
автомобильных дорог
Производство асфальтобетонных
смесей, битумных эмульсий и бетонов

344092, г. Ростов-на-Дону, ул. Планетная, 4
тел: (863) 274-82-05, факс: (863) 274-82-03

УДК 691.419

И.Н. ШИРИН-ЗАДЕ, канд. техн. наук (iradax@yandex.ru),
Азербайджанский архитектурно-строительный университет (Баку)

Структура глинодоломитовых композиционных материалов

В настоящее время детально изучена гидратация магнезиальных вяжущих, твердеющих при затворении растворами хлорида и сульфата магния [1, 2]. Гидратация в глинокарбонатных системах тоже изучена достаточно. Основным объектом изучения в такой системе является портландцемент, в котором содержание магния ограничивается из-за поздней гидратации, сопровождающейся неравномерным изменением объема в цементном камне. Причиной этих негативных явлений является кристаллизация периклаза при высокой температуре во время обжига клинкера. В таких системах излишнее количество магния нежелательно только при использовании в высокотемпературных технологиях. Так как получаемые глинодоломитовые композиционные материалы обжигаются при сравнительно низкой температуре, представляет интерес изучение процесса гидратации в системе $\text{MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. При обжиге глинодоломито-

вых композиций часть CaCO_3 разлагается, и в структурообразовании композиции следует учитывать образовавшийся CaO . Сравнительно низкая энергия связи в CaO обуславливает вяжущие свойства системы.

Экспериментальные исследования по получению композиционных материалов из глинодоломитовых смесей проводились с использованием глины Апшеронского месторождения (Республика Азербайджан) и доломита Гобустанского месторождения (Республика Азербайджан).

Результаты химического анализа использованного сырья приведены в таблице. В составах апшеронских глин содержится некоторое количество железо- и карбонатсодержащих примесей. Число пластичности апшеронской глины 20–25. Гранулометрический состав глины, мас. %: 3–2 мм – 20; 2–1 мм – 25; 1–0,5 мм – 16; менее 0,5 мм – 39.

Для определения свойств глинодоломитовых композиционных материалов изготавливали образцы-цилиндры размером 16×20 мм путем полусухого прессования под давлением 25–30 МПа. Количество воды для полусухого прессования составляло 10–13% от массы сухой смеси. Готовые образцы подвергали сушке при $90\text{--}105^\circ\text{C}$ в течение 3–5 ч, после чего образцы обжигали при 750°C . После обжига образцы в течение 1 ч выдерживали в воде, а затем в эксикаторе над водой 7 и 30 дней. Для испытания полученных материалов на долговечность их выдерживали над водой 2 года.

Для изучения фазообразования в гидратированном композиционном материале использовали рентгенофазовый и дифференциально-термический анализ образцов с соотношением глина:доломит – 50:50 На рис. 1 показано, что у образцов до гидравлической обработки самыми интенсивными являются дифракционные отражения, характеризующие наличие кварца (d_{α} , Å=3,34; 2,45; 1,81; 1,37); также наблюдаются дифракционные отражения, соответствующие $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (d_{α} , Å=4,24; 2,70; 1,9) и мервиниту $3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ (d_{α} , Å=2,66; 1,90; 1,87; 1,54). Присутствуют отражения незначительной интенсивности, соответствующие CaO (d_{α} , Å=2,39; 1,69), а d_{α} , Å=3,03 соответствует главному отражению CaCO_3 .

У образцов, подвергавшихся в течение 30 сут гидравлическому твердению, обнаруживаются интенсивные дифракционные отражения, относящиеся к $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (d_{α} , Å=2,62; 1,93; 1,79). На рис. 1, в обнаруживается отражение d_{α} , Å=2,92, относящееся к гидросиликатам кальция. С увеличением времени гидравлического твердения интенсивность отражений, относящихся к $\text{Ca}(\text{OH})_2$, уменьшается и усиливается интенсивность линий, характеризующих наличие гидросиликата кальция (рис. 1, г, д). Появление дифракционного отражения, соответствующего наличию гидроксида кальция (рис. 1, в), свидетельствует о том, что при 750°C часть CaCO_3 разлагается и образовавшийся CaO играет значительную роль в упрочнении и формировании структуры глинодоломитовых композиционных материалов.

На микрофотографиях, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа (рис. 2), показано наличие $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в продуктах гидратации образцов после выдержки над водой в течение 30 сут. Гексаго-

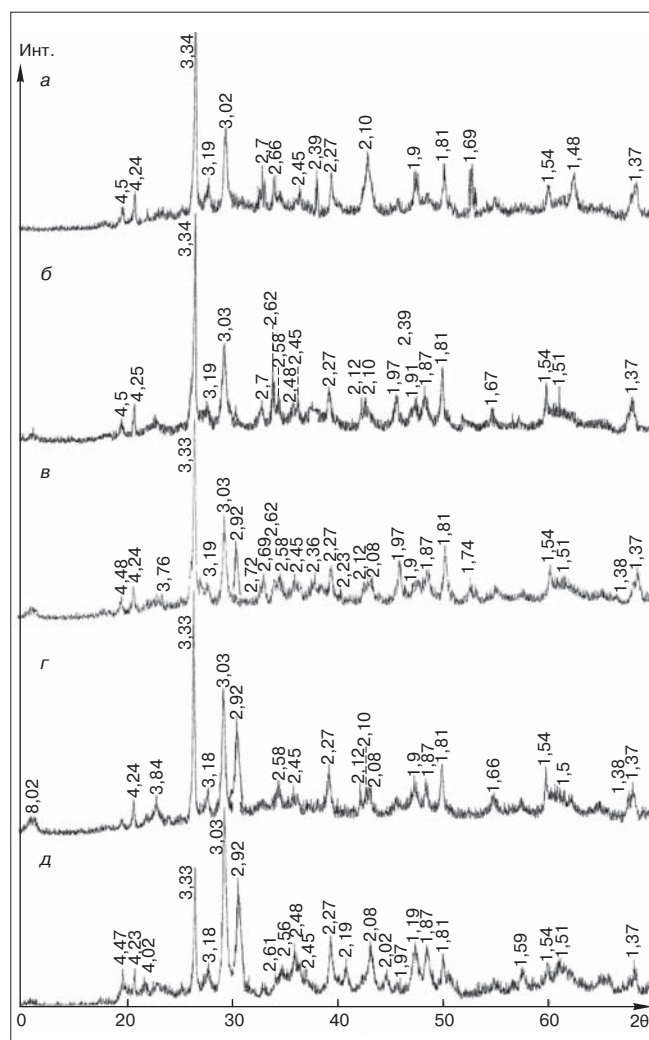


Рис. 1. Рентгенограммы глинодоломитовых композиционных материалов: а – после обжига при 750°C ; б – после твердения в теч. 7 сут; в – то же, после 30 сут; г – то же, после 4 мес; д – то же, после 2 лет

Исходные материалы	Массовая доля компонентов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O ₃ + K ₂ O	SO ₃	ППП
Гобустанский доломит	2,2	0,63	0,48	27,6	18,7	–	0,95	49,2
Апшеронская глина	56,82	14,15	3,5	7,32	1,9	5,5	1,25	9,56

нальные пластинки кристаллов гидроксида кальция в некоторых областях поверхности скола исследуемых образцов видны очень четко.

В системах, содержащих малое количество CaO или Ca(OH)₂, в присутствии SiO₂ может образоваться фошагит [Ca₆Si₆O₁₇(OH)₂·2Ca(OH)₂]. Известный азербайджанский ученый Х.С. Мамедов [3] доказал, что в процессе гидратации Ca(OH)₂ могут образовываться смешанные структуры со всеми минералами групп волластонита. Гидроксид кальция в присутствии катионов меньших размеров (Mg, Al) образует с радикалами Si₂O₅ соединения, обладающие вяжущими свойствами. Такие силикаты кальция имеют слоистые структуры и становятся стабильными только в присутствии воды. В [3] показано, что в таких гидросиликатах вода входит в состав силикатов кальция как структурная единица и поэтому выход ее из структуры требует больших затрат энергии. В [4] также показано, что фошагит может образовываться в автоклаве или в обычных условиях в течение 30 сут. Это позволило предположить, что дифракционные отражения (*d*_α, Å=2,92; 2,48), появляющиеся в более поздние сроки твердения, относятся к фошагиту.

С целью более точной идентификации гидратных новообразований в составе глинодоломитовых композиционных материалов проведены также ИК-спектроскопические исследования. Полосы поглощения OH-группы появляются при 3644–3479 и 3449 см⁻¹. Полосы поглощения, относящиеся к гидросиликатам кальция, перемещаются с 976 к 1000 и 1020 см⁻¹. Смещение полос поглощения на ИК-спектрах свидетельствует о процессе поликонденсации SiO₄-тетраэдров. При поликонденсации SiO₄-тетраэдров происходит снижение основности гидросиликатов кальция, что обуславливает переход островных силикатов в цепочные и ленточные.

С увеличением времени твердения образцов поглощения при 976 см⁻¹ смещается в сторону больших волновых чисел – к 1016 см⁻¹. Смещение полос поглощения у образцов, твердевших в течение 2 лет, также может быть связано со снижением основности гидросиликатов.

Это подтверждается механическими испытаниями образцов. Прочность образцов при сжатии сразу после

обжига 25 МПа; в возрасте 30 сут – 44 МПа; после 2 лет прочность при сжатии 46 МПа; после 4–6 лет – 47 МПа. Прочность полученного композиционного материала через 30 сут твердения увеличивается в 1,5–1,7 раза.

При обжиге глинодоломитовых композиционных смесей можно получать материал, при последующем твердении которого в водных условиях формируются гидратные фазы, характерные для вяжущих, содержащих силикаты кальция. Полученные глинодоломитовые композиционные материалы могут быть применены в производстве лицевого кирпича, а также в качестве вяжущего для строительных растворов.

Ключевые слова: глинодоломитовая композиция, гидравлические свойства, гидратация, гидросиликат.

Список литературы

1. Пащенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. Вяжущие материалы. Киев: Вища школа, 1985. 439 с.
2. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. М.: Высшая школа, 1989. 384 с.
3. Мамедов Х.С. Силикаты и гидросиликаты кальция. Баку: Элм. 1960. 125 с.
4. Горшков В.С., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 334 с.

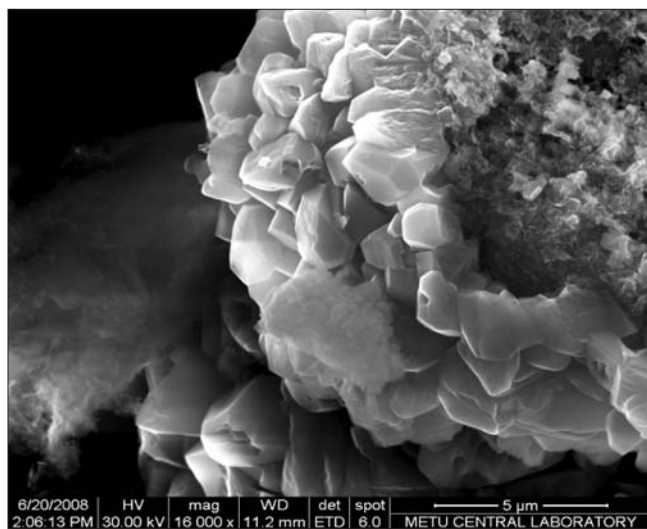


Рис. 2. Микроструктура глинодоломитовых композиций, выдержанных во влажных условиях в течение 30 сут при 16000-кратном увеличении

Российская академия наук
 Институт экологических проблем севера
 Архангельского научного центра УрО РАН
 Институт химии редких элементов и минерального сырья
 им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН
 Институт геологии Карельского научного центра РАН
 Институт геологии Коми научного центра УрО РАН
 Архангельский государственный технический университет
 Правительство Архангельской области
 Российский фонд фундаментальных исследований

**Приглашают принять участие в
 IV международной конференции
 6–10 июня 2010 г. Архангельск**

ПРОБЛЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО
 ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО И
 ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ БАРЕНЦЕВА РЕГИОНА
 В ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И
 ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Оргкомитет
Институт экологических проблем Севера УрО РАН
 163000 г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23
 Тел./факс: (8182) 28-76-36
 e-mail: arctic_ecology@iepn.ru
 www.iepn.ru

В.С. ИЗОТОВ, д-р техн. наук, Р.А. ИБРАГИМОВ, инженер (rusmag007@yandex.ru), Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

Влияние добавок – ускорителей твердения на свойства тяжелого бетона

В монолитном строительстве при заливке бетонных и железобетонных конструкций в ряде случаев возникает необходимость ускорить рост прочности уложенного бетона с целью сокращения сроков его выдержки перед распалубкой с последующим ускорением строительного процесса. Для этого эффективно использованы электролиты – добавки ускорителей твердения бетона.

В настоящее время известно большое количество добавок, которые могут применяться в качестве ускорителей твердения. К ним относят хлорид кальция, сульфат натрия, нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК) и др. При выборе ускорителей твердения необходимо учитывать побочное действие добавок, оказывающих влияние на арматуру, закладные детали и бетон [1]. Например, хлориды способствуют коррозии стальной арматуры, поэтому их количество в железобетоне ограничивается 0,5%; не допускают его применения в конструкциях с тонкой и предварительно напряженной арматурой (Пособие к СНиП 3.09.01–85 Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий).

Сульфат натрия может вызвать появление высолов на поверхности конструкций.

В связи с этим перспективным является применение в технологии бетона бесхлоридных ускорителей твердения [3].

Среди большого числа неорганических добавок наиболее широкое применение для цементных бетонов находят электролиты. По данным [4], действие электролитов на твердение цементов состоит либо в их влиянии на растворимость новообразований, либо в их непосредственном участии в процессе гидратации с образованием высоководных комплексных гидратов типа гидросульфохлоралюминатов. Возникновение таких соединений является причиной интенсивного диспергирующего действия электролитов на вяжущее, что вызывает ускорение твердения и образование плотных структур гидрофильного геля, придающих затвердевшему цементному камню и раствору высокую водонепроницаемость. Механизм действия добавок электролитов состоит либо в изменении растворимости вяжущего и продуктов его гидратации вследствие изменения ионной силы раствора, вызванной присутствием электролитов, либо в химическом взаимодействии электролитов с вяжущим с образованием труднорастворимых или малодиссоциирующих соединений. Характерной особенностью большинства электролитов является их активное воздействие на процессы структурообразова-

Таблица 1

Цемент	Содержание главных оксидов, %				Содержание основных минералов, %				Содержание добавок, %	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Опока	SO ₃
Вольский завод	22,55	4,75	4,7	65,04	57	21	4,6	14	8	2,2
Ульяновский завод	22,1	5	9	64	54	20	11	12	9,2	2,8

Таблица 2

№	Количество вводимой добавки, %					Нормальная густота цементного теста, %	Сроки схватывания, мин	
	Мобет-1	Мобет-3	СН	СА	Rapid		начало	конец
1	–	–	–	–	–	0,26/0,27	155/135	295/285
2	2	–	–	–	–	0,26/0,27	50/41	92/84
3	–	2	–	–	–	0,26/0,27	60/54	95/87
4	–	–	2	–	–	0,26/0,27	87/76	155/140
5	–	–	–	2	–	0,26/0,27	46/35	68/54
6	–	–	–	–	2	0,26/0,27	51/45	76/70

Примечание. Перед чертой приведены показатели для портландцемента вольского завода; за чертой – ульяновского завода.

Таблица 3

№	Количество вводимой добавки, %					Прочность бетона при сжатии (МПа) в возрасте, сут			
	Мобет-1	Мобет-3	СН	СА	Rapid	1	3	7	28
1	–	–	–	–	–	7,52/100%	18,05/100%	29,38/100%	36,8/100%
2	1,5	–	–	–	–	8,2/109%	19,46/108%	29,97/102%	36,8/100%
3	2	–	–	–	–	8,35/111%	19,67/109%	29,97/102%	36,8/100%
4	–	1,5	–	–	–	10,15/135%	20,57/114%	33,2/113%	40,11/109%
5	–	2	–	–	–	10,38/138%	21,48/119%	34,49/114%	40,48/110%
6	–	–	1,5	–	–	10,07/134%	21,84/121%	33,78/115%	37,53/102%
7	–	–	2	–	–	10,53/140%	24,37/135%	37,02/126%	37,53/102%
8	–	–	–	1,5	–	10,15/135%	19,31/107%	30,55/104%	37,17/101%
9	–	–	–	2	–	10,83/144%	19,46/108%	30,55/104%	37,17/101%
10	–	–	–	–	1,5	9,92/132%	22,38/124%	33,78/115%	41,22/112%
11	–	–	–	–	2	10,68/142%	24,91/138%	38,19/130%	41,22/112%

Примечание. Перед чертой приведено среднее значение показателя; за чертой – относительное значение показателя в % от контрольного.

ния цементного камня, заключающегося в уплотнении структуры за счет увеличения количества продуктов гидратации, особенно низкоосновных гидросиликатов кальция и повышения прочности кристаллического сростка [5].

В соответствии с ГОСТ 24211–91 (2003) «Добавки для бетонов. Общие технические требования» добавки – ускорители твердения относятся ко второй группе добавок, применяемых для модифицирования свойств бетонов и растворов в зависимости от основного эффекта воздействия.

В последнее время на рынке добавок для бетонов появились новые ускорители твердения, такие как Мобет-1, Мобет марки 3 эконом, Sika® Rapid 2.

В работе проведены испытания указанных добавок по методике ГОСТ 30459–96 «Добавки для бетонов. Методы определения эффективности». Их эффективность как ускорителей твердения сравнивалась с добавками сульфата алюминия и сульфата натрия. Изучалось влияние добавок на нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста, водопотребность бетонной смеси и прочностные показатели тяжелого бетона.

Добавки Мобет-1 и Мобет марки 3 эконом (далее Мобет-3) произведены на ООО «Бийскхимстройматериалы» по ТУ 2600-003-54575429–2008.

Добавка Мобет-1 – порошок от белого до серого цвета. Насыпная плотность колеблется от 650 до 700 кг/м³. Добавка Мобет-3 представляет собой нитратный комплекс, жидкость от бесцветного до коричневого цвета. Плотность 1,412 кг/дм³.

Оптимальное содержание по рекомендациям производителя составляет для добавки Мобет-1 – 1,5–2%, для добавки Мобет-3 – 2%.

Добавка Sika® Rapid 2 (далее Rapid) представляет собой желто-зеленоватую жидкость, плотность 1,4 кг/дм³, рН 8+0,5; отвечает требованиям норм PN-EN 934-2. Основа, по данным производителя, – смесь органических и неорганических компонентов. Оптимальное содержание по рекомендациям производителя составляет 1–2% в зависимости от ожидаемого эффекта.

Сульфат натрия (СН) применялся в виде безводной соли – кристаллов белого цвета с желтым оттенком по ГОСТ 6318–68*. Оптимальная дозировка 1–2% от массы цемента.

Сульфат алюминия (СА) применялся в виде гидрата Al₂(SO₄)₃ · 18H₂O (ГОСТ 12966–85).

Для исследования влияния добавок на свойства цементного теста и физико-механические показатели тяжелого бетона использован портландцемент ПЦ400-Д20 Вольского завода и портландцемент ПЦ400-Д20 Ульяновского завода, состав которых приведен в табл. 1.

Результаты исследований влияния добавок на нормальную густоту цементного теста и сроки схватывания приведены в табл. 2.

Из полученных данных (табл. 2) видно, что все добавки влияют на сроки схватывания цементного теста, но не оказывают влияния на нормальную густоту.

Для портландцемента Вольского завода начало схватывания с добавками уменьшается на 68–109 мин, конец схватывания – на 140–227 мин по сравнению с контрольным составом. По эффективности влияния на начало схватывания добавки располагаются в следующей последовательности: СА, Мобет-1, Rapid, Мобет-3, СН. По эффективности влияния на конец схватывания добавки располагаются в следующей последовательности: СА, Rapid, Мобет-1, Мобет-3, СН.

Для портландцемента Ульяновского завода начало схватывания с добавками уменьшается на 59–100 мин, конец схватывания – на 145–231 мин, по сравнению с контрольным составом. По эффективности влияния на начало схватывания добавки располагаются в следующей последовательности: СА, Мобет-1, Rapid, Мобет-3, СН. По эффективности влияния на конец схватывания добавки располагаются аналогично цементу Вольского завода.

Изучено влияние исследуемых добавок на физико-механические свойства тяжелого бетона нормального твердения в возрасте 1, 3, 7 и 28 сут. Для эксперимента определен тяжелый бетон производственного состава (Ц=450 кг/м³, П=595 кг/м³, Ш=1140 кг/м³) с осадкой конуса 8–9 см. Заполнителями служили обогащенный песок Камского месторождения с модулем крупности 2,7, щебень из гравия Камского месторождения фракции 5–20 мм.

Из бетонных смесей изготавливались образцы-кубы с размерами 10×10×10 см. Через 1, 3, 7, 28 сут нормального твердения образцы подвергались испытаниям по ГОСТ 18105–86 «Бетоны. Правила контроля прочности». Результаты испытаний на портландцементе Вольского завода приведены в табл. 3.

Анализ эффективности проводился в соответствии с методикой ГОСТ 30459–96 «Добавки для бетонов. Ме-

Таблица 4

№	Количество вводимой добавки, %					Прочность бетона при сжатии (МПа) в возрасте, сут			
	Мобет-1	Мобет-3	СН	СА	Rapid	1	3	7	28
1	–	–	–	–	–	6,65/100	18,5/100	24,7/100	33,45/100
2	1,5	–	–	–	–	7,51/113	20,16/109	25,68/104	33,45/100
3	2	–	–	–	–	7,64/115	20,35/110	25,68/104	33,45/100
4	–	1,5	–	–	–	8,78/132	20,72/112	27,91/113	35,8/107
5	–	2	–	–	–	8,98/135	21,83/118	28,16/114	36,8/110
6	–	–	1,5	–	–	9,17/134	23,12/125	28,89/117	34,12/102
7	–	–	2	–	–	9,64/145	25,34/137	31,37/127	34,12/102
8	–	–	–	1,5	–	9,24/139	20,35/110	25,93/105	33,78/101
9	–	–	–	2	–	9,77/147	20,53/111	26,18/106	33,78/101
10	–	–	–	–	1,5	8,71/131	22,57/122	28,16/114	37,8/113
11	–	–	–	–	2	9,31/140	25,16/136	30,87/125	38,13/114

Примечание. Перед чертой приведено среднее значение показателя; за чертой – относительное значение показателя в % от контрольного.

тоды определения эффективности», в котором для добавок – ускорителей твердения бетона по требованиям надежности необходимо повышение прочности бетона на 20% и более в возрасте 1 сут нормального твердения. Как следует из данных табл. 3, такому условию удовлетворяют добавки Rapid, Мобет-3, СА, СН и не удовлетворяет добавка Мобет-1.

Наиболее эффективным ускорителем в первые сутки твердения является СА. При его применении повышение прочности бетона в первые сутки твердения составляет 44%. Однако в последующие сутки твердения эффективность СА резко убывает, и на 28-е сут прочность бетона практически не отличается от контрольного.

Добавка Rapid является наиболее эффективным ускорителем в первые 7 сут твердения бетона. В этом случае прочность бетона увеличивается по сравнению с контрольным на 42%, 38% и 30% соответственно через 1, 3 и 7 сут нормального твердения.

Добавка СН через первые сутки твердения повышает прочность бетона на 40%. На 3, 7 и 28-е сут прирост прочности составляет соответственно 35%, 26% и 2% по сравнению с составом без добавки.

Добавка Мобет-3 через сутки твердения повышает прочность бетона на 38%. На 3, 7 и 28-е сут прирост прочности составляет соответственно 19%, 14% и 10%.

Результаты испытаний бетона на сжатие на портландцементе Ульяновского завода приведены в табл. 4.

Как видно из данных, приведенных в табл. 4, наиболее эффективным ускорителем в первые сутки твердения является СА. При его применении повышение прочности бетона в первые сутки твердения составляет 47%. Однако в последующие сроки твердения эффективность СА резко убывает, и на 28-е сут прочность бетона практически не отличается от контрольного.

Добавка СН является наиболее эффективным ускорителем в первые 7 сут твердения бетона. В этом случае прочность бетона увеличивается по сравнению с контрольным на 45, 37 и 27% соответственно через 1, 3 и 7 сут нормального твердения.

Добавка Rapid через сутки твердения повышает прочность бетона на 40%. На 3, 7 и 28-е сут прирост прочности составляет соответственно 36, 25 и 14% по сравнению с составом без добавки.

Добавка Мобет-3 через первые сутки твердения повышает прочность бетона на 35%. На 3, 7 и 28-е сут прирост прочности составляет соответственно 18%, 14% и 10%.

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Все исследуемые новые добавки, кроме Мобет-1, могут быть рекомендованы для увеличения ранней прочности бетона, или для повышения прочности при сжатии бетона после ТВО, или для получения равнопрочных бетонов с уменьшенным расходом цемента.

2. Добавка Мобет-1 может быть рекомендована в качестве ускорителя схватывания и твердения ремонтных составов.

3. Исследуемые новые добавки не приводят к появлению высолов на поверхности конструкций и эффективно ускоряют набор прочности бетона во все сроки твердения, что дает преимущество при их использовании по сравнению с СА и СН.

4. Эффективность твердения бетонов как на вольском, так и на ульяновском портландцементе, отличающихся содержанием трехкислотного алюмината, различно. В первые сутки твердения наиболее эффективен СА; на 3 и 7-е сут – Rapid и СН; на 28-е сут эффективен Rapid и Мобет-3 на вольском портландцементе, и только Rapid на ульяновском портландцементе.

Ключевые слова: добавки, ускорители, тяжелый бетон.

Список литературы

1. *Баженев Ю.М.* Технология бетона. М.: АСВ, 2000 г. 500 с.
2. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01–85).
3. *Касторных Л.И.* Добавки в бетоны и строительные растворы. Ростов на Дону: Феникс, 2007. 221 с.
4. *Ребиндер П.А., Сегалова Е.Е., Алинина Е.А., Андреева Е.Н.* Физико-механические основы гидратационного твердения вяжущих веществ. Шестой международный конгресс по химии цемента. М.: Стройиздат, 1976. Т. 2. Кн. I.
5. *Рашинов В.Б., Розенберг Т.И.* Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1989. 188 с.

Г.В. НЕСВЕТАЕВ, д-р техн. наук, Ростовский государственный строительный университет;
А.Н. ДАВИДЮК, канд. техн. наук, ген. директор ОАО «КТБ ЖБ» (Москва)

Гиперпластификаторы «Melflux» для сухих строительных смесей и бетонов

Высокоэффективные разжижители марки Melflux производства BASF Construction Polymers достаточно хорошо известны производителям сухих строительных смесей (ССС). В настоящей работе представлены результаты оценки эффективности относительно новой добавки Melflux 5581. Испытания проведены на цементах «Вольский цемент», «Мальцовский цемент», «Новоросцемент» (завод «Пролетарий»). Сравнение произведено с уже известными гиперпластификаторами (ГП) для СССР серии Melflux 2641 и 2651, а также Glenium 51, Glenium 30, Structuro 530, хорошо известными производителям высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей.

На рис. 1 представлена зависимость предельного напряжения сдвига цементного теста, характеризующего текучесть смесей, от вида цемента и дозы добавки. ГП Melflux 5581 обеспечивает возможность получения самоуплотняющихся бетонов в зависимости от вида цемента, при дозировке 0,05–0,2% и превосходит по эффективности ГП Melflux 2641 и 2651 до 2 раз. При сравнении с ГП Glenium 51 необходимо учитывать, что ГП Melflux – сухое вещество, а Glenium 51 – жидкость 35% концентрации. В связи с этим на рис. 1 представлена дозировка Glenium 51 в пересчете на сухое вещество. Эффективность ГП Melflux очевидна.

В табл. 1 представлены данные о влиянии ГП на полную пористость и степень гидратации цемента. ГП Melflux, как и Glenium, не оказывают негативного влияния на степень гидратации цемента и могут снижать величину полной пористости за счет более полной гидратации на момент измерения пористости.

Положительное влияние ГП Melflux на процессы гидратации и формирование пористости в результате благоприятно отражается и на прочности цементного камня (табл. 2). Соотношение предела прочности при изгибе и сжатии при использовании ГП Melflux также

Таблица 1

Суперпластификатор	Полная пористость цементного камня, % (расчетная степень гидратации цемента)	
	М*	В*
Нет	26,3 (0,55)	23,4 (0,61)
Glenium 51	26,6 (0,545)	23,1 (0,62)
Melflux 2641	21,55 (0,65)	22,51 (0,63)
Melflux 2651	25,22 (0,57)	22,69 (0,63)
Melflux 5581	25,24 (0,57)	21,05 (0,66)

*М, В – соответственно мальцовский и вольский цементы.

Таблица 2

Цемент	Предел прочности при сжатии, МПа					
	нет	GI 51	GI 30	2641	2651	5581
Вольский	84,8 (1)	88,4 (1,04)	77,8 (0,92)	85,7 (1,01)	83,5 (0,97)	85,5 (1,01)
Мальцовский	68,1 (1)	71,2 (1,05)	61,5 (0,9)	76,3 (1,12)	64,6 (0,95)	72,1 (1,06)

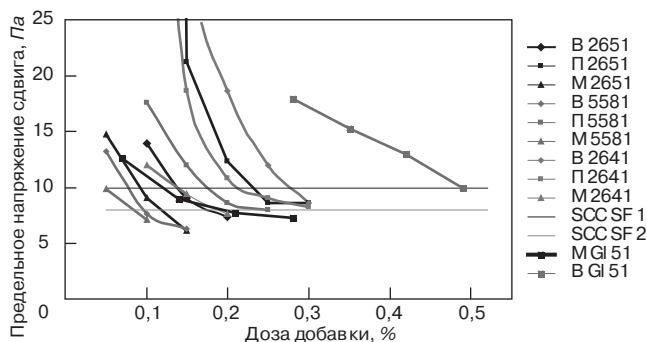


Рис. 1. Зависимость предельного напряжения сдвига цементного теста от вида и дозировки ГП: В, П, М – цементы: вольский, «Пролетарий», мальцовский; 2641; 2651; 5581 – ГП Melflux; M GI 51 – мальцовский цемент с ГП Glenium 51 (доза добавки пересчитана на сухое вещество); SCC F1; SCC F2 – марки самоуплотняющихся бетонных смесей по текучести

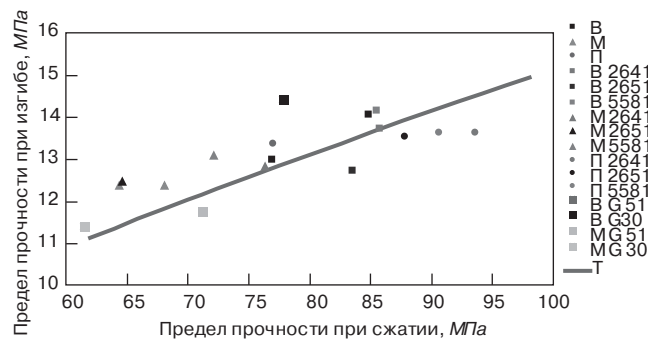


Рис. 2. Соотношение между пределом прочности при изгибе и сжатии: В, М, П – соответственно цементы: вольский, мальцовский, «Пролетарий»; Т – среднестатистическое значение для мелкозернистых бетонов при трехточечном изгибе; 2641; 2651; 5581 – ГП Melflux; GI 51, GI 30 – ГП Glenium

Таблица 3

Цемент		Усадка цементного камня с ГП					
		Нет	Gl 30	Gl 51	2641	2651	5581
Вольский	$\epsilon_{SH}, \text{ мм/м}^*$	$\frac{1,96}{100}$	$\frac{2,4}{122}$	$\frac{2,4}{122}$	$\frac{2,29}{117}$	$\frac{1,91}{97}$	$\frac{1,99}{101}$
	ϵ_{SH}/W^*	$\frac{0,467}{100}$	$\frac{0,444}{95}$	$\frac{0,49}{105}$	$\frac{0,79}{169}$	$\frac{0,579}{124}$	$\frac{0,663}{142}$
Мальцовский	$\epsilon_{SH}, \text{ мм/м}^*$	$\frac{2,25}{100}$	$\frac{2,2}{98}$	$\frac{2,7}{120}$	$\frac{1,92}{85}$	$\frac{2,17}{96}$	$\frac{2,1}{93}$
	ϵ_{SH}/W^*	$\frac{0,351}{100}$	$\frac{0,407}{116}$	$\frac{0,454}{129}$	$\frac{0,398}{113}$	$\frac{0,5}{142}$	$\frac{0,467}{133}$

Примечание: * – над чертой – мм/м, под чертой – % к бездобавочному.

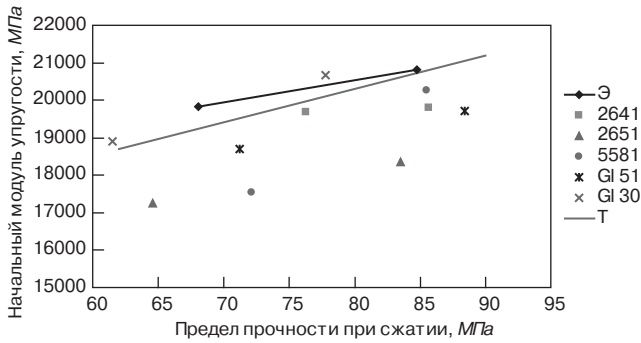


Рис. 3. Зависимость модуля упругости цементного камня (вольский и мальцовский) от предела прочности при сжатии: 2641; 2651; 5581 – ГП Melflux; Gl 51, Gl 30 – ГП Glenium

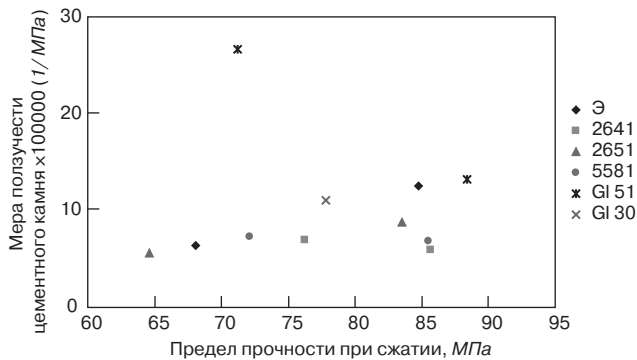


Рис. 4. Зависимость меры ползучести цементного камня от вида ГП: 2641; 2651; 5581 – ГП Melflux; Gl 51, Gl 30 – ГП Glenium

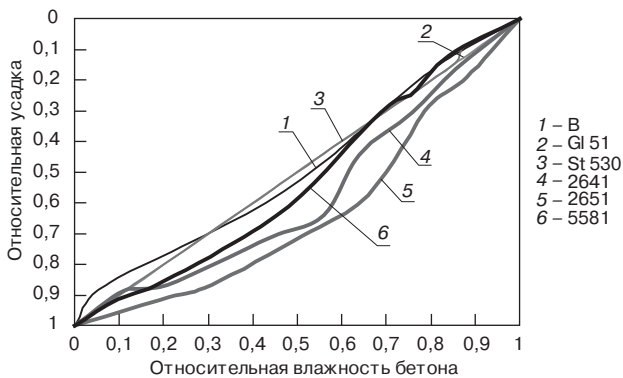


Рис. 5. Зависимость усадки цементного камня от изменения его влажности: 2641; 2651; 5581 – ГП Melflux; Gl 51 – ГП Glenium; St 530 – ГП Structuro; В – вольский цемент

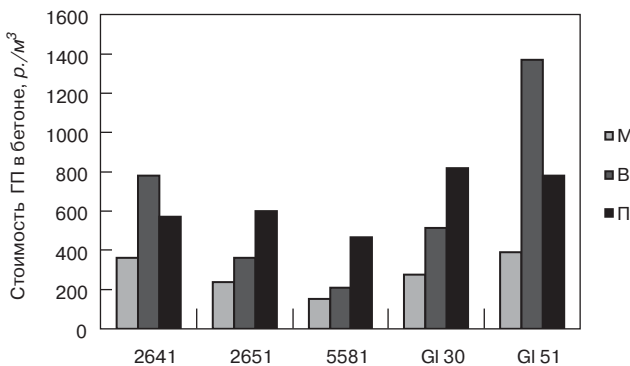


Рис. 6. Повышение стоимости самоуплотняющегося бетона за счет ГП: М, В, П – цементы: мальцовский, вольский, «Пролетарий»

не вносит существенных коррективов в среднестатистические значения (рис. 2).

Как следует из представленных на рис. 3 данных, ГП Melflux несколько понижают модуль упругости цементного камня. Этот факт играет положительную роль для легкоразравниваемых стяжек и самонивелирующихся полов, получаемых из ССС. Что касается бетонов, то снижение модуля упругости цементного камня до 15 % обеспечивает понижение модуля упругости бетона до 8 % [1]. Бетоны из самоуплотняющихся смесей, как известно, обладают несколько пониженным модулем упругости, что учитывается в нормативных документах [1].

ГП Melflux не повышают меру ползучести цементного камня в сравнении с эталоном (рис. 4). Этот факт очень важен для бетонов, поскольку при применении ГП не будет возрастать ползучесть бетона. Однако для самоуплотняющихся стяжек и самонивелирующихся полов было бы желательно повышение ползучести как механизма повышения усадочной трещиностойкости.

ГП Melflux, как и ГП Glenium, не повышают существенно усадку при высыхании цементного камня (табл. 3), что весьма выгодно отличает их от некоторых аналогов, но повышают величину деформаций усадки на единицу изменения влажности цементного камня (табл. 3, рис. 5), что характерно для ГП [2].

ГП влияют на формирование контракционной пористости цементного камня, которая, как известно, выполняет функцию резервной при циклическом замораживании - оттаивании водонасыщенного бетона. Некоторое снижение контракционной пористости можно компенсировать в случае необходимости при проектировании состава морозостойкого бетона регулируемым воздухововлечением [2].

Таким образом, новый ГП Melflux 5581 является весьма эффективным разжижителем, который может быть использован не только при производстве ССС, но и для получения самоуплотняющихся бетонов. В зависимости от индивидуальной сочетаемости ГП и цемента удорожание бетонной смеси при применении ГП Melflux 5581 может быть незначительным (рис. 6).

Ключевые слова: гиперпластификатор, самоуплотняющиеся бетоны, Melflux.

Список литературы

1. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны: модуль упругости и мера ползучести // Строит. материалы. 2009. № 6. С. 68–71.
2. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Влияние некоторых гиперпластификаторов на пористость, влажностные деформации и морозостойкость цементного камня // Строит. материалы. 2010. № 1. С. 44–46.

С.В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН, А.М. ИБРАГИМОВ, д-р техн. наук, А.С. РЕДЬКИНА, инженер (asredkina@mail.ru), С.А. НЕСТЕРОВ, инженер, Ивановский государственный архитектурно-строительный университет

Контроль тепловых процессов, происходящих в теле монолитной железобетонной конструкции при зимнем бетонировании

Бетон и железобетон являются одними из основных материалов современного строительства. Способность бетона твердеть и увеличивать свою прочность с течением времени как на воздухе, так и под водой, возможность возведений зданий и сооружений различных архитектурных форм, а также надежность и долговечность все больше обуславливают широкое использование бетона и железобетона в промышленном и гражданском строительстве.

В последние годы наметилась тенденция увеличения строительства домов из монолитного бетона и железобетона. По данным Госкомстата РФ за 2007 г., основным конструктивным решением жилых зданий-новостроек является монолитно-каркасная конструкция (около 77%). Панельных жилых зданий-новостроек значительно меньше – около 18%. Кирпичных домов совсем немного – около 5% [1]. Причем работы по возведению зданий ведутся круглогодично.

Предметом исследований, проводящихся в ИГАСУ, является разработка экономически целесообразных и простых в инженерном исполнении технологий зимнего бетонирования. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- изучить вопросы твердения бетона в монолитной конструкции в условиях строительной площадки в зимний период года;
 - разработать математические модели распространения тепла в теле палубы при ее обогреве термоактивными опалубками;
 - изучить вопрос влияния теплового эффекта гидратации цемента на процесс твердения бетона в монолитной палубе;
 - разработать инженерный метод расчета для проектирования монолитных палуб в условиях зимнего бетонирования;
 - предложить изменение технологии зимнего бетонирования с точки зрения рационального выбора режимов термообогрева бетона;
 - разработать методику проведения эксперимента и поставить его в реальных условиях строительной площадки;
 - рассчитать экономический эффект предлагаемых разработок и внедрить их в производство.
- Эта статья продолжает цикл публикаций, посвященных вопросам зимнего бетонирования [2].

При монолитном бетонировании, особенно в зимний период года, для получения железобетонной конструкции с заданными свойствами необходим производственный контроль непосредственно на строительной площадке, который включает входной, операционный и приемно-сдаточный.

В рамках научных исследований в условиях строительной площадки был поставлен натурный эксперимент. Бетонировался монолитный сплошной фундамент под здание в 16 этажей с размерами в плане 32730×16130 мм. Толщина фундаментной плиты сос-

тавляла 1100 мм. Весь объем бетона укладывался одновременно 12 декабря 2009 г. Товарный бетон на строительную площадку поставлялся непрерывно с двух БСУ, один из которых находился на расстоянии 15 км, другой – 35 км. Для учета внутреннего разогрева бетона за счет гидратации цемента к арматурному каркасу были приварены трубки различной длины с шагом по высоте 100 мм. Трубки компоновались в кусты, один из которых располагался в центре фундаментной плиты, другой – в углу фундамента, а третий – по диагонали между ними (рис. 1). Трубки были приварены к каркасу с таким учетом, чтобы они выступали минимум на 50 мм и над открытой поверхностью. Такое расположение кустов позволяет отследить температуру бетонной смеси по толщине плиты и по площади. Во избежание охлаждения воздуха внутри трубки на верхний конец трубки надевались пенопластовые кубики. Температурные замеры производились двумя пирометрами. Температура наружного воздуха фиксировалась спиртовым термометром. В теле фундаментной плиты вдоль верхних стержней каркаса крепился греющий провод ПРСВ 1,2, шаг арматуры составлял 200 мм (рис. 2). Перед укладкой бетонной смеси непосредственно из миксера были отобраны пробы бетона, которые были уложены в формы с целью последующего определения прочности бетона в возрасте 14, 28 и 56 сут. Согласно ГОСТ 10181–2000 «Смеси бетонные. Общие требования к методам испытания», было отобрано 10 партий, половина из которых набирала прочность в условиях строительной площадки, а другая половина – в лабораторных условиях с температурой воздуха 18–20°C и влажностью 55–65%.

Проведение эксперимента

1. Перед укладкой бетонной смеси осуществлялся контроль пространственного положения арматурных каркасов, отсутствие снега и наледи в опалубке и на арматуре перед приемкой бетона (вся площадь фундамента укрыта полиэтиленовой пленкой, которая была снята непосредственно перед укладкой бетонной смеси).
2. Отслеживалась целостность греющих проводов, объединенных в электрическую цепь.
3. Фиксировалась температура наружного воздуха в момент укладки бетонной смеси.
4. Фиксировалась температура поставляемой смеси непосредственно в подъезжающих миксерах.
5. Виброуплотнение контролировалось по признаку появления цементного молочка на поверхности бетонированной конструкции.
6. В течение трех суток с интервалами в 3 ч с помощью пирометров производились замеры температур в каждой трубке с одновременной фиксацией температур наружного воздуха. Результаты замеров заносились в журнал. Замеры производились первые 2 сут через 3 ч, затем до 14 сут через 6 ч и до 28 – через 24 ч.
7. В процессе твердения бетона производители работ периодически регулировали подачу и силу тока в грею-



Рис. 1



Рис. 2

щих проводах. Проводился хронометраж увеличения и уменьшения силы тока.

8. Частично в районе 2-го и 3-го кустов открытая поверхность фундамента производителем работ на 2-е сут была укрыта слоем полиэтиленовой пленки и утеплителем.

9. Распалубка была осуществлена на 8-е сут твердения бетонной смеси.

Результаты эксперимента

1. При проведении эксперимента было установлено, что в трубках появляется влага, появление которой обусловлено конденсатом и капиллярным подсосом (рис. 3). Перед замером температуры влага из трубок удалялась.

2. При наблюдении за состоянием поверхности фундамента уже на 2-е сут было отмечено появление трещин, которые располагались вдоль верхних стержней каркаса, и в районе 2-го узла на поверхности бетона появились высолы (рис. 4).

3. По результатам температурных замеров были построены графики изменения температуры во времени на разной глубине фундаментной плиты. Характер температурных кривых соответствует современным представлениям о тепловыделении при гидратации цемента. Максимальное значение температуры внутри конструкции за период наблюдения достигало $+29,4^{\circ}\text{C}$ (куст 2).

4. Сравнительный анализ значений температур в кустах 1, 2 и 3 позволяет сделать вывод, что внутри тела конструкции температура в кустах 2 и 3 выше, чем температура в кусте 1. Это обусловлено тем, что поверхность бетона в районе этих кустов была укрыта утеплителем.

5. Регулирование силы тока в греющих проводах производителем работ осуществлялось без мониторинга температуры окружающей среды.

6. В возрасте 14 сут была испытана партия образцов, которая набирала прочность в лабораторных условиях.



Рис. 3



Рис. 4

Испытания проводились неразрушающими методами с помощью пружинного склерометра, молотка Кашкарова и методом ударного импульса прибором ИПС-МГ4.01, а также разрушающими методами на прессе марки П125. По результатам испытания класс бетона составил В17,5. Аналогичные испытания были проведены в возрасте 28 сут. Прочность бетона соответствовала классу В20.

7. В возрасте 28 сут с помощью неразрушающих методов был определен класс бетона непосредственно в теле конструкции, который составил В15 (бетон находился в мерзлом состоянии). При лабораторных испытаниях на прессе партии образцов, твердевших на строительной площадке, предел прочности на сжатие бетона составил 7,76 МПа, что соответствует классу бетона В5. Класс бетона в возрасте 56 сут также составил В5.

Выводы.

Класс бетона в возрасте 28 сут не достиг декларируемого класса, указанного в сертификатах, – В25 в силу объективных и субъективных причин:

- температура укладываемой смеси в силу удаленности БСУ от места строительства была ниже нормативной на $3-5^{\circ}\text{C}$;
- размеры крупного заполнителя в миксерах колебались от 3 до 30 мм, это позволяет утверждать, что бетон фундаментной плиты неоднороден по плотности;
- локальные появления на поверхности бетона высолов, которые характерны для поташа, объясняются тем, что процентное содержание противоморозных добавок и водоцементное отношение в каждом миксере были различны;
- появление трещин на поверхности фундаментной плиты может быть обусловлено двумя причинами:
 - а) при электрообогреве бетона произошло интенсивное испарение влаги в защитном слое, так как был нарушен проект производства работ: не осуществлялось плавное уве-

личение силы тока до проектного режима, а поверхность бетона оставалась свободной от гидро- и теплоизоляции;

б) в момент укладки бетонной смеси арматурные стержни имели отрицательную температуру, температура бетонной смеси составляла всего +2 – +3°C. Резкое ночное понижение температуры наружного воздуха, отсутствие утепления открытой поверхности привели к замерзанию влаги в защитном слое бетона, которая в конечном итоге разорвала бетон в месте расположения арматурных стержней;

- в процессе укладки бетонной смеси местами была нарушена целостность токопроводящих элементов, что сказалось на величине температуры в верхних слоях бетона и в конечном итоге повлияло на скорость гидратации цемента в этих слоях;
- теплоизоляция открытой поверхности бетона осуществлялась лишь частично, что тоже снижало скорость гидратации цемента и набор прочности бетоном;
- в процессе твердения колебание температуры наружного воздуха составляло 31°C (на начало бетонирования –11°C, на 3-и сут –30°C, на 14-е сут +1°C, на 28-е сут –12°C). Эти изменения температуры оказывали существенное влияние на поверхностные слои твердеющей конструкции фундамента;
- анализ температурных полей позволяет сделать вывод о том, что температура в нижних слоях фундаментной плиты была ниже, чем температура в средних и верхних слоях.

В целом полученные результаты исследования соответствуют физике процессов, протекающих в теле бетонной конструкции при различных граничных условиях.

Рекомендации

1. При зимнем бетонировании необходимо проводить работы в соответствии с требованиями технологической карты, в которой приведена методика зимнего бетонирования, и осуществлять мониторинг парамет-

ров, только это может обезопасить производителей работ от возможной последующей ответственности.

2. Математическое моделирование процессов, происходящих в теле бетонированной конструкции, и результаты проведенного эксперимента прямо указывают на то, что открытая поверхность бетона должна быть укрыта гидроизоляционной пленкой и утеплена непосредственно по окончании бетонирования на весь период набора прочности бетоном, т. е. минимум на 28 сут.

3. При бетонировании массивных конструкций типа сплошного фундамента под здание необходимо производить прогрев с двух сторон – со стороны основания и со стороны открытой поверхности, а также для оперативного контроля температуры в теле конструкции устраивать минимум три куста с трубками – это позволит оперативно вмешиваться в процесс твердения бетона.

4. Предпочтительно использование греющей деревянной опалубки во избежание промерзания углов конструкции.

5. Обязательное ведение журнала зимнего бетонирования с фиксацией всех изменяющихся параметров.

В данной работе приведены результаты натурального эксперимента. Математическое моделирование условий эксперимента и его результаты будут представлены в последующих публикациях.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, монолитная конструкция, температурные поля.

Список литературы

1. *Матросов Ю.А.* Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения. М.: НИИСФ, 2008. 496 с.
2. *Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Нестеров С.А.* Двусторонний прогрев бетона в монолитной железобетонной фундаментной плите с использованием термоактивной опалубки // Строит. материалы. 2007. № 12. С. 26–27.



**СТРОЙ
МЕХАНИКА**

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «СТРОЙМЕХАНИКА»
+7 (4872) 701 400



Винтовые конвейеры серии «ВК»



Дисковые затворы



Предохранительные клапаны



Рукавные фильтры



Шиберные затворы



Ленточные транспортеры серии «ЛК»



Система аэрации силоса



Датчик уровня цемента серии SH



Пережимной клапан SMA

Реклама

**Машиностроительное предприятие «СтройМеханика», РФ, г. Тула, пос. Рудаково,
ул. Люлина, д. 6А; Тел/факс +7 (4872) 701 400; e mail: info@penobet.ru www.stroymehanika.ru**

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР

ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



тел/факс в Челябинске:
(351) 790-16-13, 790-16-85, 796-64-14
в Москве: (495) 964-95-63, 220-38-58
e-mail: stroypribor@chel.surnet.ru
www.stroypribor.ru

Реклама

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03
ударно-импульсный

автоматическая обработка
измерений



диапазон 3...100 МПа

УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С
ультразвуковой

поверхностное и сквозное
прозвучивание



частота 60...70 кГц
диапазон 10...2000 мкс

ПОС-50МГ4 / ПОС-50МГ4 Д /
ПОС-50МГ4 "Скол"

отрыв со скалыванием
и скалывание ребра

предельное
усилие 60 кН
диапазон 5...100 МПа



ПОС-2МГ4 П

испытание прочности
ячеистых бетонов



предельное
усилие вырыва 2,5 кН

ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ
ДИНАМИЧЕСКИЕ

ПДУ-МГ4 "Удар"
и **ПДУ-МГ4 "Импульс"**

определение динамического
модуля упругости грунтов
и оснований дорог
методом штампа,
диапазон: 5...370 МН/м² ("Удар")
5...300 МН/м² ("Импульс")



Прессы испытательные
малогабаритные

ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4
/ ПГМ-1000МГ4

с гидравлическим приводом
для испытания бетона,
асфальтобетона, кирпича
■ предельная нагрузка
100 / 500 / 1000 кН
■ масса 70 / 120 / 180 кг



ПМ-1МГ4 / ПМ-2МГ4 / ПМ-3МГ4
/ ПМ-5МГ4 / ПМ-10МГ4

с ручным / электрическим приводом
для испытания утеплителей на изгиб
и сжатие при 10% линейной деформации
■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН
■ масса 20 / 25 кг

ПСО-10МГ4 КЛ

испытание прочности
сцепления в каменной
кладке

предельное усилие
отрыва 15 кН



АДГЕЗИМЕТРЫ

ПСО-МГ4

испытание прочности
сцепления покрытия
с основанием

предельная нагрузка
1 / 2,5 / 5 / 10 кН



ИЗМЕРИТЕЛИ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"

стационарный
и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ

ИСП-МГ4 / ИСП-МГ4.01
анемометр-термометр

диапазон 0,1...200 (1...30) м/с
-30...+100 °С



ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01
термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ
ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ИТП-МГ4.03 "Поток"

3...5, 10 и 100-канальные
регистраторы

диапазон 10...999 Вт/м²
-40...+70 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

ВЛАГОМЕР-МГ4

для измерения влажности
бетона,
сыпучих,
древесины
диапазон 1...45 %



ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ
ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

ИПА-МГ4

диаметр контролируемой
арматуры 3...40 мм
диапазон измерения
защитного слоя 3...140 мм



ТЕРМОМЕТРЫ

ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01

модульные регистрирующие
для зимнего бетонирования
и пропарочных камер
(до 20 модулей в комплекте)
зондовые / контактные
1...2-канальные
диапазон -40...+100 / 250 °С



ДИНАМОМЕТРЫ

ДМС-МГ4 / ДМР-МГ4
эталонные

сжатия / растяжения
предельная нагрузка
1...1000 кН



ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ
АРМАТУРЫ

ДО-40 / 60 / 80МГ4

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых
усилий 2...120 кН

диаметр
арматуры 3...12 мм



ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ
В АРМАТУРЕ

ЭИН-МГ4

частотный метод

диаметр
арматуры 3...32 мм

диапазон 100...1800 МПа



ПРОИЗВОДИМ: ИЗМЕРИТЕЛИ ВИБРАЦИИ, МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ТОЛЩИНОМЕРЫ, ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ВЕСЫ И ДР.

И.Н. ЧЕРНОВ, канд. техн. наук,
группа компаний «Единая Торговая Система» (Санкт-Петербург)

Современные материалы для производства бетонных конструкций

Группа компаний «Единая Торговая Система» является одним из крупнейших поставщиков строительной химии. В настоящее время в ГК ЕТС входит 15 компаний; она имеет свои офисы и склады в России, Украине, Казахстане, Швеции, Голландии и Китае. Головной офис ГК ЕТС расположен в Санкт-Петербурге, общая площадь его складов составляет более 17 тыс. м², количество сотрудников превышает 200 человек.

ГК ЕТС поставяет химические продукты более чем от 150 зарубежных производителей, среди которых Akzo Nobel (Голландия), BASF (Германия), LG (Южная Корея), Sika (Швеция), Daigen (Тайвань), DuPont (США) и др.

Для изготовления ЖБИ ГК ЕТС поставяет широкий спектр добавок:

- поликарбоксилатные пластификаторы;
- воздухововлекающие добавки;
- ускорители твердения;
- форморазделительные масла;
- поверхностный замедлитель схватывания бетона;
- противоморозные добавки, специальные волокна, предназначенные для армирования бетона.

Железобетонные конструкции являются самым распространенным элементом современного строительства. Готовые конструкции должны иметь наряду с важными положительными свойствами (устойчивостью к растягивающим и сжимающим нагрузкам) хороший внешний вид, конкурентную цену, индивидуальные архитектурные решения, например поверхность с обнаженным заполнителем.

Некоторые материалы для производства бетонных изделий малоизвестны российскому рынку, но широко применяются за рубежом.

Специальные текстильные материалы для бетонных конструкций. В строительных конструкциях уже более 100 лет в качестве арматуры для бетона используются стальные элементы, при этом сталь в железобетонных конструкциях воспринимает главным образом растягивающие нагрузки, а бетон – сжимающие. Неоспоримо, что железобетонные конструкции обладают рядом важных положительных свойств: увеличивают вязкость, усталостную прочность, динамическую прочность, сопротивление порообразованию и снижают образование усадочных трещин. Но существуют и недостатки. Их масса велика, металлическая арматура ограничивает размеры и форму выпускаемых изделий. Кроме того, стальная арматура подвержена коррозии, что вызывает разрушение бетона.

Одним из путей повышения надежности и долговечности, а также существенного снижения нагрузок от собственной массы при использовании бетонных конструкций является применение для армирования текстильных материалов. Текстильные материалы, используемые для армирования бетона, включают различные структурные уровни: волокно, нить, полотно. Во многих случаях металлический каркас может быть с успехом заменен текстилем.

Основная область его применения находится там, где применение стальной арматуры ограничено. Бетонные изделия с текстильным армированием могут изго-



Тип волокна	Плотность, г/см ³	Прочность, МПа	Удлинение при разрыве, %	Модуль упругости, ГПа
Арамидные	1,44	3000–5000	3–5	80–130
Стекланные	2,5–2,6	1500–2000	2–3	70
Углеродные	1,7–2	3000–7000	2–3	150–350
Стальные	7,8–8	400–900	10–15	200

тавливаться толщиной от 10 мм, что не всегда может быть достигнуто при использовании стандартной стальной арматуры. Более того, из-за исключительно выгодного соотношения массы и прочности данные структуры могут быть весьма полезными при производстве тонкостенных строительных конструкций, реставрации различных архитектурных элементов, при усилении и армировании стен старых зданий, а также при изготовлении и реставрации различных фасадных элементов. Текстильно-армированные изделия могут быть также использованы для противостояния разрушающему воздействию влаги в бетонных настилах, парапетах, стенках, бордюрах. Другими примерами использования могут служить области, где необходима высокая коррозионная стойкость и низкая электропроводность.

Современные тенденции в производстве бетонных конструктивных материалов, армированных текстилем, заключаются в расширении области их применения: от второстепенных не несущих нагрузок элементов до первостепенных несущих конструктивных элементов. В строительных работах часто возникает необходимость создания легких конструкций, таких как арки, перекрытия входов, навесов, козырьков, карнизов и декоративных элементов — бордюров, рельефов и др. Бетонные конструкции на текстильной основе становятся передовым строительным материалом, особенно подходящим для разнообразных легковесных строительных конструкций.

Механические свойства армированного бетона зависят от свойств армирующих текстильных материалов — прочности, удлинении при разрыве, модуля упругости, геометрических параметров (длина, диаметр, форма), объемной доли волокон, адгезии к бетонной матрице и др. Основные преимущества текстильно-армированного бетона состоят в:

- отсутствии коррозии;
- возможности создания более тонких и легких конструкций;
- возможности создания сложных форм за счет превосходной драпируемости;
- легкости обращения с полотнами;
- увеличенной долговечности конструкции.

Вследствие относительной дешевизны при армировании бетона используются щелочестойкие стеклянные волокна и нити. Также могут быть использованы арамидные, углеродные и высокомодульные полиэтиленовые волокна и нити, а также текстильные полотна из них. Технические характеристики волокон представлены в таблице.

Бетон, армированный стеклянными волокнами, представляет собой материал, наполненный щелоче-

стойкими стекловолокнами (AR glass fibers). Он производится одновременным формированием панелей из строительного раствора и рубленых стеклянных волокон. Объемная доля стекловолокон может достигать 5%.

Пример такого волокна — продукт Cem-sil 61/2 от компании Осг.

Технические характеристики бетона, армированного стекловолокнами

Плотность в сухом состоянии, кг/м ³	1700–2250
Ударная вязкость по Шарпи, кг-мм/мм ²	1,1–2,5
Прочность при сжатии, кг/см ²	490–840
Предел прочности на растяжение при изгибе, кг/см ²	210–320
Модуль упругости, МПа	1–2,5·10 ⁴
Удлинение при разрушении, %	0,6–1,2
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,52–0,75
Водонепроницаемость по ГОСТ 12730	W6–W20
Коэффициент фильтрации, см/с	10 ⁻⁸ –10 ⁻¹⁰
Морозостойкость по ГОСТ 10060.0	F150–F300

Ударная вязкость — способность материала поглощать механическую энергию в процессе деформации и разрушения под действием ударной нагрузки.

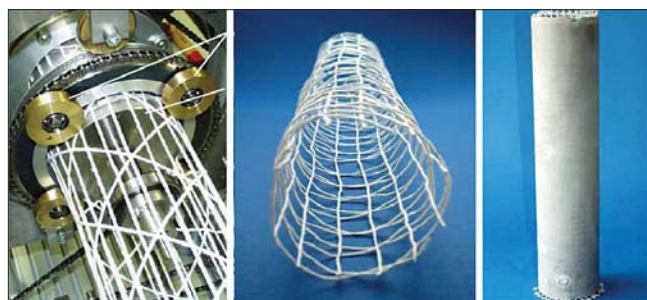
Необходимо обратить внимание, что в бетонных конструкциях матрица разрушается раньше, чем реализуются прочностные свойства волокна. Таким образом, армирование волокном становится эффективным главным образом после трещины матрицы, т. е. волокна будут способны воспринимать нагрузку после разрушения матрицы. Волокна с низким модулем упругости (полиэтиленовые и полипропиленовые) показывают плохое сцепление с бетонной матрицей, тогда как арамидные, углеродные, стеклянные обеспечивают прочное сцепление.

Не менее важный вопрос для ЖБИ — это внешний вид.

В настоящее время существует множество предложений по форморазделительным маслам. Группа компаний «Единая Торговая Система» предлагает специально рафинированное минеральное масло Pieri LM 6-13. Данное масло содержит присадки, обладающие свойствами активного разделения и подавления образования коррозии. В результате нанесения масла на поверхности опалубки образуется разделительный слой, который предотвращает прямой контакт опалубки с готовым изделием, а также делает возможной легкую, быструю и чистую распалубку. Масло Pieri LM 6-13 является одним из самых популярных продуктов в Скандинавии, где выдвигаются наиболее жесткие требования по защите окружающей среды.

Кроме того, появился новый продукт Pieri LM33, который является твердым разделительным воском, обеспечивающим высокое качество поверхности архитектурного бетона. Он идеально подходит для малых архитектурных форм. Образует тонкую восковую пленку на поверхности формы, устойчивую к действию дождя и сильному абразивному действию бетона.

В странах Западной Европы очень большое внимание уделяют дизайну изделий, фактуре поверхности. Для этой цели компания Graco разработала архитектурный поверхностный замедлитель схватывания для формованного бетона Pieri DRC 6. Он создает поверхность бетона с обнаженным заполнителем. Глубина достигаемого травления определяется типом используемого Pieri DRC и варьируется от 1 до 40 мм. Эффект достигается за счет предотвращения твердения цемента.



Современные материалы и технологии бетонов. Методы контроля качества

спонсор конференции

ЕТС Группа компаний «Единая Торговая Система»



А.В. Ушерев-Маршак. Презентация новой книги



И.С. Кокошуев (Санкт-Петербург)



И.С. Хаймов (Москва)



А.А. Яворский (Нижний Новгород)

28 января 2010 г. в ЦВК «Экспоцентр» состоялась научно-техническая конференция «Современные материалы и технологии бетонов. Методы контроля качества». Организатором конференции выступил научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы»®. Мероприятие проходило в рамках выставки «Отечественные строительные материалы-2010» и привлекло к участию около 60 специалистов в области производства бетонов и бетонных конструкций, вяжущих, добавок для бетонов, оборудования и приборов из различных регионов России и ближнего зарубежья.

В программе конференции было заслушано 11 докладов ведущих специалистов в области бетона. Конференция открылась выступлением одного из корифеев современного бетоноведения д-ра техн. наук **А.В. Ушерова-Маршака** (Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, Украина). Его доклад был посвящен калориметрическому методу исследования, контроля и мониторинга твердения и свойств бетона.

Основные свойства специальных цементов на основе добавок «Полирелакс» для производства бетонных работ в зимнее время показал в своем докладе канд. техн. наук **Н.Ф. Башлыков** (НПЦ «Полирелакс», Москва).

С докладом о необходимости контроля тепловых процессов, происходящих в теле многослойной железобетонной конструкции при зимнем бетонировании, выступил д-р техн. наук **А.М. Ибрагимов** (ИвГАСУ). В приведенном докладе были систематизированы ошибки зимнего бетонирования на реальных объектах, дан их анализ и сделан прогноз возможных особенностей эксплуатации таких конструкций.

Известно, что для получения определенных свойств бетонов необходимо использование добавок. Компания «Полипласт» (г. Новомосковск, Тульской обл.) известна как разработчик широкого спектра добавок различного назначения. Начальник НТЦ компании «Полипласт» д-р техн. наук **А.И. Вовк** представил ряд новых материалов, производимых компанией для получения специальных бетонов, и показал их влияние на свойства бетонной смеси и прочность бетона.

Группа компаний «ЕТС» известна многим производителям строительных материалов как надежный поставщик компонентов для выпуска материалов различного назначения. В последние годы компания постоянно расширяет спектр поставляемых продуктов, осваивая новые направления. Одним из направлений деятельности компании является поставка добавок для бетонов поликарбонатных пластификаторов, ускорителей твердения, воздухововлекающих добавок, поверхностных замедлителей схватывания бетона, противоморозных добавок, а также форморазделительных масел, текстильных материалов для армирования бетона и др. С докладом о возможностях, открывающихся при использовании этой группы материалов, выступил менеджер отдела строительной химии канд. техн. наук **И.Н. Чернов**.

Современные приборы контроля качества бетона открывают строителям большие возможности в области определения основных параметров



Во время работы конференции

конструкций, мониторинга их состояния и др. **И.С. Кокошуев** (ООО «Просек Рус», Санкт-Петербург) наглядно показал отличительные особенности приборов компании PROCEQ.

Особенности применения приборов контроля качества и диагностики бетонных конструкций на примере реальных объектов представил в докладе директор российской компании СКБ «Стройприбор» **В.В. Гулунов** (Челябинск).

С докладом о методах контроля качества высокопрочных тяжелых и мелкозернистых бетонов в процессе возведения монолитных конструкций выступил д-р техн. наук **С.С. Каприелов**, который подчеркнул необходимость применения нескольких видов методов испытания: контроль качества бетонной смеси, контроль прочности в партиях, контроль прочности по кернам и контроль неразрушающими методами.

В работе конференции принял участие канд. техн. наук **А.А. Яворский** (Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет), который осветил проблемы контроля качества в монолитном строительстве.

В своем выступлении канд. техн. наук **А.М. Соколов** (Ивановский энергетический университет) показал основные достоинства электротепловой обработки бетона токами различной частоты. Также приведены экономические аргументы перспектив расширения использования электротепловой обработки бетона по сравнению с тепловлажностной.

Технологию и свойства модифицированных легких бетонов для энергоэффективных зданий показал в выступлении канд. техн. наук **И.С. Хаймов** (НИИЖБ ОАО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО», Москва). Вниманию специалистов были представлены основные технические характеристики полистролбетона, технология его производства на различных видов вяжущих, основные преимущества особо легких теплоизоляционных бетонов, опыт применения полистиролбетона в различных конструкциях.

Участники конференции с большим вниманием заслушали доклады, многие из них вызвали оживленные дискуссии.

В рамках конференции состоялась презентация новой книги д-ра техн. наук А.В. Ушерова-Маршака «Бетонведение: лексикон», выпущенной в свет издательством «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ». Александр Владимирович является видным ученым-бетонведом, автором более 300 научных работ, в том числе «Тепловыделение цемента», «Тепловыделения при твердении вяжущих веществ и бетонов», «Калориметрия цемента и бетона» и др.

Новое издание подготовлено в виде толкового словаря, ориентированного на формирование понятийно-терминологического аппарата бетонведения, в котором учтены тенденции международной интеграции науки о бетоне и его технологии. «Бетонведение: лексикон» содержит более 650 терминов и понятий, 150 аббревиатур международно признанных словосочетаний, наиболее часто употребляемых в профессиональной научно-технической литературе и нормативных документах. Особенность издания состоит в насыщенности информацией физико- и коллоидно-химического характера в связи с возрастающей ролью этих знаний при обосновании составов, структур, свойств, технологических процессов получения и службы бетона.

Редакция журнала «Строительные материалы»®, издательство «Стройматериалы» выражает признательность спонсору конференции – группе компаний «Единая торговая система».



И.Н. Чернов (Санкт-Петербург)



В.В. Гулунов (Челябинск)



Участники конференции воспользовались счастливой возможностью получить книгу с автографом



А.М. Соколов (Иваново)



В.Н. Башлыков (слева), С.С. Каприелов



Слева направо: А.И. Вовк, Н.Ф. Башлыков, А.В. Ушеров-Маршак

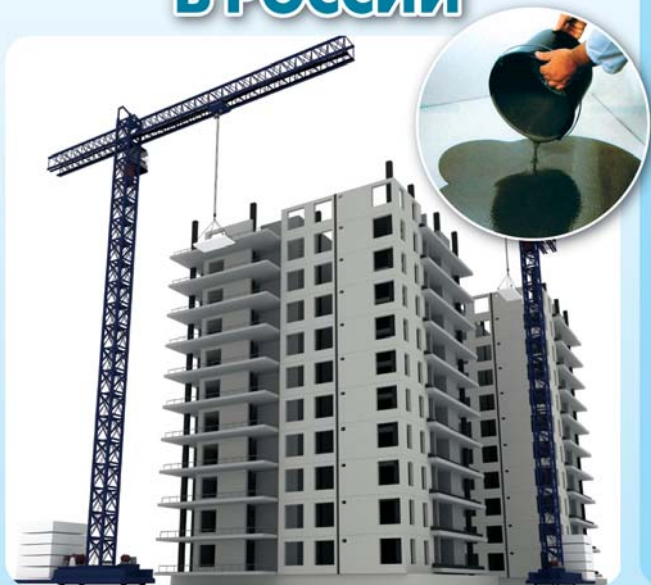
Реклама

construction
polymers

настоящая
ХИМИЯ
будущего

ЕвроХим-1 

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РОССИИ



**Поликарбоксилатные
гиперпластификаторы нового поколения**

Melflux® 1641 F
Melflux® 2641 F
Melflux® 2651 F
Melflux® PP 100 F
Melflux® PP 200 F
Melflux® 5581 F

Применение

Производство самовыравнивающихся полов
- на основе цемента
- на основе строительного гипса
- в самоуплотняющихся бетонах
Не замедляет скорость набора прочности

**Меламиноформальдегидные
суперпластификаторы для цементных
и гипсовых систем**

Melment® F10
Melment® F15 G

Модификаторы вязкости

Melvis® и Starvis®

тел. (495) 781-66-56 e-mail: sss@eurohim.ru www.chem.eurohim.ru



Мы создаем настоящие ценности

Жилой дом за 3 месяца из экологически чистых материалов, спроектированный и построенный в соответствии с современными принципами энергосбережения, не подверженный проникающему действию влаги и перепадам температуры, а также без ограничения архитектурно-планировочных решений.

Представительство Lindab в России
123290, г. Москва,
ул. 2-я Магистральная, 14Г, стр. 1,
тел. (495) 937-22-78, факс 937-22-79
info@lindab.ru


www.lindab.ru

Реклама



А.В. Ушеров-Маршак

БЕТОНОВЕДЕНИЕ ЛЕКСИКОН

М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2009. 112 с.

Издание подготовлено в виде толкового словаря, ориентированного на формирование понятийно-терминологического аппарата бетоноведения – одной из динамично развивающихся, сложных и специфических областей материаловедения. Учтены тенденции международной интеграции науки о бетоне и его технологии.

«Бетоноведение: лексикон» содержит более 650 терминов и понятий, 150 аббревиатур международно признанных словосочетаний, наиболее часто употребляемых в профессиональной научно-технической литературе и нормативных документах. Особенность издания состоит в насыщенности информацией физико- и коллоидно-химического характера в связи с возрастающей ролью этих знаний при обосновании составов, структур, свойств, технологических процессов получения и службы бетона.

Издание рассчитано на широкий круг представителей науки, образования, в том числе учащихся вузов и колледжей, практики строительной сферы.

Цена 1 экз. без почтовых услуг 250 р., НДС не облагается

Книгу можно заказать с сайта издательства

www.rifsm.ru

Тел./факс: (495) 976-20-36, 976-22-08

e-mail: mail@rifsm.ru

С.В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН,
 М.В. АКУЛОВА, д-р техн. наук,
 Т.Е. СЛИЗНЕВА, канд. техн. наук, В.А. ПАДОХИН, д-р техн. наук,
 В.И. КАСАТКИНА, инженер,
 Ивановский государственный архитектурно-строительный университет

Определение технологических параметров механомагнитной активации водных систем с пластифицирующей добавкой

В настоящее время производство бетона на портландцементном вяжущем не обходится без применения различных добавок, модифицирующих его свойства [1]. Не последнюю роль здесь играют пластификаторы. Среди пластификаторов наибольшее распространение получили поливинилацетат (ПВА), карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), а также суперпластификатор С-3 [2]. Введение данных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в цементное тесто положительно влияет на сроки схватывания, подвижность цементной массы. В то же время введение большого количества добавки в цементный композит приводит к некоторому снижению прочности последнего, поскольку образующиеся полимерные волокна, проникая в структуру цементного камня, делают его более рыхлым. Кроме того, применение большого количества ПАВ может снижать плотность цементного камня. Поэтому большое значение приобретает снижение расхода добавок и повышение их эффективности.

При высокоскоростном перемешивании воды межмолекулярные водородные связи разрываются и активность ее повышается. Как известно [3], омагниченная вода обладает большей активностью, диэлектрической проницаемостью, чем обычная водопроводная вода.

В данной работе исследовали влияние механомагнитной активации (ММА) воды затворения с добавками на физико-механические свойства цементного теста и камня. Исследования проводили на роторно-импульсном активаторе (РИА) [4]. Ротор активатора, имеющий восемь лопастей, приводили в действие электромотором, число оборотов которого регулировали. На выходе из аппарата поместили магнит. Напряженность магнитного поля во всех опытах составляла 140 мА/м. Схема и описание работы лабораторной установки, на которой проводили опыты, подробно приведены в [4].

Для проведения экспериментов использовали портландцемент марки М400Д0 ОАО «Белгородский цемент», соответствующий ГОСТ 10178–85 и ГОСТ 30515–97 «Цементы. Общие технические условия», а также воду, соответствующую требованиям

ГОСТ 23732–79 (1993) «Вода для бетонов и растворов. Технические условия».

С целью подбора оптимальных параметров проведения механомагнитной активации воды затворения проведен трехфакторный эксперимент в соответствии с ортогональным центрально-композиционным планом (ОЦКП) [5] для водного раствора С-3. В дальнейшем для водных систем с добавкой ПВА и КМЦ эксперименты проводили по плану Бокса–Бенкена [6], поскольку он требует меньшего количества опытов. В качестве факторов были выбраны частота вращения ротора и время активации воды затворения в сочетании с концентрацией вводимой добавки. Откликами являлись предел прочности цементного камня при сжатии, нормальная густота цементного теста (НГ), расход воды затворения (водоцементное отношение В/Ц), сроки начала и окончания схватывания. При проведении замесов В/Ц составляло 0,4. Последующие испытания образцов проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 310.4–81 и ГОСТ 310.3–76.

В табл. 1 приведены границы изменения факторов, входящих в план эксперимента, выбранные на основании предварительных экспериментов и в соответствии с составами и режимами, предложенными в патенте [7].

Построение математической модели заключалось в подборе уравнений регрессии вида:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_k \cdot x_k + \sum_{i=1, l> i}^k a_{il} \cdot x_i \cdot x_l + \sum_{i=1}^k a_{ii} \cdot x_i^2, \quad (1)$$

где a_i, a_{il}, a_{ii} – коэффициенты при неизвестных в уравнении регрессии; $x_1 = (v - v_0)/\Delta v$; $x_2 = (t - t_0)/\Delta t$; $x_3 = (C - C_0)/\Delta C$ – нормированные факторы; v – частота вращения ротора, об/мин; t – время активации, мин; C – концентрация добавки, % массы цемента; y – отклик; v_0, t_0, C_0 – центр эксперимента; $\Delta v = v_{max} - v_0$; $\Delta t = t_{max} - t_0$; $\Delta C = C_{max} - C_0$ – интервалы варьирования факторов; k – число факторов.

В результате численного решения задачи для С-3 получены следующие уравнения регрессии с учетом только значимых коэффициентов:

1) нормальная густота цементного теста $y_{НГ}$, мм:

$$y_{НГ} = 21,47 + 2,050 \cdot x_1 + 0,45 \cdot x_2 - 0,69 \cdot x_3 - 0,604 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,896 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,81 \cdot x_2 \cdot x_3 + 1,10 \cdot x_1^2 + 1,10 \cdot x_2^2, \quad (2)$$

2) расход воды затворения цементного теста нормальной густоты $y_{РВ}$, %:

$$y_{РВ} = 26,0037 - 1,83 \cdot x_1 - 0,259 \cdot x_2 - 0,20 \cdot x_3 + 0,48 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,63 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,104 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,22 \cdot x_1^2 - 0,188 \cdot x_2^2, \quad (3)$$

Таблица 1

Границы изменения	Частота вращения ротора, об/мин	Время активации, с	Количество добавки, % массы цемента		
			С-3	ПВА	КМЦ
Минимум	1500	60	0,002	0,01	0,004
Максимум	3500	180	0,03	0,1	0,02

Таблица 2

Факторы			Отклики				
Частота вращения ротора, об/мин	Время активации, с	Концентрация добавки, % массы цемента	Предел прочности при сжатии, МПа	Нормальная густота цементного теста, мм	Расход воды затворения, %	Сроки схватывания, мин	
						начало	окончание
С-3							
3300	96	0,002	54,8	26,2	23,3	115	325
3300	170	–	47,4	14	28	70	440
–	–	1	53,2	28	22,6	105	335
ПВА							
3300	108	0,043	57,8	26,9	24,2	107	380
3300	170	–	47,4	14	26,8	65	430
–	–	10	58,2	28	22,6	105	335
КМЦ							
3300	108	0,0072	59,04	27,2	23,7	118	340
3500	180	–	47,4	14	26,8	65	430
–	–	3	58,2	28	22,6	125	340

3) предел прочности при сжатии цементного камня $Y_{ПР}$, МПа:

$$Y_{ПР} = 47,66 + 3,207 \cdot x_1 + 0,557 \cdot x_2 - 0,55 \cdot x_3 - 0,93 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,696 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,50 \cdot x_2 \cdot x_3 + 1,77 \cdot x_1^2 - 0,158 \cdot x_3^2 \quad (4)$$

Адекватность полученных моделей (2) – (4) была установлена в соответствии с критерием Фишера [5].

Из анализа уравнений (2) – (4) следует, что расход воды затворения цементного теста снижается с увеличением частоты вращения ротора, времени активации и концентрации С-3. Предел прочности при сжатии возрастает с увеличением частоты вращения ротора и времени активации, но повышение концентрации С-3 приводит к некоторому снижению прочности.

Дальнейшие расчеты на основе полученных уравнений регрессии позволили определить оптимальные значения откликов. Предел прочности при сжатии составляет 54,8 МПа, нормальная густота цементного теста – 26,2 мм, расход воды затворения – 23,3% массы цемента. Данным значениям откликов соответствует точка факторного пространства при частоте вращения ротора 3300 об/мин, времени активации 96 с и концентрации С-3 0,005% массы цемента. Именно такой режим проведения процесса механомагнитной активации является оптимальным.

Для системы ПВА было получено пять уравнений регрессии:

1) предел прочности цементного камня при сжатии $Y_{ПР}$, МПа:

$$Y_{ПР} = 53,9 + 3,675x_1 + 0,4125x_2 + 0,6125x_3 - 0,925x_1^2 - 2,125x_2^2 - 1,45x_3^2 - 0,975x_1x_3 - 2,825x_2x_3; \quad (5)$$

2) нормальная густота цементного теста $Y_{НГ}$, мм:

$$Y_{НГ} = 26 + 2,125x_1 + 1,75x_2 - 3,25x_3 - 1,5x_1x_2 - 1,75x_2x_3; \quad (6)$$

3) расход воды затворения $Y_{РВ}$, %:

$$Y_{РВ} = 25,1 - 1,225x_1 - 0,75x_3 + 0,375x_1^2 + 0,825x_2^2 + 0,4125x_1x_2; \quad (7)$$

4) начало схватывания $Y_{НС}$, мин:

$$Y_{НС} = 100 + 10x_1 - 7,5x_1^2 - 12,5x_2^2 - 7,5x_3^2 - 6,25x_1x_2; \quad (8)$$

5) окончание схватывания $Y_{КС}$, мин:

$$Y_{КС} = 406 - 8,125x_1 - 4,375x_2 - 16,25x_3 + 27,5x_1^2 + 61,25x_2^2 + 26,25x_3^2 - 13x_1x_3 - 24,25x_2x_3. \quad (9)$$

В соответствии с критерием Фишера все модели адекватны описываемому процессу.

При поиске экстремума полученных функций оказалось, что наилучшие показатели достигаются в области факторного пространства, примерно соответствующего центру эксперимента и имеющего некоторое смещение в сторону уменьшения концентрации добавки (0,008% массы цемента) и увеличения частоты вращения ротора (3000–3300 об/мин).

Для системы КМЦ были получены следующие уравнения регрессии, которые также оказались адекватны описываемому процессу:

1) предел прочности цементного камня при сжатии $Y_{ПР}$, МПа:

$$Y_{ПР} = 58,22 + 4,013x_1 + 1,25x_2 + 0,39x_3 - 3,74x_1^2 - 1,81x_2^2 - 1,89x_3^2 - 1,33x_1x_2 - 1,75x_1x_3 + 0,725x_2x_3; \quad (10)$$

2) нормальная густота цементного теста $Y_{Г}$, мм:

$$Y_{Г} = 27 + 1,125x_1 - 2x_1^2 - 1,5x_2^2 - 1,25x_1x_3; \quad (11)$$

3) расход воды затворения $Y_{РВ}$, %:

$$Y_{РВ} = 23,82 - 0,8x_1 - 0,7x_3 + 0,98x_1^2 + 1,18x_3^2 + 0,575x_1x_2 + 1,075x_1x_3; \quad (12)$$

4) начало схватывания $Y_{НС}$, мин:

$$Y_{НС} = 115 + 11,62x_1 - 12,75x_1^2 - 14x_2^2 - 7,25x_3^2 - 5,75x_1x_2; \quad (13)$$

5) окончание схватывания $Y_{КС}$, мин:

$$Y_{КС} = 334 + 59,3x_1^2 + 28x_2^2 - 19,5x_3^2 + 46,25x_1x_3. \quad (14)$$

Как показали расчеты, наилучшие значения откликов лежат в области частоты вращения ротора 3000–3300 об/мин и концентрации КМЦ около 0,012% массы цемента.

С целью выявления эффекта влияния механомагнитной активации водных систем на рассматриваемые физические характеристики для каждой из систем были проведены по две контрольные серии опытов. Первая серия предполагала проведение механомагнитной активации воды затворения без введения добавки. Вторая серия состояла из получения контрольного об-

разца цементного камня, затворенного на неактивированной воде с максимально допустимой концентрацией добавки. Результаты сравнения показателей контрольных и опытных образцов цементного камня представлены в табл. 2. Для каждой водной системы в первой строке приведены данные для образцов, полученных с применением ММА этой системы с добавкой; во второй строке – для контрольных образцов первой серии (выбран режим, обеспечивающий наибольшую прочность); в третьей строке – для контрольных образцов второй серии.

Анализ данных табл. 2 показал, что, во-первых, предел прочности при сжатии образцов, затворенных на магнитоактивированной воде с добавкой, выше соответствующего предела прочности при сжатии образцов, затворенных на магнитоактивированной воде без введения добавки. Во-вторых, для того чтобы образец, затворенный на неактивированной воде, достиг нормативного предела прочности, необходимо значительно (в сотни раз) увеличить содержание добавки.

Расход воды затворения увеличился в среднем на 1% по сравнению с образцами, полученными на неактивированной воде с предельным количеством добавки.

Применение механомагнитной активации без использования пластификаторов привело к значительному (до 5%) увеличению расхода воды затворения, что может увеличить пористость цементного камня. Обработка в РИА воды с добавками позволила увеличить густоту цементного теста (до 27 мм), а также увеличить сроки начала схватывания при одновременном уменьшении сроков окончания схватывания. Пластифицирующие добавки, введенные в цементное тесто в уменьшенных дозах, тем не менее в полной мере проявили свои свойства за счет механомагнитной активации водных систем, используемых для затворения.

Таким образом, применение механомагнитной активации воды затворения совместно с добавкой позволило значительно снизить расход пластификатора без ухудшения основных характеристик цементного теста.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 09–08–13671).

Ключевые слова: цемент, механомагнитная активация, пластифицирующие добавки, технологические параметры.

Список литературы

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Технопроект, 1998. 768 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.
3. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1982. 296 с.
4. Федосов С.В., Акулова М.В., Стрельников А.Н., Слизнева Т.Е. Применение механомагнитной активации для снижения количества вводимых добавок в бетон // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 21–25.
5. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 278 с.
6. Ивоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копылов И.П. Планирование эксперимента в электромеханике. М.: Энергия, 1975. 184 с.
7. Патент РФ RU (11) 2306289 (13) С2 Состав мелкозернистого бетона / Федосов С.В., Акулова М.В., Падохин В.А., Соломина Н.И., Аникин Я.А. // Заявл. 27.04.2005. Опубл. 20.09.2007. БИ № 26.

11–14 мая 2010
Красноярск

выставка



**СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
МАЛОЭТАЖНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ
ЖКХ И ЭКОЛОГИЯ**

- окна, двери, оборудование и комплектующие для их производства
- мебель, товары для дома и интерьеров
- проекты, технологии и материалы для малоэтажного домостроения
- кровельные и изоляционные материалы, системы тепло-, газо-, водоснабжения
- строительные и отделочные материалы, технологии и оборудование для их производства
- городская инфраструктура, технологии, машины и оборудование коммунального хозяйства

сибирь
Информационно-выставочный центр
www.krasfair.ru

г. Красноярск, ул. Авиаторов, 19
МВДЦ «Сибирь», ВК «Красноярская ярмарка»
тел.: (391) 22-88-405
22-88-611 (круглосуточный)
www.krasfair.ru

Информационная поддержка: МСТСАР, НЕДВИЖИМОСТЬ ИЖСКО, ДОТ, Sibdom.ru, Ассоциация Строительный Союз

**20 – 22 мая 2010, г. Сочи,
Павильоны у Морпорта**

**СПОРТИВНЫЙ ФОРУМ
«СПОРТ-СОЧИ-2010»**

**II СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
«OlympExpoBuild»**

Выставка передовых проектов, материалов и технологий для строительства, реконструкции, оснащения спортивных сооружений

**V СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
«СПОРТИВНАЯ ИНДУСТРИЯ»**



**ВСЁ ДЛЯ СПОРТА, ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
СТРОИТЕЛЬСТВА И ОСНАЩЕНИЯ
СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Генеральный медиапартнер: 

Генеральный информационный партнер: 

Генеральный информационный спонсор:  Спортмайд-эксплэм

Организаторы:
Ассоциация спортивного инжиниринга
Выставочная компания «Сочи-Экспо ТПП г. Сочи»
Тел./факс: (8622) 648-700, 642-333,
647-555, (495) 745-77-09
E-mail: olymp@sochi-expo.ru
<http://www.sochi-expo.ru>
Официальный партнер:
Группа компаний «Ивент-Сервис»

СОЧИЭКСПО  ИВЕНТ-СЕРВИС 

С.В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН, Ивановский государственный технологический университет; В.И. БОБЫЛЕВ, генеральный директор АО ДСК (Иваново); Ю.А. МИТЬКИН, д-р техн. наук, А.М. СОКОЛОВ, канд. техн. наук, Ивановский государственный энергетический университет

Исследование суточной прочности бетона при электротепловой обработке токами различной частоты

Производственный цикл на современном предприятии крупнопанельного домостроения построен таким образом, что распалубку готовых железобетонных изделий производят на следующие сутки после укладки свежего бетона в опалубку. К моменту распалубки бетон должен приобрести прочность при сжатии не ниже 70% отпускной. Поэтому при использовании в производстве железобетона и изделий из него электротепловой обработки вместо традиционных способов (ТВО, обработка продуктами сгорания газа) большое практическое значение имеют сведения о кинетике набора прочности бетона, особенно в первые сутки твердения.

С целью получения такой информации были выполнены экспериментальные исследования суточной прочности бетона после электротепловой обработки стандартных образцов $100 \times 100 \times 100$ мм. Для экспериментов использовали бетон класса В20, получивший наиболее широкое применение на практике. Опалубка была выполнена из диэлектрических материалов (ламинированная фанера, текстолит, стеклопластик) снабженную теплоизоляцией (пенопласт толщиной 25–30 мм). Электротепловую обработку проводили пропусканием через образцы электрического тока переменного синусоидального напряжения 50 Гц и переменного напряжения прямоугольной формы с частотой 20 кГц по методике [1]. Эксперименты выполнены для трех значений температуры изотермической стадии 40, 60 и 80°C при изменении длительности этой стадии $\Delta t_{изот}$ от 0 до 9 ч и при температуре окружающего воздуха 17–23°C. Через 24–25 ч от момента укладки свежей бетонной смеси в опалубку производили распалубку готовых образцов и подвергали их испытаниям на прочность.

Из анализа полученных результатов следует, что при использовании электротепловой обработки величина суточной прочности бетона зависит от двух факторов: температуры $T_{изот}$ и продолжительности $\Delta t_{изот}$ изотермической стадии. При этом не отмечено заметного влияния на прочность частоты приложенного напряжения. На рис. 1 представлены зависимости суточной прочности при сжатии $R_{сут}$ бетонных образцов от длительности изотермической стадии электротепловой обработки при различных $T_{изот}$, а также отмечена пунктирной линией отпускная прочность $R_{отп}$ (17,5 МПа) для бетона класса В20.

Как видно из рис. 1, в начальной части полученные зависимости ($\Delta t_{изот} = 0-2$ ч) имеют качественно одинаковый характер: наблюдается быстрое увеличение $R_{сут}$. Дальнейший ход кривых для различной $T_{изот}$ заметно отличается.

Следует отметить, что максимальное значение суточной прочности, которого удалось достичь в опытах, составило 20 МПа.

Практическое значение полученных результатов заключается в их необходимости для обоснованного вы-

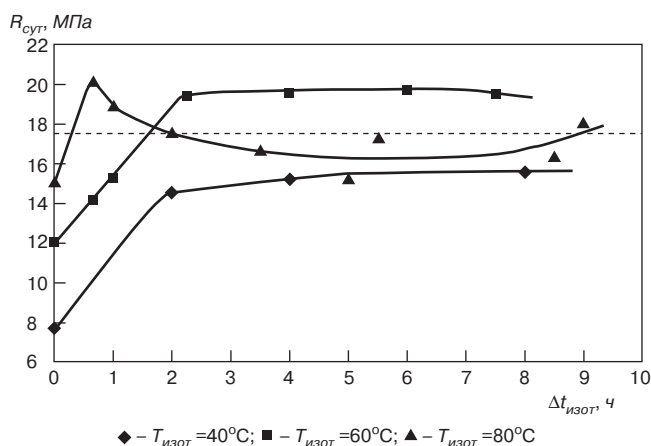


Рис. 1. Зависимости суточной прочности бетона от длительности изотермической стадии при электротепловой обработке

бора параметров электротепловой обработки — длительности изотермической стадии $\Delta t_{изот}$ и ее температуры $T_{изот}$ [2, 3]. Поэтому зависимости, представленные на рис. 1, требуют объяснения на основе анализа твердения бетона в условиях повышенной температуры. В таблице приведен примерный минералогический состав цемента, применяемого в настоящее время для приготовления тяжелого бетона. В работе использован цемент ПЦ400Д0 производства Михайловского цементного завода (Рязанская обл.).

Увеличение прочности цемента после его затворения водой и во время схватывания, происходящее в результате гидратации соединений цемента, может быть представлено уравнением, полученным при допущении аддитивного характера влияния каждого соединения [4]:

$$R = a \cdot A + b \cdot B + c \cdot C + d \cdot D, \quad (1)$$

где R — прочность бетона; a, b, c, d — коэффициенты, отражающие влияние 1% соответствующего соединения на прочность бетона; A, B, C, D — соответственно доля соединений C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF , принявших участие в гидратации. Величина этих параметров изменяется во времени от нуля до значений, равных содержанию соединений в цементе, если все соединения цемента прореагируют полностью (в действительности достичь этого невозможно, и предельные значения параметров оказываются несколько меньшей величины).

Трехкальциевый силикат C_3S (алит), являющийся основным носителем свойств цемента, реагирует с водой достаточно быстро. Еще быстрее гидратируют трехкальциевый алюминат C_3A и четырехкальциевый алюмоферрит C_4AF . Причем увеличение температуры приводит к значительному ускорению гидратации этих

соединений. Напротив, двухкальциевый силикат C_2S (β - C_2S модификация) реагирует с водой намного медленнее, хотя и непрерывно. Есть основания полагать, что через сутки после затворения цемента и применения тепловой обработки гидратация этого соединения еще практически отсутствует [4, 5], т. е. $V \approx 0$. Таким образом, в формуле (1) полностью отсутствует второе слагаемое, и даже при высокой степени гидратации остальных соединений можно достичь лишь определенной прочности, что получено экспериментально (рис. 1).

В отличие от других компонентов цемента гидратация C_3A и C_4AF имеет более сложный характер и состоит из трех последовательных стадий, сопровождающихся рекристаллизацией продуктов гидратации [4]. Первоначально, т. е. на первых двух стадиях, образуются соединения, имеющие псевдогексагональную кристаллическую решетку. На третьей стадии формируется кубическая решетка, что сопровождается значительным уменьшением механической прочности материала. Причем на образование кубической формы очень сильное влияние оказывает температура; при нормальной температуре (не более $20-25^\circ C$) процесс протекает очень медленно и измеряется годами; при температуре $30-35^\circ C$ и выше он многократно ускоряется и исчисляется сутками и даже часами. Такое превращение кристаллической решетки означает существенное уменьшение в формуле (1) коэффициентов c и d (не менее чем в 2 раза [4]) и приводит к отмеченному выше изменению характера зависимостей (рис. 1) в соответствии с долей компонентов C_3A и C_4AF в цементе.

Для практического использования полученных результатов (рис. 1) их удобно представить в трехмерной системе координат в виде поверхности $R_{сут} = f(T_{изот}, \Delta t_{изот})$ (рис. 2).

Там же показана горизонтальная плоскость, расположенная на уровне $R_{отп}$, которая пересекает поверхность экспериментальных значений $R_{сут} = f(T_{изот}, \Delta t_{изот})$. Графическим способом была получена область пересечения этих поверхностей и ее проекция на горизонтальную координатную плоскость (рис. 2). Полученная область значений соответствует допустимым сочетаниям

параметров изотермической стадии $T_{изот}$ и $\Delta t_{изот}$, при которых поверхность $R_{сут} = f(T_{изот}, \Delta t_{изот})$ располагается выше плоскости $R_{отп}$, т. е. достигается требуемый результат электротепловой обработки бетона – его суточная прочность имеет величину не ниже отпускной $R_{сут} \geq R_{отп}$. Следует иметь в виду, что полученная область допустимых параметров по величине $\Delta t_{изот}$ ограничена максимальным значением этого параметра, использованным в экспериментах.

Полученная область допустимых сочетаний параметров изотермической выдержки является основой для последующего и окончательного выбора $T_{изот}$ и $\Delta t_{изот}$. Из рис. 2 видно, что при температуре изотермической стадии свыше $75^\circ C$ минимальная длительность составляет менее одного часа, т. е. имеет сравнительно малую величину. Это означает, что существует возможность применения электротепловой обработки в сочетании с выдерживанием обрабатываемого изделия после его разогрева до требуемой температуры. В этом случае источник питания технологической установки будет использоваться только на стадии нагревания, т. е. сравнительно непродолжительное время, а затем переключаться на следующее изделие. После стадии нагревания последует стадия охлаждения с требуемой и небольшой скоростью снижения температуры, которую можно обеспечить применением соответствующей теплоизоляции. Одновременно благодаря однородному выделению тепла в объеме бетона при пропускании через него электрического тока [1, 3] можно в несколько раз сократить продолжительность стадии нагревания. Это позволит достичь максимальной эффективности использования технологического оборудования и высоких технико-экономических показателей электротепловой обработки.

Для создания такого технологического процесса требуются дополнительные исследования и разработка математической модели набора прочности бетоном при электротепловой обработке с учетом интегрального воздействия повышенной температуры при заданном законе ее изменения во времени.

Таким образом, установлено, что существует достаточно обширная область допустимых сочетаний температуры $T_{изот}$ и длительности изотермической стадии $\Delta t_{изот}$ электротепловой обработки, при которых достигается требуемый результат: суточная прочность бетона оказывается не ниже отпускной.

Полученные результаты открывают возможность оптимизации электротепловой обработки бетона и разработки эффективных технологических процессов такой обработки, например с существенным сокращением стадии нагревания и термосным выдерживанием изделий после электроразогрева.

Список литературы

1. Федосов С.В., Бобылев В.И., Митькин Ю.А., Соколов А.М. Исследование параметров электротепловой обработки бетона токами различной частоты // Строит. материалы. 2009. № 5. С. 51–53.
2. Афанасьев А.А. Бетонные работы. М.: Высшая школа, 1991. 288 с.
3. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях/ Под ред. Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна, А.И. Звездова. М.: НИИЖБ, 2005. 275 с.
4. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона. М.: Гос. изд-во лит-ры по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. 530 с.
5. Козлова В.К., Ильевский Ю.А., Карнова Ю.В. Продукты гидратации кальциево-силикатных фаз цемента и смешанных вяжущих веществ. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. 186 с.

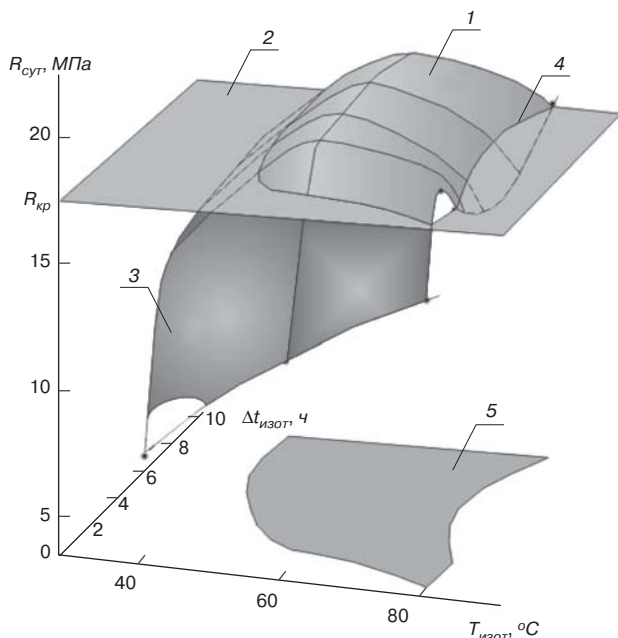


Рис. 2. Зависимость суточной прочности бетона от температуры и длительности изотермической стадии: 1 – участок поверхности $R_{сут} = f(T_{изот}, \Delta t_{изот}) \geq R_{отп}$; 2 – горизонтальная плоскость на уровне $R_{отп}$; 3 – участок поверхности $R_{сут} = f(T_{изот}, \Delta t_{изот}) < R_{отп}$; 4 – линия пересечения поверхностей; 5 – область допустимых сочетаний $T_{изот}$ и $\Delta t_{изот}$

В.И. КАЛАШНИКОВ, д-р техн. наук, советник РААСН,
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

От практики к теории, а от теории к практике, или Ответ на полемические заметки (№ 2–2009 г.)

Полностью согласен с А.В. Ушеровым-Маршаком [1], который высказался о пользе дискуссий в научных журналах между учеными, и понимаю, что в спорах, в научной полемике рождается истина. Но прогресс науки и техники – это постоянное сочетание теории и практики. На основании объективных практических результатов можно создать гипотезу, и последняя только тогда может превратиться в теорию, когда ни один практический результат, скажем, из 1000, не сможет опровергнуть ее.

Наша полемика с С.С. Каприеловым возникла из-за моих сомнений в возможности получения бетонной смеси с осадкой конуса (ОК) 20–22 см, включающей 300 кг/м³ цемента, 45 кг модификатора МБ 01 (15% массы цемента), щебень и песок для бетона с В/Ц=0,45, который через 28 сут твердения имеет прочность 65 МПа. Они были опубликованы в статье [2].

В статье С.С. Каприелова [3] и в рекламном проспекте «Модификатор МБ-01» был еще один состав бетонной смеси с расходом цемента 300 кг/м³, но с меньшим количеством добавки МБ-01, а именно 30 кг/м³ (10% массы цемента), вызывающий большие сомнения в возможности достижения ОК = 20–22 см без значительного расслоения и неоднородности бетонной смеси в конструкции по высоте бетонирования. В связи с этим меня не убедило в своей правоте содержание полемических заметок С.С. Каприелова, в которых была сделана некорректная (по существу дискуссии) ссылка на свою публикацию [4] о получении бетонов аналогичного класса и выше якобы с еще меньшим расходом цемента. Акцентирую внимание, что мои замечания касались бетона с расходом цемента 300 кг/м³. Меня не убедило то, что автор направляет меня к содержанию статьи [4], где приведены составы бетона с прочностью 60–65 МПа и более высокого класса при расходе цемента менее 350 кг/м³. В действительности в статье [4] представлены составы с большим расходом цемента 330–380 кг/м³ и с повышенным содержанием добавки МБ-01 до 85 кг/м³, с диапазоном прочности в пределах 40–58 МПа. Поэтому я обязан продолжить полемику и ответить на критические замечания коллеги по поводу предложенного некорректного, по его мнению, метода расчета состава особо высокопрочных самоуплотняющихся бетонов с запредельным, как указывает коллега, расходом цемента, с возможными повышенными деформативными характеристиками и экзотермией. Думаю, что она будет полезна специалистам-производственникам и ученым-материаловедам потому, что затрагивает составы, реологические и технологические свойства бетонных смесей, прочностные показатели бетона не только классов В40–В110, но и оптимальные составы особо высокопрочного бетона класса В120 и выше с каменной мукой, т. е. бетона будущего. После проведения большой серии экспериментов разработаны

составы бетона нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности, не превышающим 4,5 кг/МПа и уменьшающимся для отдельных марок бетона до 3,5–3,8 кг/МПа. Считаю, что этот забытый критерий технико-экономической оценки должен быть использован для сравнения бетона разных классов. Тогда бетон с прочностью при сжатии 150–170 МПа и запредельным расходом цемента 600–650 кг/м³ по критерию удельного расхода цемента, равного 3,5–4 кг/МПа, становится более экономичным по сравнению с бетоном прочностью 100 МПа и расходом цемента 500 кг/м³ [5].

Теперь по существу ответа на полемические заметки.

Рассмотрим состав, который вызывает еще большие сомнения в возможности получения ОК = 20–22 см. Он имеет прочность 50 МПа, расход цемента 300 кг и модификатора МБ-01 10% массы цемента, то есть 30 кг/м³ его в бетоне.

Другие составы [3] с расходом цемента 400 кг/м³ и с добавкой 15% модификатора МБ-01-10 не вызывают сомнений, так как из них были получены бетонные смеси с меньшей осадкой конуса: 18–20 см для бетона с расходом цемента 400 кг/м³ и 16–18 см для бетона с 480 кг/м³ цемента.

Содержание щебня и песка, их вида и качества в составах с расходом цемента 300 кг/м³ в статье не было указано. Скорее всего использовали качественный песок и щебень, с тем чтобы получить прочность через 28 сут 50 и 65 МПа соответственно.

Состав с расходом цемента 300 кг/м³ и 30 кг/м³ модификатора МБ-01 (10% массы цемента) при В/Ц=0,45 имел расход воды 135 л. Рассчитаем состав бетонной смеси с учетом минимального содержания вовлеченного воздуха 2%. Если исходить из рецептуры тяжелого бетона и общеизвестных данных о плотности тяжелого бетона, то плотность рассматриваемого бетона в сухом состоянии должна быть 2350–2400 кг/м³. Если вместо гранита использовать более тяжелые заполнители – плотный базальт, габбро, габбро-диабаз, то плотность могла быть 2450–2500 кг/м³. Если предположить, что в бетоне использовали не тяжелые заполнители для получения бетона с $R_{сж}=50$ –65 МПа, а обычный гранит или плотный известняк с истинной плотностью 2700 кг/м³, то содержание сухих компонентов должно быть 2250–2300 кг/м³. Меньше их не может быть. Это связано с тем, что плотность сухого бетона слитной структуры равна сумме масс сухих компонентов, количества химически связанной воды в цементе и зависит от коэффициента уплотнения. Если принять, что в бетоне за 28 сут твердения цемент гидратировался на 75% (это маловероятно, примем это значение в пользу коллеги, чтобы констатировать, что бетон получился действительно тяжелым), то масса бетонной смеси должна возрасти по сравнению с массой сухих компонентов на 54 кг

(300·0,24·0,75=54 кг). Тогда масса затвердевшего сухого бетона будет 2304–2354 кг при массе бетонной смеси 2395–2445 кг. Для расчетов примем более вероятное значение массы бетонной смеси, равное 2445 кг, при которой масса сухих компонентов будет 2300 кг. Определим состав бетона, принимая соотношение между цементом и песком 1:2,5. Тогда количество песка (П) будет 750 кг, количество щебня (Щ) 1220 кг (2300–300–30–750=1220 кг), сумма песка и щебня – 1970 кг, состав бетона: Ц=300; МБ-01=30; П=750; Щ=1220 кг/м³.

Абсолютные объемы компонентов смеси: $V_{Ц}=96,8$; $V_{МБ}=13$; $V_{П}=283$; $V_{Щ}=452$; $V_{В}=135$ л. Объем бетонной смеси 980 л, а с учетом 20 л вовлеченного воздуха – 1000 л.

В связи с высоким содержанием песка и щебня в бетонной смеси возникли большие сомнения в ее пластичности. Имея достаточные представления о фундаментальной реологии водно-дисперсных систем и большой опыт изучения реологических свойств цементных систем и бетонных смесей [например, 6], я усомнился в возможности получения таких бетонных смесей с ОК = 20–22 см как с повышенным количеством модификатора (45 кг/м³), так и с пониженным (30 кг/м³).

Реологическую функцию (функцию течения) в бетонах с суперпластификаторами несет водно-дисперсная фаза, и она не случайно названа реологической матрицей. Реологические свойства таких предельно разжиженных дисперсных систем предопределяются агрегативной устойчивостью частиц дисперсии в водной фазе. Коллега сомневается в том, что составы всех самоуплотняющихся смесей могут рассчитываться с учетом наличия в их составе реологических матриц, и в первую очередь водно-цементно-дисперсной, а через нее водно-цементно-песчаной. Песок и щебень являются дискретными включениями в теле непрерывной реологической матрицы. Доля ее в рассматриваемом бетоне очень мала. Это связано с тем, что указанные выше бетоны по содержанию цемента относятся к тощим, так как соотношение между массой заполнителей и цемента более 6 (в приведенном составе 6,6). Если считать, что использовано композиционное вяжущее из цемента и высокодисперсной добавки МБ-01, и это правомерно, то получится бетонная смесь, близкая к тощей смеси: $(Щ+П)/(Ц+МБ)=6$.

Недостаток объема водно-дисперсной матрицы, состоящей из воды, цемента и МБ-01, подтверждается другим расчетом. Примем насыпную плотность смеси песка и щебня в уплотненном состоянии равной 2000 кг/м³. Из значения абсолютной плотности песка и щебня 2700 кг/м³ определим пустотность $П = (1-2000/2700) \cdot 100$.

В связи с тем, что масса песка и щебня равна 1970 кг, пустотность песчано-щебеночной смеси практически не меняется: $П_m = (1970/2000) \cdot 26 = 25,6\%$, а объем пустот составит 256 л.

Объем водно-дисперсной матрицы с учетом вовлеченного воздуха $V_{вд} = 96,8 + 13 + 135 + 20 = 265$ л.

Таким образом, объем водно-цементно-микроремнеземистой смеси практически равен объему пустот в песке и щебне. Никакой раздвижки зерен песка реологическим телом не происходит. Но независимо от этого реологическая матрица всегда расходует на образование прослоек на заполнителе. Тогда в бетоне с недостатком цементного теста должна появиться межзерновая пустотность, не заполненная водно-дисперсной матрицей. О какой слитности структуры бетона можно говорить в этом случае? За счет чего должно ликвидироваться трение между частицами песка и щебня? Совершенно очевидно, что бетонная смесь по составу не может быть высокоподвижной со значительной ОК =

20–22 см, а если достижение ее связано с увеличением расхода воды, то смесь будет расслаиваться. Даже в классических методах расчета состава плотноупакованных тяжелых бетонов [7] введен коэффициент раздвижки зерен щебня, равный 1,1–1,4 в зависимости от проектной подвижности бетонной смеси. Этот принцип также незыблем для любых пластичных, высокопластичных и самоуплотняющихся бетонов. И он реализуется в других составах бетона С.С. Каприелова [4]. Именно с этих позиций нами разработан расчетно-экспериментальный метод подбора состава самоуплотняющейся высокопластичной бетонной смеси особо высокопрочного бетона, который пригоден для проектирования состава высокопластичных смесей бетона более низких марок. Для расчетов введено два основных структурно-реологических критерия: избытка объема водно-песчаной смеси (реологической матрицы первого рода) над абсолютным объемом песка $I_{вд}^I = V_{вд}/V_{П}$ и избытка объема водно-дисперсной смеси (реологической матрицы второго рода) над абсолютным объемом щебня $I_{вд}^{II} = (V_{вд} + V_{П})/V_{Щ}$. Оценим величину этих критериев для рассмотренного состава:

$$I_{вд}^I = (96,8 + 13 + 135) / 283 = 0,86 ; I_{вд}^{II} = 528 / 452 = 1,17 .$$

С учетом 20 л вовлеченного воздуха эти критерии соответственно равны 0,94 и 1,21.

Приведенные критерии свидетельствуют о дефиците водно-дисперсной смеси и малом содержании сложного цементно-песчаного раствора в бетонной смеси с расходом 300 кг цемента, 30 кг МБ-01 и ОК=20–22 см с прочностью 50 МПа. Хотя показатель прочности не так важен, если речь идет о реологии.

Для состава с расходом 300 кг цемента, но с 45 кг МБ-01 при том же В/Ц, по которому я сделал критические замечания в [2], коллегой получено такое же значение ОК = 20–22 см, но прочность возросла на 15 МПа и стала 65 МПа. В такой бетонной смеси содержание водно-цементно-микроремнеземистой дисперсии составляло 250 л. Если учесть 2% (20 л) вовлеченного воздуха, структурно-реологические критерии были близкими к вышевычисленным критериям: $I_{вд}^I = 1,1$; $I_{вд}^{II} = 1,05$.

Автор полемических замечаний делает замечание, что я свои выводы сделал, не зная вида и марки цемента, марки модификатора МБ-01. Что касается марки цемента то считаю, что для бетона с $R_{сж} = 50–65$ МПа не может быть использован цемент ПЦ400 с расходом 300 кг/м³. Не сомневаюсь, что был использован цемент более высоких марок, возможно, ПЦ500 или даже ПЦ550. Но для реологии (чему посвящена полемика) важна не марка цемента, а высокая реологическая активность (наибольшая текучесть) цемента в системе с СП. Если говорить о модификаторе МБ-01, то можно не сомневаться в том, что использовали разновидность его с максимальным содержанием суперпластификатора, чтобы получить высокую пластичность смеси. Коллега, защищая высокие реологические показатели тощих бетонных смесей и значительную прочность бетона, пытается оправдать их тем, что в публикации не указаны дополнительные компоненты бетона, с помощью которых могли быть достигнуты позитивные результаты: «...однако не дана информация о других компонентах и их качественных характеристиках. Это было сделано преднамеренно, не только потому, что такая информация не вписывалась в контекст той публикации, но и в связи с тем, что четыре года назад она была предметом ноу-хау».

С учетом этого дополнения можно было бы не продолжать дискуссию. Она не могла бы состояться вообще, если бы автор в своей статье прокомментировал, что в состав бетона входили и другие компоненты, но их вид и количество является предметом ноу-хау. Достаточно нескольких поясняющих слов в статье, и не

было бы полемики, можно было бы считать, что именно эти дополнительные компоненты в совокупности с МБ-01 позволили обеспечить ОК = 20–22 см. Но автор заметок вынуждает меня продолжить дискуссию, ссылаясь на работу [4], в которой необходимого значения прочности бетона, равного 65 МПа при расходе цемента 300 кг/м³, нет.

Несмотря на это, автор пишет: «...с расходом цемента ПЦ500Д0, равным 300 кг/м³, модификатора МБ 12-01, разновидностью МБ-01 с повышенным расходом СП, равным 30 и 45 кг/м³, можно получить (Курсив мой. – В. К.) смесь с ОК=20–22 см, если иметь в виду, что в их состав вводится микронаполнитель – дисперсный минеральный порошок (молотый известняк) в количестве 60–70 кг/м³ (это уже дополнительная часть реологической матрицы!) и газообразующая кремнийорганическая эмульсия КЭ 30-04, обладающая способностью не только повышать пористость цементной системы, но и пластифицировать ее». В таком случае объем реологической матрицы в подвергнутых критике смесях с расходом цемента 300 кг/м³ составит 0,285–0,295 м³, а не 0,25 м³. Увеличение объема реологической матрицы на 45 л за счет объема введенного известнякового порошка в количестве 26 л и 19 л вовлеченного воздуха должно неизбежно привести к снижению прочности. Дополнительные компоненты, вероятно, есть те ноу-хау, которые сделали смеси более подвижными. Почему же в цитатах звучит возможность получения «можно получить» или «если иметь в виду, что в их состав вводятся», а не утверждение «при введении этих добавок были получены смеси» с ОК=20–22 и R_{сж}=50 и 65 МПа? В статье [4] состав таких бетонов не приведен.

Полезно представить в табл. 2 из [4] рассчитанные нами реологические критерии (см. таблицу), для того чтобы внести полную ясность в дискуссию, которая была посвящена бетону с расходом цемента 300 и расходом МБ-01 30 и 45 кг/м³.

В статье [4], важной и содержательной для дискуссии, представлено много составов бетона, но нет ни одного с расходом цемента 300 кг/м³ и прочностью хотя бы 50 МПа. В ней приведены составы бетонных смесей с расходом цемента 330–380 кг/м³, модификатора 14–25%

массы цемента, имеются составы с минеральным дисперсным порошком и эмульсией КЭ30-04. Но в пяти составах из восьми [4], в которых нет ни минерального порошка, ни эмульсии, прочность не превышает 61 МПа. Бетон с расходом цемента 380 кг/м³ и модификатора МБ-10-100С 40 кг/м³ наиболее жирный. Подсчитаем объем водно-цементно-микрокремнеземистой смеси: V_ц=380/3,1=125,6; V_{мб}=40/2,3=17,4; V_в=170 итого 313 л. Содержание реологической матрицы возросло, но осадка конуса осталась прежней 20–22 см, как у бетона с расходом цемента 300 кг/м³ с добавкой МБ-01 45 кг/м³. Прочность не превышала 58 МПа. В этом бетоне содержание сухих компонентов было самым низким – 2160 кг/м³, плотность абсолютно сухого бетона при расчете по методу абсолютных объемов 2220 кг/м³.

Во втором, третьем, четвертом и пятом составах [4] с расходом цемента и МБ-10-50 соответственно 350 и 50 кг/м³ объем реологической матрицы находится в пределах 290–305 л, осадка конуса 22–26 см, а прочность 46–61 МПа, что опять же ниже, чем при расходе цемента 300 кг/м³ и модификатора 45 кг/м³. Во всех составах, кроме одного (6-й состав, участок 13(A2) структурно-топологические критерии были в пределах I_{вд}^{II}=0,85–1 и I_{вдп}^{III}=1,74–1,82. 6-й состав вызывает наибольший интерес. В нем максимальный расход модификатора (85 кг/м³) и дополнительно введен минеральный порошок (известняковая мука) в количестве 150 л. В этом составе содержится максимальное количество водно-дисперсной смеси – 357,5 л при пониженном содержании щебня и песка. В бетонной смеси увеличились прослойки дисперсной реологической матрицы между частицами песка и прослойками водно-песчаной смеси (цементного раствора) между зернами щебня. Критерий I_{вд}^{II} в этом составе стал равным 1,18 и увеличился на 18–37% по сравнению с такими критериями в бетонах с более тощими составами. Среднее расчетное условно-статистическое расстояние между частицами песка, вычисленное по формуле из [6], возросло на 14%. Критерий I_{вдп}^{III} (аналог коэффициента раздвижки зерен щебня) стал 2,09 и возрос на 13–20% по сравнению с другими составами. Среднее статистическое расстояние между зернами щебня близкое к реальному увеличилось на

Класс бетона	Состав бетонных смесей, кг/м ³							Подвижность бетонной смеси (ОК), см	Требуемая прочность, МПа	Диапазон прочности бетона, МПа по образцам-кубам в возрасте 28 сут	Реологические критерии ****	
	Цемент	МБ	Песок	Щебень	Вода	Минеральный порошок	Эмульсия КЭ30-04				I _{вд} ^{II}	I _{вдп} ^{III}
В40	380*	40**	820	920	170	–	–	20–22	46	40–58	1	1,82
В40	350*	50	850	920	170	–	–	20–24	46	49–58	0,95	1,87
В40	350	50	880	950	155	–	–	20–26	46	49–58	0,87	1,77
В40	350	50	880	950	155	–	–	20–26	46	47–57	0,87	1,77
В40	350*	50	880	950	155	–	–	20–26	46	46–61	0,87	1,77
В50***	330	75	880	950	150	–	–	20–26	57	60–69	0,85	1,74
	330	85	800	850	165	150	–	28	57	57–68	1,18	2,09
В50	330	75	880	950	150	–	0,3	20–26	57	58–73	0,85	1,75

* Использовался портландцемент ПЦ500Д0. Во всех остальных случаях использовался портландцемент ПЦ500Д20.

** Использовался модификатор МБ10-100С. Во всех остальных случаях использовался модификатор МБ10-50С.

*** Жирным шрифтом указаны характеристики самоуплотняющегося бетона (расплыв конуса >65 см).

21,4%. Важно то, что в составе 6 при расходе цемента 330 кг/м^3 получилась самоуплотняющаяся бетонная смесь с осадкой конуса 28 см за счет раздвижки зерен щебня, чего не было в других составах. Это первое подтверждение правоты утверждения, что с ростом критериев $I_{\text{вд}}^I$ и $I_{\text{вдл}}^{III}$ увеличивается подвижность бетонных смесей. Нарушение закономерности в составах 1 и 2 может быть связано с использованием шлакопортландцемента и иной модификации МБ.

Из проведенного анализа результатов осведомленному специалисту надо сомневаться, что бетон может производиться из смесей с осадкой конуса 20–22 см при расходе цемента 300 кг/м^3 , если в них ввести лишь $30\text{--}45 \text{ кг/м}^3$ модификатора, 50 кг/м^3 молотого известняка и эмульси. КЭ30-04. Но указанную осадку конуса можно получить при условии добавления каменной муки, так как высокая реология — это повышенный объем реологической матрицы, следовательно, повышенные значения критериев $I_{\text{вд}}^I$ и $I_{\text{вдл}}^{III}$. Вместе с этим реализуется более дискретное распределение частиц песка в водно-дисперсной матрице (плавающее расположение частиц), а также более дискретное распределение зерен щебня в дисперсно-песчаной матрице (плавающее расположение зерен). Все эти топологические параметры и расстояния между частицами песка и щебня рассчитываются достаточно точно при узкой гранулометрии песка и щебня [6], что подтверждается макро- и микроскопическими измерениями. Добавление каменной, лучше кварцевой, муки и очень мелкого песка (фракции $0,1\text{--}0,6 \text{ мм}$) (кроме микрокремнезема) как компонентов пластифицированной реологической матрицы — это новая концепция создания высокоэффективного общестроительного и высокопрочного щебеночного бетона, в том числе малоцементного (тощего), с добавлением соизмеримого с массой цемента количества каменной муки. И я уверен, будущее докажет это утверждение.

Но С.С. Каприелов сомневается в достоверности разработанного метода расчета состава и топологии самоуплотняющихся бетонных смесей для сверхпрочного бетона [3].

В связи с этим замечу, что реология самоуплотняющихся смесей является одним из основных параметров для получения особо высокопрочного бетона. К сожалению, фундаментальные реологические параметры — вязкость и предельное напряжение сдвига не используются в теории определения состава бетона. В формулы прочности входит параметр содержания воды (водоцементное отношение), который определяет такие технологические характеристики, как подвижность и жесткость бетонных смесей. Поэтому все методы подбора состава бетонных смесей являются расчетно-экспериментальными. Рассчитанный состав корректируют изготовлением нескольких составов бетона с разным водоцементным отношением и определением осадки конуса или расплыва смеси.

Таким образом, ни предел текучести, ни вязкость не используют ни в отечественной, ни в зарубежной производственной практике, хотя значения их известны ученым материаловедам.

Разработана концепция создания пластифицированного бетона нового поколения, основанная на использовании каменной муки и очень мелкого песка фракции $0,1\text{--}0,6 \text{ мм}$. Эти компоненты формируют наиболее подвижную реологическую матрицу из смеси с цементом и микрокремнеземом (МК) или без МК для самоуплотняющегося высокопрочного бетона с низким удельным расходом цемента на единицу прочности ($3,5\text{--}4,5 \text{ кг/МПа}$). Как оказалось, в наибольшей степени она приемлема для получения широко распространенного бетона классов В15–В50 из пластичных и жестких бетонных смесей.

Такой бетон создан на основе радикального изменения структурной топологии бетонных смесей. Последняя предусматривает оптимальное значение критериев реологической матрицы не только в высокопрочном самоуплотняющемся бетоне, но и в бетоне из уплотняемых вибрацией бетонных смесей. Высокопрочный бетон, который соответствует нашей концепции, имеет прочность $120\text{--}150 \text{ МПа}$ и выше. Особенностью щебеночного бетона марок М600–1200 является то, что расход цемента в нем находится в пределах $330\text{--}480 \text{ кг/м}^3$. Важно то, что при оптимальном содержании молотого кварцевого песка и очень мелкого песка и исключения из состава микрокремнезема, получен бетон с прочностью при сжатии $95\text{--}105 \text{ МПа}$ (в пересчете на прочность стандартных образцов-кубов $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}$). Можно ли получить суперпластифицированный бетон такой прочности из составов, разработанных коллегой, если исключить из них микрокремнезем? Думаю, нет. Можно ли получить без каменной муки и очень мелкого песка с добавкой $5\text{--}6\%$ микрокремнезема бетон прочностью $35\text{--}65 \text{ МПа}$ при расходе цемента $150\text{--}230 \text{ кг/м}^3$? Такой малоцементный бетон из пластичных смесей с удельным расходом цемента $4\text{--}5 \text{ кг/МПа}$, по нашим сведениям, пока не получен.

Далее автор полемических заметок сомневается в качестве особо высокопрочного бетона с высоким расходом цемента. Во-первых, бетон, на который ссылается коллега [5] не аналогичен особо высокопрочному. Он имеет прочность $99\text{--}106 \text{ МПа}$. А высокопрочный бетон, о котором говорят авторы концепции, имеет прочность $120\text{--}150 \text{ МПа}$ и выше. Получить такой бетон при расходе цемента 500 кг/м^3 с использованием хорошего среднего или крупного песка, щебня и добавки МБ невозможно. Для него, как следует из результатов испытаний, приведенных в [5], предельной является прочность при сжатии 106 МПа . Думаю, едва ли будет достигнута прочность 120 МПа при расходе цемента в количестве 500 кг/м^3 , добавки МБ 150 кг/м^3 и минерального порошка $50\text{--}100 \text{ кг/м}^3$. Она не была достигнута при расходе цемента $520\text{--}550 \text{ кг/м}^3$ с добавлением $100\text{--}110 \text{ кг/м}^3$ МБ ($R_{\text{сж}}=120 \text{ МПа}$).

Для получения особо высокопрочных самоуплотняющихся бетонов необходимо значительное количество реакционно-активной кварцевой муки (а не известняковой) в количестве $25\text{--}50\%$ массы цемента. Улучшает реологию и способствует снижению расхода МК или его исключению использование очень тонкого кварцевого песка фракции $0,1\text{--}0,6 \text{ мм}$.

С расходом цемента $609\text{--}616 \text{ кг/м}^3$ немецкая компания Dycckerhoff AG изготавливает бетоны без МК с молотым и очень мелким кварцевым песком прочностью $95\text{--}155 \text{ МПа}$ [8].

Если говорить о физико-механических и гигрометрических свойствах особо высокопрочного бетона марок $1200\text{--}1500$ на обычном цементе, то они значительно лучше, чем у бетона марок $900\text{--}1000$. Модуль упругости их находится в пределах $(4,7\text{--}5,2) \cdot 10^4 \text{ МПа}$, усадка $0,25\text{--}0,35 \text{ мм/м}$, водопоглощение $1\text{--}2\%$ через 28 сут твердения и уменьшается через 1–2 года до $0,3\text{--}0,6\%$; морозостойкость более 1000 циклов.

Таким образом, особо высокопрочный бетон обладает уникальными свойствами и имеет индивидуальные особенности. В связи с этим общие методы к ним неприменимы. Здесь уместно привести тезис Г. Робинсона: «Занимаясь той или иной проблемой, лучше исходить из ее индивидуальных особенностей, чем полагаться на общие методы». А индивидуальных особенностей у особо высокопрочного самоуплотняющегося бетона несколько. Во-первых, высокая прочность при сжатии ($120\text{--}190 \text{ МПа}$), а при использовании дисперсного армирования прочность при осевом растяжении достигает

10–15 МПа, при растяжении при изгибе 40–50 МПа. Во-вторых, сверхнизкое водопоглощение 0,5–0,9 мас.% обуславливает высокую коррозионную стойкость. В-третьих, самоуплотняемость, т. е. коэффициент уплотнения бетонной смеси, достигает 0,97–0,98 за счет стокового всплывания пузырьков воздуха. Остаточное недоуплотнение связано с наличием мелких пузырьков воздуха. Рациональная реология бетонной смеси – одна из важных индивидуальных особенностей, когда предел текучести водно-дисперсной фазы (вода, цемент, микрокремнезем, дисперсный минеральный порошок, суперпластификатор) имеет предельное напряжение сдвигу 5–10 Па (лишь в 10–15 раз выше, чем у высококачественных масляных и синтетических красок). В-четвертых, особая структура бетонной смеси со значительным объемом водно-дисперсной фазы. Исходя из фундаментальных положений физикохимии водно-минеральных дисперсных систем только тонкодисперсные порошки способны обеспечить течение композитных систем и служить реологической матрицей.

Я не умаляю достижений С.С. Каприелова и его коллег, которые впервые разработали и использовали в России высокопрочный бетон марок М900–1000 МПа в уникальных сооружениях ММДЦ «Москва-Сити». Но, заканчивая статью и считая себя специалистом в области реологических свойств водно-дисперсных минеральных систем и бетонных смесей, смотрю в будущее. Россия перейдет от железобетона к использованию особо высокопрочного бетона марок 1300–1500, так как их использование определяется экономикой строительства. Но этот переход может затянуться на многие годы, если не будут использованы принципы создания особо высокопрочных бетонов и бетонов марок 200–600 с каменной мукой с низким удельным расходом цемента на единицу прочности.

Список литературы

1. *Уиеров-Маршак А.В.* О научной полемике и не только. Письмо в редакцию // Строит. материалы. № 6. 2009. С. 65.
2. *Калашников В.И.* Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов // Строит. материалы. 2008. № 10. С. 4–6.
3. *Каприелов С.С.* Комплексные добавки в бетоны нового поколения: В кн. «Химические и минеральные добавки в бетон». Харьков: Колорит, 2005. С. 104–117.
4. *Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В.* Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва-Сити» // Строит. материалы. 2006. № 10. С. 13–19.
5. *Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В.* Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях // Строит. материалы. 2008. № 3. С. 9–13.
6. *Калашников В.И.* Обеспечение оптимальной топологии самоуплотняющихся бетонных смесей для высокопрочных бетонов: Materialy IV miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Naukowy potencjal swiata-2008». Тум 9. Techniczne nauki. Budownictwo I architektura. Matematyka. Fizyka. Przemysl: Nauka I stadia. S. 65–68.
7. *Баженов Ю.М., Комар А.Г.* Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: , 2002. 500 с.
8. *Дейзе Т., Хорнунг О., Мельман М.* Применение стандартных цементов в практике производства бетонов со сверхвысокими эксплуатационными свойствами // Бетонный завод. 2009. № 3. С. 4–11.

ООО «ДОРЭКСПЕРТ»

В 2010 г. готовится издание справочной энциклопедии «**Производственные предприятия дорожного строительства**» под редакцией *проф. В.В. Силкина*.

Энциклопедия рассчитана на широкий круг инженерно-технических работников дорожного хозяйства, а также для подготовки студентов автодорожных и строительных вузов.

В справочной энциклопедии возможно размещение рекламы производителей асфальтосмесительных установок, установок для приготовления битумных эмульсий и полимерно-битумных вяжущих, агрегатов для дробления и сортировки материалов, фронтальных погрузчиков, автомобильных кранов и другого отечественного и зарубежного оборудования.

Заявки на размещение рекламы направлять:

по тел./факсу: (495) 359-55-20

e-mail: dorexper@yandex.ru

Справки по телефону (495) 359-74-38; 8-916-592-83-07

Реклама

Опыт создания производства стеновых блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения на заводах силикатного кирпича

По материалам ЗАО «Корпорация стройматериалов», Воронежского, Марийского, Ковровского, Навашинского, Череповецкого заводов силикатного кирпича

В последние годы все большее внимание специалистов обращается на применение комплексных архитектурно-проектных и инженерных решений, обеспечивающих высокую энергоэффективность. В этой сфере разрабатываются программы по реализации инвестиционных проектов, в том числе по малоэтажному жилищному строительству [1].

Как известно, для малоэтажного строительства требуется мелкоштучный стеновой материал. Наиболее целесообразно использовать для этой цели блоки из ячеистого бетона ввиду их высокой эффективности. Применение блоков для возведения однослойной стены позволяет не только уменьшить массу стены, но и снизить трудоемкость строительства и затраты на материалы [2].

За последние десять лет в РФ спрос строителей на стеновые блоки из ячеистого бетона постоянно повышается. Это объясняется экономической целесообразностью использования их в строительстве для возведения наружных стен с целью повышения эффективности зданий за счет уменьшения теплопотерь. Конструкция наружных стен из блоков ячеистого бетона может быть однослойной вместо многослойных из других материалов. Однослойные стены по критерию приведенных затрат обладают существенными преимуществами в сравнении с наиболее распространенными конструкциями наружных стен из других материалов [3], так как их сопротивление теплопередаче по сравнению с другими применяемыми конструкциями является минимальным и оно может быть установлено для соответствующих регионов на 22–30% ниже регламентированных СНиП II-3–79* [4].

В настоящее время удовлетворенность спроса на блоки в РФ составляет примерно 30%. Создающийся дефицит устраняется привозными блоками из Республики Беларусь, где их производство на 1 тыс. чел. населения значительно превышает этот показатель в России [5].

Блоки ячеисто-бетонные автоклавного твердения рекомендуются применять в несущих стенах зданий высотой до 5 этажей включительно, но не более 20 м, в самонесущих – до 9 этажей включительно, но не более 35 м. Этажность зданий, в которых применяются блоки для заполнения каркаса или ненесущих (навесных) стен, не ограничивается [5]. С увеличением объемов строительства зданий каркасного типа повысилась потребность в блоках из ячеистого бетона марок D400 и D500. В ближайшее десятилетие наружные стены зданий такого типа будут возводиться из блоков более низких марок по плотности, но отличающихся от современных большей прочностью и меньшей хрупкостью.

Наблюдающийся повышенный спрос на ячеисто-бетонные блоки и недостаточная обеспеченность рынка становятся стимулом для создания новых производств этого эффективного стенового материала. Поэтому темпы увеличения объемов выпуска блоков в РФ являются наиболее высокими среди темпов прироста других строительных материалов. Увеличение объемов произ-

водства ячеисто-бетонных блоков происходит как за счет строительства новых предприятий с использованием импортного оборудования [6], так и реконструкции и модернизации цехов силикатного кирпича [7, 8, 9]. В настоящее время этот вопрос становится еще более актуальным, так как на отдельных заводах сокращается объем выпуска кирпича, устаревает оборудование для его производства, высвобождаются производственные площади и часть технологического оборудования.

При создании линий для производства блоков автоклавного газобетона на заводах силикатного кирпича благодаря «родственности» их технологий экономия складывается за счет использования существующей заводской инфраструктуры, склада сырья и материалов, отделений их приема и подготовки, транспортного оборудования, автоклавов и склада готовой продукции.

Опыт работы по созданию технологических линий мощностью 20, 40 и 80 тыс. м³ на заводах силикатного кирпича показал, что общая стоимость таких линий значительно ниже рыночной стоимости импортных линий в современных условиях.

При организации производства ячеисто-бетонных блоков на заводах силикатного кирпича наиболее предпочтительным является бесшламовый способ подготовки материалов, так как в существующих цехах наиболее часто отсутствует возможность организовать сушку песка, установить дополнительную мельницу и разместить шламбассейны.

Следует иметь в виду, что согласно ГОСТ 31359 и СН 277–80 для изготовления газобетонных блоков следует использовать известь негашеную кальциевую (ГОСТ 9179) быстро- и среднегасящуюся, имеющую скорость гашения 5–25 мин и содержащую активные СаО+MgO не менее 70%, при «пережоге» – не более 2%.

Однако практика показала, что силикатные заводы в основном используют известь с большим (10–15%) разбросом активности. Применение неоднородной извести в технологии ячеистого бетона не обеспечивает стабильности вспучивания массивов на заданную высоту, равномерности твердения сырца при выдержке на конвейере до распалубки и соответственно приводит к ухудшению показателей однородности и других физико-механических свойств бетона.

Исследования влияния сухого помола на физико-механические свойства автоклавного газобетона [10, 11] показали, что прочность бетона, изготовленного по этой технологии, существенно выше прочности бетона, полученного с использованием песчаного шлама. Поэтому при разработке технологии производства газобетонных блоков на заводах силикатного кирпича было необходимо предварительно разработать способ подготовки однородного вяжущего с оптимальными гидратационными характеристиками в условиях значительного разброса активности извести.

В условиях действующих заводов силикатного кирпича были изучены два варианта помола вяжущего: из дробленой извести и влажного песка, а также из известково-песчаной шихты силикатного кирпича с добавле-

нием влажного песка. Приготовленное по этим двум схемам вяжущее использовали для формирования образцов ячеистого бетона в условиях заводских лабораторий. Исследования показали, что при обеих схемах по мере изменениям массового соотношения компонентов удается регулировать гидратационные характеристики вяжущего в пределах, необходимых для технологии ячеистого бетона. Установлено, что характер вспучивания смеси, продолжительность твердения сырца и физико-механические показатели бетона существенно изменяются в зависимости от гидратационных характеристик вяжущего, а оптимальное значение температуры гашения вяжущего является индивидуальным для каждого вида извести, используемой на различных заводах.

Разработан способ усреднения вяжущего в силосе с подачей его на повторное перемешивание без использования сжатого воздуха и определены границы допустимого разброса гидратационных характеристик применительно к каждой извести.

При разработке технологических схем производства блоков учитывались особенности планировки производственных помещений и существующей технологии силикатного кирпича каждого завода, размеры свободных площадей для размещения оборудования, технические характеристики этажерок, возможность использования для новой технологии свободных бункеров и существующих трактов подачи материалов, подъемно-транспортного оборудования и т. д.

С учетом результатов исследований и выявленных особенностей заводов для каждого из них определены оптимальные размеры массивов (М1–М3), разработаны технологические схемы производства блоков, обеспечивающие совместную работу технологических линий силикатного кирпича и газобетонных блоков. Размеры массивов определены исходя из схемы их резки для выпуска блоков размером 588×300×188 мм. В табл. 1 приведены характеристики массивов.

При 320 рабочих днях в году расчетная годовая мощность технологических линий в три смены применительно к массивам М1, М2 и М3 составляет соответственно 20, 40 и 80 тыс м³.

В заводских технологиях ячеистого бетона по производству блоков длиной 588 мм высота формируемого массива составляет около 640 мм. Массив разрезается в трех взаимно перпендикулярных направлениях. В разрезанных массивах блоки ориентированы длинной осью вертикально. Массивы запаривают в автоклаве, устанавливая их в несколько ярусов по высоте. С увеличением высоты массива и сохранением ориентировки блока в массиве длинной осью в вертикальном направлении устойчивость блока ухудшается.

От способа разрезки зависит прочность сцепления («сращивания») блоков между собой после автоклавной обработки. При прочих равных условиях прочность сращивания пропорциональна площади контактирующих поверхностей блоков. Указанная поверхность блока при

резке после кантования массива более чем в два раза превышает площадь контактирующей поверхности блоков, изготовленных без кантования. При этом требуется большее усилие для разделения блоков. Для послышной разборки блоков кантованного массива используют специальную разделительную машину. Для разборки блоков некантованного массива, изготовленного при оптимальных технологических параметрах, разделительная машина не требуется, так как усилие разделения блоков, соприкасающихся между собой торцевыми поверхностями, существенно ниже. Они разъединяются путем применения распалубочного захвата.

С целью повышения производительности линии, сокращения производственных площадей для размещения форм и увеличения коэффициента заполнения автоклава для трех заводов была принята схема формирования массивов высотой 1270 мм, ориентируя блоки в массиве длинной осью вертикально и размещая блоки в два яруса, с последующей резкой на формовочном поддоне без кантования массива. С увеличением высоты массива повышается нагрузка на поддон, поэтому были разработаны и изготовлены новые конструкции поддонов, обеспечивающие необходимые значения по прогибу и жесткости, исключающие появление трещин, сколов, отломов массива при выполнении технологических операций.

В результате выполненных исследований установлены оптимальные технологические параметры резки массивов, обеспечивающие минимальные отклонения размеров блоков, разработаны упрощенные способы распалубки массива, облегчающие их послышное разделение на блоки с помощью распалубочного захвата, разработано выпрессовочное устройство, подобраны составы смазок, обеспечивающих минимальное сцепление опалубки с массивом. Это позволило значительно снизить трудоемкость операций по распалубке в сравнении с трудоемкостью при использовании форм с раскрывающимися бортами.

Для осуществления механизированной резки массивов по техническим требованиям «Корпорации стройматериалов» фирмой «Регион-Капитал» разработаны три модификации резательных машин и изготовлены четыре машины. Одна из них изготовлена в трехпостовом варианте для резки массива высотой 650 мм, две – в трехпостовом варианте для резки массива высотой 1290 мм и одна – в двухпостовом варианте для резки массива высотой 1290 мм. При трехпостовом варианте на первом посту осуществляется горизонтальная резка массива на трех уровнях по высоте. На втором посту осуществляется поперечно-вертикальная резка, на третьем – продольно-вертикальная. При двухпостовом варианте резательной машины на первом посту осуществляется горизонтальная резка массива на трех уровнях по высоте, на втором посту – совмещенная резка по высоте в продольном и поперечном направлениях.

Резку осуществляют металлическими струнами, качающимися с заданной частотой и амплитудой. Эффективность работы струн оценивали по шероховатости поверхностей блока. Изготовлено устройство для производства струн требуемой конструкции.

Для приготовления ячеисто-бетонной смеси по техническим требованиям корпорации Брянским заводом «Ирмаш» изготовлены смесители объемом 1,3 и 2 м³. Вариант смесителя объемом 1,3 м³ изготовлен для работы на одном посту. Смеситель объемом 2 м³ изготовлен в двух вариантах: один для стационарной работы на одном посту и другой – выезжающий по эстакаде к постам заливки массивов.

Разработано устройство для непрерывного контроля подвижности смеси в смесителе в процессе ее приготовления. Устройство позволило осуществить приготовле-

Таблица 1

Тип массива	Размеры массива в плане, мм: верх низ	Высота, мм	Объем массива до резки, м ³	Кол-во блоков в массиве, шт	Объем блоков в массиве, м ³
М1	1640×1240 1680×1280	640	1,33 (1,4)	32	1,06
М2	1370×1248 1442×1320	1270	2,29 (2,33)	56	1,86
М3	2700×1248 2772×1320	1270	4,46 (4,56)	112	3,71

ние смеси требуемой подвижности, что является необходимым условием для получения изделий со стабильными свойствами.

Первая технологическая линия для производства блоков создана на Марийском заводе силикатного кирпича (МЗСК) [12]. Годовая мощность линии составляет 20 тыс. м³. Высота формуемого массива 650 мм.

Технологическая часть проекта была разработана ЗАО «Корпорацией стройматериалов». Для разработки остальных частей проекта был привлечен местный проектный институт.

Конвейерная линия, состоящая из двух ветвей, установлена на свободном участке внутри цеха силикатного кирпича. Площадка примыкает к транспортному пути электропередаточного моста, транспортирующего вагонетки с силикатным кирпичом к автоклавам. Ветви конвейера объединяют с одной стороны передаточная тележка, а с другой – резательный комплекс с транспортной тележкой. На площадке размещены участки дозирочно-смесительный, формовочный, резательный, комплектации разрезанных массивов, приготовления шлама из сырых отходов ячеистого бетона и накопления пустых вагонеток. Для выдержки сформованных массивов до распалубки на конвейере предусмотрено пять постов.

Дозирование компонентов бетона происходит с помощью весовых дозаторов. Ячеисто-бетонную смесь готовят в быстроходной мешалке с горизонтальным валом. Формование массивов осуществляется литьевым способом.

Распалубка массива для бетона марки D600 осуществляется через 1–1,5 ч после заливки при достижении пластической прочности сырца на поверхности массива 180–220 гс/см². Для бетонов марок меньшей плотности продолжительность выдержки массива до распалубки увеличивают до 2–2,5 ч с соответствующим увеличением количества постов для выдержки массивов.

Распалубку массивов осуществляют кран-балкой с помощью выпасовочного устройства. Распалубленные массивы на трехпостовой резательной машине последовательно разрезают в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Отходы сырца цепным транспортером периодически загружают в мешалку для приготовления шлама.

На участке комплектации из разрезанных массивов с помощью кран-балки формируют двухъярусные пакеты, которые электропередаточным мостом передают в автоклавное отделение и загружают в автоклав диаметром 2 м. После предварительной выдержки пакетов в горячих автоклавах для набора сырцом массива требуемой прочности, производится запаривание массива, общая продолжительность которого составляет 12 ч при давлении пара 0,9–1 МПа.

Технологическая линия скомплектована из оборудования, изготовленного на отечественных предприятиях. Транспортное и некоторое нестандартное оборудование изготовлено силами механической службы МЗСК. Формы и поддоны изготовлены механическим заводом. Оборудование для приготовления водно-алюминиевой суспензии во взрыво- и пожаробезопасном исполнении изготовлено специализированной организацией.

Технологическая линия с формованием массива высотой 1290 мм создана на Навашиномском заводе стройматериалов (НЗСМ). Годовая мощность линии составляет 40 тыс. м³. Формовочное и резательное оборудование установлено на свободной площадке цеха силикатного кирпича. Вяжущее размалывают в шаровой мельнице сухого помола СМ1456 в действующем помольном отделении с использованием шихты силикатного кирпича и добавлением влажного песка. Над мельницей установлены весовые дозаторы, работающие

по циклической программе. Для усреднения вяжущего предусмотрен силос в силосном отделении завода.

Дозирование компонентов осуществляют весовыми дозаторами. Для приготовления смеси используют смеситель объемом 2 м³, передвигающийся по эстакаде с исходной позиции к постам заливки, расположенным на двух ветвях формовочной конвейерной линии. Формы с залитой смесью до распалубки выдерживают на конвейере в течение 1–1,5 ч. После достижения сырцом массива требуемой прочности с помощью кран-балки и выпасовочного механизма «стаскивают» опалубку. Затем массив последовательно на трех постах резательной машины разрезают на блоки. Обрезки сырца по контуру массива и горбушечный слой сбрасывают в приямок для периодической подачи их скребковым конвейером в мешалку для приготовления шлама.

Разрезанные массивы до набора необходимой пластической прочности сырца выдерживают в обогреваемых накопительных камерах и электропередаточным мостом загружают в автоклав. Массивы запаривают в автоклавах диаметром 2 м при давлении пара 0,9–1 МПа. Пакеты блоков укладывают на деревянные поддоны и обвязывают металлической лентой.

Освобожденный от подрезного слоя поддон возвращают в цех.

Аналогичная технологическая линия для изготовления блоков создана на Череповецком заводе силикатного кирпича (ЧЗСК) на площадях недействующего цеха силикатного кирпича. Проектно-сметная документация линии разработана проектным институтом в соответствии с технологической частью проекта ЗАО «Корпорация стройматериалов». При высоте формуемого массива 1290 мм годовая мощность линии составляет 40 тыс. м³.

Дозировочно-смесительное, силосное отделение, расходный бункер цемента, формовочный и резательный участки располагаются внутри цеха. Отделение распалубки блоков, оснащенное мостовым краном, находится в дополнительно построенной пристройке к цеху.

Для помола вяжущего используют шаровую мельницу сухого помола 2×10,5 м, в которой дополнительно производят помол вяжущего для силикатного кирпича. Траекты подачи размолотого вяжущего из помольного отделения на производство силикатного кирпича и блоков разделены.

Дозирование компонентов ячеисто-бетонной смеси осуществляют весовыми дозаторами. Смесь готовят в стационарном смесителе объемом 2 м³. Формы с залитой смесью толкателями и передаточной тележкой закатывают на конвейер выдержки, длина которого позволяет одновременно накопить до 10 форм.

На участке резки массивов установлен трехпостовой резательный комплекс. В цехе предусмотрены две обогреваемые камеры для выдержки разрезанных массивов до загрузки их в автоклав.

На Ковровском заводе силикатного кирпича (КЗСК) установлена еще одна линия по производству автоклавного газобетона. Ее мощность составляет 80 тыс. м³.

Помол вяжущего осуществляется в шаровой мельнице 2×10,5 м из дробленой извести и влажного песка. Усреднение вяжущего осуществляют в накопительном бункере, неиспользуемом в технологии силикатного кирпича.

Дозировочное оборудование для сухих и жидких компонентов размещено на существующей производственной этажерке.

Для приготовления ячеисто-бетонной смеси используют вибросмеситель СМС-40Б.

Формовочное и резательное оборудование размещено на свободной площадке внутри цеха силикатного кирпича. Для накопления залитых форм предусмотрено

Таблица 2

Соотношение компонентов, %			Температура гашения вяжущего, °С	Температура воды, °С	Подвижность смеси по Сутторду, см	Высота вспучивания, мм	Средняя плотность бетона, мас., кг/м ³ верх низ	Прочность при сжатии, МПа, верх низ	Прочн. Привед к 600 кг/м ³ , верх низ
вяжущее	цемент	сухие отходы газобетона							
80	15	5	48	26	29	1230	$\frac{566}{590}$	$\frac{5,52}{6,44}$	$\frac{6,21}{6,67}$
Средняя по массиву								5,98	6,44

три конвейера на 12 форм.

Для транспортировки форм используют существующие два электропередаточных моста.

Участок для приготовления шлама из сырых отходов размещен рядом с резательным комплексом. Приготовленный шлам из отходов периодически подают в освобожденный один из двух шламбассейнов.

Резательный комплекс установлен в двухпостовом варианте. Отработаны режимы резки массива в продольном и поперечном направлениях на совмещенном посту струнами различных конструкций. Это позволило сократить цикл резки массива почти в два раза.

Для предварительной выдержки и запаривания разрезанных массивов использованы существующие на заводе камеры и автоклавы.

В результате использования существующего оборудования для транспортировки вяжущего, его накопления и усреднения, этажерки для размещения дозирующего оборудования, а также изготовления нестандартного транспортного оборудования собственной механической службой и выполнения строительно-монтажных работ своими силами достигнута существенная экономия финансовых средств при создании этой технологической линии.

При разработке технологических схем производства блоков из автоклавного газобетона для всех четырех заводов учитывали особенности планировки производственных помещений и существующей технологии силикатного кирпича, размеры свободных площадей для размещения оборудования, технические характеристики этажерок, возможность использования для новой технологии свободных бункеров и существующих трактов подачи материалов, грузоподъемность подъемно-транспортного оборудования и т. д.

Исследование влияния технологических факторов на физико-механические свойства бетона показало, что при прочих равных условиях наиболее существенное влияние на его прочность при сжатии оказывают гидратационные характеристики вяжущего – температура и время гашения. Поэтому при освоении технологии большое внимание уделялось получению вяжущего с требуемыми гидратационными характеристиками. Выявлено, что при достигнутом уровне освоения технологии бесшламовым способом наиболее пригодной является известь активностью 62–67%.

Проведенные исследования по подбору состава бетона показали, что при соответствующей подготовке материалов и соблюдении технологических параметров формования и термической обработки блоков можно получить бетон с достаточно высокой прочностью.

Результаты физико-механических испытаний образцов запаренного бетона, изготовленного на КЗСК с использованием быстрогасящейся извести активностью 65–67% (состав смеси, мас. %: вяжущее – 80, цемент – 15, сырые отходы – 5; режим запарки: продувка – 40 мин, подъем давления до 1 МПа – 2 ч, выдержка при максимальном давлении 7 ч, сброс давления – 2 ч) приведены в табл. 2. Образцы отобраны из середины блоков верхнего и нижнего рядов.

В результате совместных работ, выполненных ЗАО «Корпорация стройматериалов», заводами силикатного кирпича и фирмой «Регион-Капитал», созданы технологические линии мощностью 20, 40 и 80 тыс. м³ в год для производства автоклавного газобетона на заводах силикатного кирпича. Оборудование для этих линий изготовлено отечественными предприятиями и силами самих заводов. Это позволило значительно снизить стоимость таких линий, обеспечить их надежную работу, решение проблем эксплуатации и ремонта оборудования.

Список литературы

1. Казьмин П.П. Перспективы развития малоэтажного строительства в России // Жилищное строительство, 2009. №1. С. 20-22.
2. Чернышов Е.М., Акулова А.И., Кухтин Ю.А. Эффективность применения ячеистого бетона в жилищном строительстве. Автоклавный ячеистый бетон: производство, проектирование, строительство, бизнес // Белорусский строительный рынок. Рекламно-информационный бюллетень. 2003. С. 8.
3. Граник Ю.Г. Ячеистый бетон в жилищно-гражданском строительстве // Строит. материалы. 2003. № 3. С. 2-6.
4. СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника». Минстрой России. М.: ГП ЦПП. 1995.
5. Соколовский Л.В., Сажнев Н.П., Шелег Н.К., Сажнев Н.Н. Производство и применение ячеистого бетона автоклавного твердения в Республике Беларусь // Строит. материалы. 2005. № 12. С. 7-12.
6. Филиппов Е.В., Атрачев Б.О., Жаглин В.И., Арцыбашев Г.А., Фунтиков Ю.В., Ямчинов В.В., Высочкин А.В. На отечественном оборудовании – по современной технологии // Строит. материалы. 2004. № 3. С. 14.
7. Филиппов Е.В., Воробьев Х.С., Гольцов И.Н., Крук А.Т., Жаглин В.И. Перевод заводов силикатного кирпича на производство изделий из ячеистого бетона // Строит. материалы. 1999. №1. С.14–17.
8. Филиппов Е.В. Выбор направления // Строит. материалы. 1997. № 11. С.12–15.
9. Хвостенков С.И. Развитие производства силикатного кирпича в России // Строит. материалы. 2007. № 10. С. 4-8
10. Эскуссон К.К., Эскуссон И.Ю., Острат Л.И. Исследование зависимости прочностных и деформативных свойств газосиликата от степени обжига извести, схемы подготовки сырья и состава смеси: Сб. трудов НИПИСиликатобетон. Производство автоклавных строительных материалов. Таллин, 1983.
11. Бутт Ю.М., Воробьева М.А., Кудярова Н.П. Влияние структуры гидроокиси кальция на скорость ее взаимодействия с кремнеземом в условиях гидротермального твердения известково-песчаного вяжущего // Материалы III международного симпозиума по силикатным строительным изделиям автоклавного твердения. 25–28 сентября 1973 г. г. Утрехт, Голландия., М., 1974., с.346–356//
12. Филиппов Е.В., Атрачев Б.О., Сабирьянов Р.Я., Евсеев В.П. Автоклавный ячеистый бетон – на заводы силикатного кирпича // Строит. материалы. 2005. № 12. С.

УДК 666.973.536.63

Н.П. БОГДАНОВА, зав. сектором, И.А. БЕЛОВ, зав. лабораторией,
Е.Я. ПОДЛУЗСКИЙ, зам. ген. директора, ГП «Институт НИИСМ» (Минск);
Е.С. КЛИНЧУК, гл. инженер, Т.Л. ВЕРБИЦКАЯ, гл. технолог,
ОАО «Сморгоньсиликатобетон» (Гродненская обл., Республика Беларусь)

Ячеистый бетон пониженной плотности для изоляции строительного и технического назначения

В настоящее время в Республике Беларусь выпускаются плиты теплоизоляционные из ячеистого бетона в соответствии с требованиями СТБ 1034–96 «Плиты теплоизоляционные из ячеистых бетонов. Технические условия». Плиты предназначены для утепления строительных конструкций и тепловой изоляции промышленного оборудования при температуре изолируемой поверхности до 400°C. Нормируемая марка плит по средней плотности D150, D200, D250, D300, D350, D400.

Производство теплоизоляционных плит из ячеистого бетона автоклавного твердения марок по средней плотности D150–D250 освоено на ОАО «Гродненский комбинат строительных материалов» и ОАО «Сморгоньсиликатобетон».

Технология производства автоклавного ячеистого бетона средней плотностью 150–200 кг/м³ с требуемой прочностью при сжатии является сложной технологической задачей и имеет определенные технологические особенности. У такого бетона более 90% объема занимают газовые и капиллярные поры, поэтому межпоровый скелет должен обладать достаточной прочностью. Для получения такого бетона необходимо, чтобы компоненты ячеисто-бетонной смеси имели более высокие качественные показатели, чем при производстве конструктивного бетона.

Активность ячеисто-бетонной смеси должна быть 18–20%, удельная поверхность известково-песчаного вяжущего – ~5000 см²/г, удельная поверхность песка в

песчаном шламе – ~3000 см²/г, водотвердое отношение, как правило, составляет 0,6–0,65. В процессе исследований и разработки технологии производства ячеистого бетона пониженной плотности [1, 2] для стабилизации сформированного массива необходимо применение специальных добавок. Ранее нами была разработана комплексная химическая добавка СПК на основе омыленной абиетиновой смолы [3].

В течение последних лет экспериментальные исследования государственного предприятия «Институт НИИСМ» были направлены на повышение прочностных показателей автоклавного ячеистого бетона пониженной плотности за счет как увеличения прочности силикатного камня дисперсным армированием волокнистыми добавками, так и улучшения качества пористой структуры материала.

Дисперсное армирование силикатного камня волокнистыми добавками – эффективный технологический прием [4]. Армирование позволяет активно влиять на характер напряженного состояния матрицы ячеистого бетона при приложении нагрузок и за счет перераспределения напряжений тормозить процессы развития трещин и разрушения материала.

При проведении исследований по дисперсному армированию ячеистого бетона использовались сухие отходы асбестоцементного производства. Введение 12–30% асбестоцементных отходов в состав известково-песчаного вяжущего позволяло повысить прочность

Таблица 1

Шифр массива, количество СПК	Количество добавки волластонита F75, % от P _{сух}	T _н , °C	T _в , °C	T _к , °C	Растекаемость по Суттарду, см	Время роста массива, мин
Контрольный Ю-56 СПК – 0,38%	–	30	47	94,5	32	4,3
Контрольный Ю-57 СПК – 0,55%	–	28	46	94	38	4,5
Ю-58 СПК – 0,55%	2–3	28	46	94	36	5,2
Ю-59 СПК – 0,55%	3–5	28	46	96	33	6

Таблица 2

Образец	Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Теплопроводность в сухом состоянии при температуре 25°C, Вт/(м·°C)	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Усадка при высыхании, мм/м	Линейная температурная усадка при 600°C, %	Линейная температурная усадка при 900°C, %	Сорбционная влажность W, % по массе при относительной влажности воздуха φ, %		Паропроницаемость μ, мг/(м·ч·Па)
								75,5	86,5	
Контрольный Ю-56	170	0,054	0,5	0,22	0,21	2,4	2,8	2,31	3,39	0,373
Контрольный Ю-57	175	0,054	0,66	0,25	0,18	2,2	2,7	2,32	3,5	0,375
Ю-58	211	0,56	0,83	0,45	0,11	1,6	2	2,36	3,61	0,306
Ю-59	217	0,057	0,93	0,58	0,09	1,4	1,8	2,38	3,64	0,307

Таблица 3

Теплотехнические показатели	Значение
Температура воздуха в теплом отсеке климатической камеры t_b , °C	17,7
Температура воздуха в холодном отсеке климатической камеры t_n , °C	-20,7
Температура поверхности испытываемого фрагмента со стороны теплого отсека климатической камеры $t_{bн}$, °C	16,8
Температура поверхности испытываемого фрагмента со стороны холодного отсека климатической камеры $t_{nн}$, °C	-18,4
Плотность теплового потока через испытываемый фрагмент q_b , Вт/м ²	13,28
Термическое сопротивление R, м ² ·°C/Вт	2,651

ячеистого бетона при изгибе в 1,8–2,2 раза. Однако из-за непостоянного состава данных отходов реализовать их использование в производственном процессе сложно, а использование волокнистого асбеста в настоящее время ограничено. Поэтому в качестве армирующего компонента использовали волластонит марки Casiflux F75, предоставленный для исследований компанией «Glass Technology International». Химический состав волластонита: CaO – 44,5%; SiO₂ – 53%; Fe₂O₃ – 0,16%; Al₂O₃ – 0,8%; MgO – 0,6%; насыпная плотность – 450 кг/м³.

Волластонит широко используется в европейских странах как заменитель асбеста. Он применяется в качестве добавки-наполнителя в пластмассах, в цветной металлургии, в шинной, асбоцементной и лакокрасочной промышленности, в производстве керамики и огнеупоров. Для волластонита характерна игольчатая структура кристаллов с отношением длины волокна к его диаметру в зависимости от марки (L/D) от 3:1 до 20:1. Игольчатость является определяющим фактором для упрочнения и повышения долговечности и износостойкости строительных материалов. Микроармирующие свойства волластонита обеспечивают безупрочность изготавливаемых с его применением материалов различного назначения.

В результате экспериментальных исследований по применению волластонита в производстве композиционных строительных материалов и изделий было выявлено его физико-химическое сродство с известково- и цементосодержащими сырьевыми композициями. Активная избирательная адсорбция продуктов гидратации связующего оказывает существенное влияние на реологические параметры, формирование структуры, прочностные и деформативные свойств затвердевших композитов.

Предварительные исследования свойств ячеистого бетона средней плотностью 150–200 кг/м³ в лабораторных условиях подтвердили эффективность использования волластонита марки Casiflux F75 в качестве армирующей добавки. Промышленные испытания были проведены на ОАО «Сморгоньсиликатобетон» на технологической линии «Силбетблок» по действующей технологии производства ячеистого бетона.

При изготовлении теплоизоляционных плит из ячеистого бетона марок по средней плотности 150–200 кг/м³ использовались следующие сырьевые материалы: известково-песчаное вяжущее с активностью 36–38% и удельной поверхностью 4950–5100 см²/г, портландцемент ПЦ 500Д0, пудра алюминиевая парафинированная марки ПАП-1 (по ГОСТ 5494), песчаный шлам с удельной поверхностью 3000–3100 см²/г, волластонит марки Casiflux F75, СПК-200 – воздуховлекающая добавка, приготовленная на основе омыленного клея канифольного, модифицированного жидким стеклом по ТУ РБ 100122953.312.

При расчете и подборе сырьевых смесей исходили из расчета получения теплоизоляционного материала средней плотностью 150–200 кг/м³. Расчетная активность бетонной смеси составляла 20%. Количество алюминиевого газообразователя – 0,53–0,58% от массы сухих компонентов. Добавку СПК-200 вводили в количе-

стве 0,38–0,55% от массы сухих. Количество волластонита 2–3% от массы сухих.

Последовательность загрузки компонентов в виброгазобетономеситель осуществляли по действующей на ОАО «Сморгоньсиликатобетон» схеме. Весь цикл перемешивания сырьевой смеси составлял 3–4 мин.

Автоклавную обработку заформованных массивов осуществляли по следующему режиму: подъем давления до 0,8–1 МПа 3–4 ч, выдержка при давлении 0,8–1 МПа 7–8 ч и спуск давления в течение 4 ч. Общий цикл запаривания составлял 15–16 ч.

Составы и технологические свойства смесей при формировании газобетона средней плотностью 200 кг/м³ приведены в табл. 1.

При исследовании технологических параметров сырьевой смеси регистрировали начальную температуру смеси (T_n), температуру начала роста массива (T_b), конечную температуру разогрева массива после роста (T_k), растекаемость смеси по Суттарду, время роста массива. Начальная температура сырьевой смеси при разгрузке из смесителя составляла 28–30°C, рост (вспучивание) массивов начинался при температуре 46–47°C, конечная температура массива достигала до 94–96°C; растекаемость варьировалась от 32 до 38 см. Время роста ячеисто-бетонного сырца составляло 4–6 мин.

Исследования физико-механических и теплотехнических свойств теплоизоляционных плит проводились по стандартным методикам, их результаты представлены в табл. 2.

Таблица 4

№ состава	Потери массы, %			Прочность при сжатии после 20 теплосмен, %
	после 5 теплосмен	после 10 теплосмен	после 20 теплосмен	
Ю-56				
1	4,4	5,6	7,2	40
2	2,7	3,8	8,3	42
3	3,1	4,9	9,1	42
Ю-57				
1	2,9	4,7	8,9	44
2	2,9	5,1	7,4	42
3	3,6	4,9	6,4	41
Ю-58				
1	2,4	3,4	4,5	64
2	1,9	2,6	3,7	68
3	2	2,9	3,9	62
Ю-59				
1	2	2,9	4,9	70
2	2,4	3,4	4,3	68
3	2	3,2	4,4	70

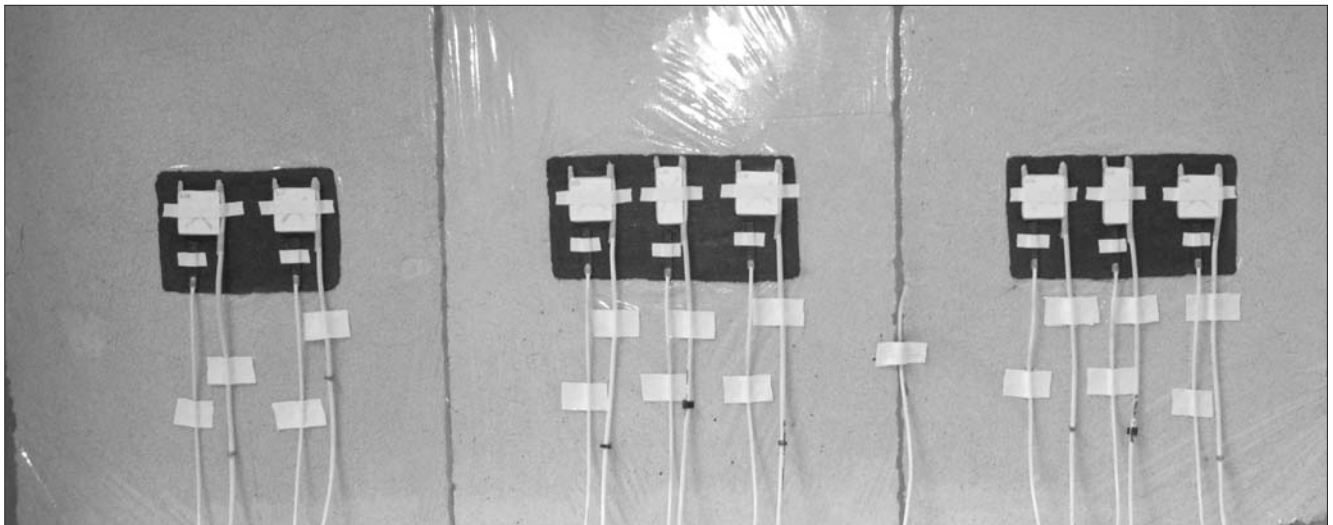


Рис. 1. Схема размещения датчиков температуры и тепловых потоков на фрагменте

Из результатов исследований следует, что решающее влияние на свойства ячеистого бетона оказывает количество вводимой в ячеисто-бетонную смесь добавки волластонита. Образцы с добавкой до 5% волластонита имеют прочность при сжатии и изгибе в два раза выше по сравнению с контрольными образцами и отличаются более низкими значениями усадки при высыхании и линейной температурной усадки при нагревании.

В связи с тем, что одной из основных областей использования в практике строительства плит теплоизоляционных из ячеистого бетона является теплоизоляция ограждающих конструкций, были выполнены экспериментальные исследования по определению теплозащитных свойств теплоизоляции на основе плит теплоизоляционных, изготовленных из массива Ю59.

Термическое сопротивление слоя теплоизоляции из плит теплоизоляционных из ячеистых бетонов средней плотностью 200 кг/м^3 определялось в климатической камере на фрагменте размером $1000 \times 1000 \text{ мм}$ бесшовной кладки толщиной 150 мм . Испытание выполнено по ГОСТ 26254–84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций». Схема монтажа датчиков температур и тепловых потоков в теплом отсеке климатической камеры показана на рис. 1.

Результаты экспериментального определения термического сопротивления фрагмента представлены в табл. 3.

Основные теплотехнические показатели стационарного режима в климатической камере представлены на рис. 2 и 3.

Из полученных результатов следует, что термическое сопротивление фрагмента теплоизоляционного слоя толщиной 150 мм из плит теплоизоляционных из ячеистых бетонов средней плотностью 200 кг/м^3 составляет

$2,651 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, теплопроводность — $0,057 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, что обуславливает эффективность использования плит из ячеистого бетона для теплоизоляции.

Исследования влияния добавки волластонита на минералогический состав образцов ячеистого бетона проводили рентгенографическим и дериватографическим анализом контрольного образца Ю-56 и образцов с добавкой волластонита Ю-58 и Ю-59. Дифрактограммы исследованных образцов близки. Гидросиликаты как контрольного состава (Ю-56), так и составов (Ю-58, Ю59) представлены группой телевидных гидросиликатов CSH (I) и тоберморита. Введение добавки волластонита способствует увеличению количества тоберморита и повышению степени его закристаллизованности.

Термическая стойкость опытных образцов ячеистого бетона определялась воздушными теплосменами. После высушивания образцов до постоянной массы их помещали в печь, предварительно разогретую до 600 °C , и выдерживали при этой температуре 1 ч. Колебания температуры в печи составляло $\pm 20 \text{ °C}$. Через час образцы вынимали из печи и охлаждали струей воздуха до комнатной температуры. Затем нагревание повторяли. Каждый нагрев и охлаждение на воздухе являлись теплосменой. После каждой теплосмены остывшие образцы осматривали, отмечали появление трещин, характер разрушения и определяли потерю массы. Число теплосмен, вызвавших разрушение образцов или потерю бетоном 20% первоначальной массы, принимали за термическую стойкость бетона в воздушных теплосменах. Результаты представлены в табл. 4.

После 20 воздушных теплосмен образцы составов ячеистого бетона с волластонитом (Ю-58, Ю-59) имеют потерю массы, не превышающую 5%, остаточная прочность образцов более 60%. Это подтверждает возмож-

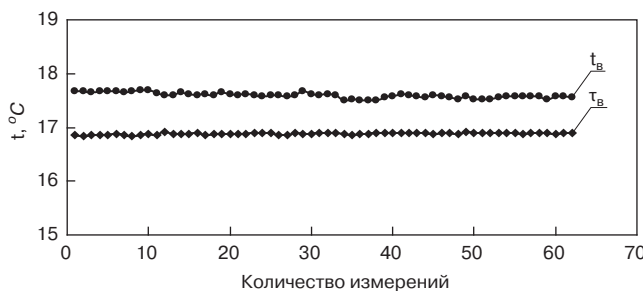


Рис. 2. Температура воздуха t_B , °C, и поверхности фрагмента $t_В$, °C, бесшовной кладки из плит теплоизоляционных из ячеистого бетона марки 200 (теплый отсеk климатической камеры)

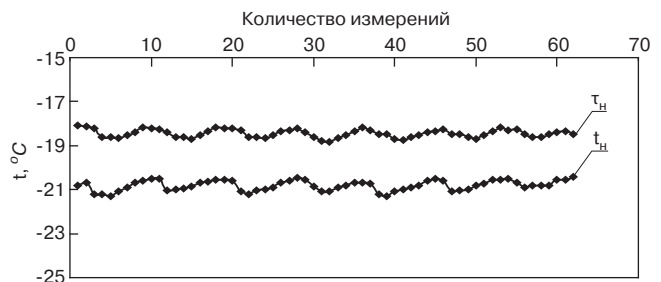


Рис. 3. Температура воздуха t_H , °C, и поверхности фрагмента $t_н$, °C, бесшовной кладки из плит теплоизоляционных из ячеистого бетона марки 200 (холодный отсеk климатической камеры)

ность применения данного бетона для изоляции теплового оборудования с температурой изолируемой поверхности до 600°C.

Проведены исследования и получены экспериментальные данные по прочностным и усадочным характеристикам образцов плит с добавкой 15% волластонита в интервале температур от 600 до 1200°C и установлена возможность их применения для изоляции теплотехнического оборудования с температурой изолируемой поверхности (контактная температура) до 1000°C.

Теплоизоляционные плиты, изготовленные на ОАО «Сморгоньсиликатобетон» с добавкой Casiflux F75, установлены ООО «Завод Элласт» (г. Новолукомль, Республика Беларусь) в плавильно-раздаточные печи СВО, изготовленные для ОАО «БАТЭ» (г. Борисов), ОАО «Минский электромеханический завод», ОАО «Минский моторный завод» и проходят ресурсные испытания. Работа по использованию плит продолжает-

ся. Заводом «Элласт» заказаны на ОАО «Сморгоньсиликатобетон» плиты для дальнейших опытно-промышленных испытаний.

Список литературы

1. Гончарик В.Н., Белов И.А., Богданова Н.П., Гарнашевич Г.С. Теплоизоляционный ячеистый бетон // Строит. материалы. 2004. № 3. С. 24–25.
2. Богданова Н.П., Гончарик В.Н., Белов И.А., Гарнашевич Г.С. О повышении потребительских свойств ячеисто-бетонных изделий. // Архитектура и строительство. 2004. № 2. С. 100–102.
3. Патент РБ №7119. Комплексная добавка для ячеистого теплоизоляционного бетона, приоритет от 27.12.2001.
4. ГОСТ 24748–2003 Изделия известково-кремнеземистые теплоизоляционные. Технические условия.

Научная конференция – II академические чтения, посвященные памяти академика Г.Л. Осипова

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ –
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

7–9 июля 2010 г.

Москва

Организаторы

Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН)

Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН)

Московский государственный строительный университет (МГСУ)

Российский союз строителей РФ (РСС РФ)



Тематика конференции

- Энергосбережение в строительстве
- Строительная теплофизика
- Строительная и архитектурная акустика
- Строительная светотехника
- Секция. Научная школа для молодежи «Строительная физика, энергосбережение и экологическая безопасность»
- Вопросы экологии в строительстве
- Долговечность и прочность строительных конструкций
- Ремонт и эксплуатация объектов коммунального хозяйства
- Высотное строительство

К академическим чтениям будет выпущен сборник трудов.

В рамках конференции состоится конкурс среди студентов, магистров, аспирантов, молодых ученых, научных сотрудников до 35 лет вузов, научных и проектных учреждений

1. На лучший дипломный проект, включающий раздел «Строительная физика» (энергосбережение, архитектурно-строительная акустика, светотехника). Премия руководителю проекта и дипломнику – **30000 р.**
2. На лучшую работу по направлению «Строительная и архитектурная акустика» для студентов и аспирантов. Победителю присуждается премия имени Г.Л. Осипова – **30000 р.**
3. На лучший доклад в рамках секции – научной школы для молодых ученых «Строительная физика, энергосбережение и экологическая безопасность». Победителю присуждается именная годовая стипендия имени Г.Л. Осипова в размере **30000 р.** (выплачивается одновременно).
4. Два приза за оригинальное и талантливое решение акустической задачи от генерального спонсора конференции компании Brüel & Kjær для студентов, аспирантов и молодых ученых до 35 лет – недельная стажировка в компании Brüel & Kjær в г. Копенгаген (Дания).
5. Поощрительные призы.

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**

Информационная поддержка

**ЖИЛИЩНОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО**

Место проведения: МГСУ, Ярославское шоссе, д. 26

Оргкомитет: 127238, Москва, Локомотивный проезд, д. 21, к. 3 (светотехнических корпус) НИИСФ РААСН
Тел.: (495) 488-70-05, Факс: (495) 482-40-60, E-mail: org.com@list.ru, www.niisf.ru

УДК 666.973.6

Н.Н. ФЕДОСОВ, директор, Е.С. КЛИНЧУК, главный инженер,
Т.Л. ВЕРБИЦКАЯ, главный технолог ОАО «Сморгоньсиликатобетон»
(г. Сморгонь, Республика Беларусь)

Новые строительные материалы

Строительная отрасль сегодня – одна из самых динамично развивающихся. Что же является предпосылкой успешного развития строительной отрасли сегодня? Это прежде всего использование энергоэффективных строительных материалов, перспективность которых оценивается не только эксплуатационными показателями, но и распространенностью и доступностью сырьевой базы.

На ОАО «Сморгоньсиликатобетон» в 2005 г. на технологической линии фирмы «Maza-Henke» освоено производство стеновых блоков из ячеистого бетона, соответствующих требованиям СТБ 1117–98. При их производстве образуются отходы автоклавного ячеистого бетона из подрезного слоя.

В УП «НИИСМ» в течение 2006–2008 гг. проводились научные исследования по рациональному использованию отходов производства автоклавного ячеистого бетона в технологии производства строительных материалов. По результатам данных работ разработаны составы легких бетонов и составы сухих строительных смесей на основе отходов производства автоклавного ячеистого бетона.

Технология производства данных видов строительных материалов освоена ОАО «Сморгоньсиликатобетон».

Разработаны технология производства и технические условия на перемычки и блоки лотковые из легких бетонов с использованием в качестве заполнителя и наполнителя фракционированного дробленого автоклавного ячеистого бетона.

Перемычки и блоки лотковые из конструкционно-теплоизоляционных блоков предназначены для пере-

крытий проемов в наружных и внутренних стенах жилых и общественных зданий. Блоки и перемычки применяются в несущих и самонесущих стенах зданий. В самонесущих стенах – высотой до двух этажей включительно, в ненесущих – без ограничения этажности. Класс бетона по прочности при сжатии для перемычек не ниже В3,5 и для блоков – В2,5. По данным ЦНИИСК БНТУ, контрольная нагрузка для перемычек составляет порядка 50 кН/м (при требуемой 18 кН/м).

Основным преимуществом данной перемычки является то, что коэффициент теплопроводности [Вт/(м·°С)] у бетона на основе отходов от производства изделий из ячеистого бетона при его средней плотности 1000–1300 кг/м³ согласно экспериментальным данным колеблется в пределах 0,19–0,64 Вт/(м·°С).

На основе отходов производства автоклавного ячеистого бетона на ОАО «Сморгоньсиликатобетон» выпускаются и сухие строительные смеси.

Сухие смеси – многокомпонентные специализированные системы, в которых кроме минерального вяжущего и заполнителя содержится комплекс химических добавок, обеспечивающих необходимые реологические свойства смеси, регулирующих скорость схватывания и твердения вяжущего и обеспечивающих необходимые физико-механические свойства раствора после затвердевания. Разработка составов основывалась на требованиях действующих ТНПА на материалы данного класса СТБ 1307 и П1 к СНиП 3.04.01–87.

Технические характеристики сухих строительных смесей на основе отходов производства ячеистого

Таблица 1

Наименование показателя	Нормы для смесей	
	кладочная	штукатурная
1. Марка по подвижности	Пк2	Пк2–Пк3
2. Прочность раствора в проектном возрасте, не менее	М25	М50
3. Средняя плотность раствора, кг/м ³ , не более	1000	1000
4. Морозостойкость, циклов, не менее	35	75
5. Прочность сцепления с основанием, МПа	0,6	0,8
6. Теплопроводность образцов, высушенных до постоянной массы, λ, Вт/(м·°С), не более	0,2	0,2
7. Паропроницаемость образцов раствора, μ, мг/(м·ч·Па), не менее	0,155	0,155

Таблица 2

№ п.п.	Марка по плотности	Отпускная влажность по массе, %	Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Теплопроводность в сухом состоянии при температуре (20±5)°С, Вт/(м·К)	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа
1	D 150	19,7	171	0,054	0,57	0,28
2	D 200	27,2	217	0,06	0,83	0,38
3	D 250	29,6	245	0,07	0,9	0,41

Таблица 3

Плотность испытанных образцов ρ_0 , кг/м ³	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м ³ ·ч·Па)	Сорбционная влажность W_B , мас. % при относительной влажности воздуха, ϕ %				
		40	60	80	90	97
250	0,308	2,53	3,02	3,56	4,82	8,9
200	0,337	2,59	3,05	3,51	4,71	9,34
150	0,368	2,48	3,04	3,59	4,78	9,11

бетона, выпускаемых ОАО «Сморгоньсиликатобетон», представлены в табл. 1.

В соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-43–2006 «Строительная теплотехника» теплопроводность обычного цементно-песчаного строительного раствора, широко применяемая в практике строительства, составляет 0,52 Вт/(м·°С) в высушенном до постоянной массы состоянии, это в 2–2,5 раза выше, чем у составов строительных растворов на основе отходов производства ячеистого бетона.

В настоящее время проведены исследования и внедрена технология производства плитного утеплителя из ячеистого бетона марок по средней плотности D150–D 250 кг/м³.

Учитывая, что плиты из ячеистого бетона изготавливаются из сырья, имеющегося в Белоруссии они значительно дешевле минераловатных и пенополистирольных плит и могут составить конкуренцию последним в применении для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий с нормальным, сухим и влажностными режимами помещений. По прочностным и противопожарным характеристикам теплоизоляционные плиты из ячеистого бетона плотностью 150–250 кг/м³ превосходят такие широко применяемые теплоизоляционные материалы, как минераловатные и пенополи-

стирольные плиты, а по теплотехническим характеристикам приближаются к ним. Физико-механические свойства теплоизоляционных плит приведены в табл. 2.

Теплоизоляционные плиты из ячеистого бетона плотностью D 150– D 250 имеют высокие теплозащитные показатели (табл. 3).

На основании результатов предварительных исследований можно утверждать, что теплоизоляция из ячеистых бетонов по теплотехническим свойствам не уступает теплоизоляции из минераловатного утеплителя и при использовании ее в комплексной системе утепления материальные затраты могут быть снижены в 2–3 раза.

Использование экологически безопасного теплоизоляционного материала – ячеисто-бетонных плит автоклавного твердения обеспечит надежную изоляцию теплового промышленного оборудования при температуре применения до 1000°С за счет использования в составе теплоизоляционного материала волластонита.

В настоящее время наше предприятие разрабатывает проект строительства каркасного энергоэффективного дома. Для осуществления данного проекта в ближайшее время планируется выпуск панелей из ячеистого бетона для наружных и внутренних стен, покрытий и перекрытий.

Реклама

ОАО «СморгоньСиликатобетон»

- Блоки газосиликатные
- Кирпич и камень силикатный
- Сэндвич-панели
- Перемычка брусовая
- Панель оград, бордюры и плитка тротуарная
- Плиты термоизоляционные

+375159233774
Отдел экспорта

+375159255205
Приемная

+375159292272
Отдел маркетинга

Инновационные технологии для керамической промышленности



резчики, подъемно-транспортное оборудование, линии упаковки
www.symbol-united.it



печи туннельного типа и периодического действия, сушильные установки
www.instalat.nl



Реклама

Инновативные комплексные производственные линии TECTON GmbH Keramikanlagen для любых видов керамических продуктов соответствуют высочайшим стандартам и проектируются с использованием современных технологий и know-how.

Пожелания и требования заказчика, а также комплексное обслуживание всегда остаются в центре внимания специалистов TECTON GmbH Keramikanlagen и его партнеров.

С 1999 г. мы предоставляем консультационные услуги, модернизируем существующие заводы, а также поставляем любые виды оборудования для производства следующих изделий:

- Все виды кирпича
- Раскальваемая плитка
- Глазурованные керамические трубы
- Кровельная черепица
- Огнеупоры
- Санитарная керамика

TECTON GmbH
 Keramikanlagen
 Adolf-Kolping-Str. 30-32
 D-86381 Krumbach
 Tel.: +49 (0)8282-88199-0
 Fax: +49 (0)8282-88199-89
 info@tecton-germany.de
www.tecton-germany.de

Департамент строительства Краснодарского края
Российское научно-техническое общество строителей
Научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы»®



МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«РАЗВИТИЕ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ»

КЕРАМТЭКС

1–2 июня 2010 г. г. Краснодар

Развитие керамической промышленности России

Тематические разделы конференции:

Совершенствование производства керамических
строительных материалов

Отраслевая наука керамическому производству

Рынок технологического оборудования для производства
керамических строительных материалов

Финансовые механизмы развития предприятий отрасли

Применение керамических материалов
в современном строительстве

Участники конференции посетят ОАО «Славянский кирпич»

Традиционно к проведению конференции будет выпущен тематический номер журнала
«Строительные материалы»® №4–2010 г., в котором будут опубликованы пленарные доклады

Спонсоры конференции:

Организатор конференции



Кирпичное объединение «Победа ЛСР»



ОАО «Славянский кирпич»



журнал «Строительные материалы»®

Руководитель проекта – *Юмашева Елена Ивановна*
Менеджер проекта – *Лескова Елена Львовна*

Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 9, стр. 3
Тел./факс: +7 (495) 976-22-08, 976-20-36, тел. +7 (910) 437-03-98

LINGL –

ВАШ НАДЕЖНЫЙ ПАРТНЕР КАК СЕЙЧАС, ТАК И В БУДУЩЕМ



Славянск-на-Кубани, производство №2, РОССИЯ, 2009 г.



Реклама

Используя 70 - летний опыт работы, компания LINGL непрерывно работает на Ваш успех. Наша репутация и высокая квалификация - залог длительного сотрудничества - это принципы, которые мы отстаиваем. Наши инновационные технические решения, которые обеспечат Вам решающее преимущество в борьбе за сегменты рынка, отличаются

надежностью, высоким качеством, экономичностью энергопотребления и удобством технического обслуживания. Мы предоставляем услуги сервисного обслуживания оборудования для производства грубой керамики по всему миру. Если Вы цените постоянство и хорошую репутацию, Вы наш клиент.

*по результатам опроса, проведенного центром Malik Management в Санкт-Галлене в мае 2005 г., оборудование компании LINGL признано лучшим из лучших.

Посетите нас!
Павильон 5,
Зал 2, стенд 1271

MosBuild 
6 - 9 Apr 2010 Moscow, Russia

LINGL LIR

Представительство фирмы „LINGL“ в России и странах СНГ
196 247, Россия, г. Санкт Петербург · Ленинский проспект, дом 160 офис 302
тел/факс +7 (0)812 703 4199 · моб. тел. +7 (0)911 812 2237 · mail: lingl.russia@gmail.com

www.lingl.com

CERAMICS CHINA 2010

Official Publication

asian
ceramics

The Largest and Major Ceramics Industry Exhibition in Asia with Over 70,000m² Exhibiting Space

2010. 5. 18-21

China Import and Export Fair Complex
(No. 380, Yuejiang Zhong Road, Guangzhou, China)

Contact



新之联展览
UNIFAIR EXHIBITION

TEL: (86 20) 8327 6389 8327 6369

E-mail: overseas@ceramicschina.com.cn

<http://www.ceramicschina.com.cn>

**THE 24TH CHINA INTERNATIONAL
CERAMICS INDUSTRY EXHIBITION**

УДК 666.973.6

В.Н. МОРГУН, канд. техн. наук, Южный федеральный университет; А.Ю. БОГАТИНА, канд. техн. наук, Ростовский государственный университет путей сообщения; Л.В. МОРГУН, д-р техн. наук, П.В. СМЕРНОВА, инженер, Я.С. НАБОКОВА, архитектор-реставратор, Ростовский государственный строительный университет

О ячеистом бетоне пониженной сейсмоуязвимости

Федеральная целевая программа «Сейсмобезопасность территории России» (2002–2010 гг.) в качестве основной цели предусматривает максимальное повышение сейсмической безопасности населения, снижение социального, экономического, экологического риска в сейсмически опасных районах Российской Федерации, уменьшение ущерба от разрушительных землетрясений путем усиления и реконструкции существующих сооружений [1]. Важнейшее направление реализации программных мероприятий – внедрение в практику строительства современных методов и технических средств по снижению сейсмической уязвимости зданий и сооружений [7].

Бетон – главный материал абсолютного большинства строительных конструкций, альтернативы ему в обозримом будущем не предвидится. Повышение сейсмоустойчивости зданий, состоящих преимущественно из железобетонных конструкций, возможно при снижении массы конструкций при сохранении их несущей способности и изменении характера разрушения бетона с хрупкого на вязкий.

Все более широкое применение в строительстве ячеистых (пено- и газо-) бетонов в качестве стеновых материалов позволяет решать многие проблемы ресурсо- и энергосбережения, одновременно способствуя повышению сейсмоустойчивости зданий. Однако эти материалы являются весьма хрупкими, т. е. способными обрывать и накапливать дефекты в виде трещин при транспортировании, монтаже и эксплуатации [2].

Хрупкий материал весьма опасен при воздействии на него сейсмических или взрывных нагрузок [3]. Материалы с вязким характером разрушения, т. е. стойкие к воздействию динамических нагрузок, характеризуются близкими друг другу значениями прочности при сжатии и растяжении. Поиски приемов, обеспечивающих гарантированное повышение прочности ячеистых бетонов при растяжении, показали, что дисперсное армирование их синтетическими волокнами обеспечивает изменение структуры цементного камня и создает предпосылки для изменения характера их разрушения [4, 5] от хрупкого к вязкому. Последнее формирует весьма важные дополнительные условия для повышения сейсмобезопасности зданий.

Рассмотрим разницу между теоретической и реальной прочностью материалов. Расчеты, основанные на модели атомных связей, показывают, что прочность при растяжении качественных каменных материалов должна достигать не менее 5% от их модуля упругости (E) [3]. Однако реальные бетоны разрушаются при напряжениях, не превышающих 1% от E. Причиной такого поведения бетонов под действием нагрузок являются дефекты, формирующиеся в них в период перехода смеси в камень. Дефекты эти представлены порами и микротрещинами.

Под действием нагрузок [6] в материале на границе дефекта длиной a и с радиусом острия r происходит кон-

центрация напряжений σ_k , характеризуемая коэффициентом k :

$$k = \frac{\sigma_k}{\sigma} = 2\sqrt{\frac{a}{r}}.$$

Уровень концентрации напряжений k в трещине зависит от ее длины и радиуса кривизны острия. Чем меньше радиус кривизны r , тем существенно падает прочность материала под воздействием нагрузки.

Параметры трещин (рис. 1) характеризуются фронтом распространения напряжений L (размером направления, перпендикулярного направлению движения трещины), шириной раскрытия b и фактурой и морфологией материала.

Не развиваются под действием нагрузок такие дефекты, у которых отношение длины a к характерному размеру неоднородности материала m_i меньше единицы [3]. В пенобетоне за характерный размер неоднородности принимают диаметр частиц заполнителя или толщину межпоровой перегородки. Введение в структуру пенобетона отрезков дисперсной арматуры, длина которых в 10–100 раз больше толщины межпоровых перегородок, как минимум на порядок увеличивает размер m_i .

Поэтому в фибропенобетоне трещина, развивающаяся под действием внешней нагрузки, достигнув поверхности дисперсной арматуры, получает скачкообразное увеличение радиуса кривизны в острие r . Увеличение радиуса кривизны вызывает соответствующее понижение концентрации напряжений в острие трещины, что приводит к рассеиванию энергии от внешней нагрузки в том объеме материала, который связан с фиброй адгезионными силами.

Если учесть, что деформативность синтетической фибры в 1000 и более раз превышает деформативность цементного камня, а ее прочность при растяжении выше не менее чем на порядок, то можно полагать, что при разрыве бетона такая фибра способна в течение некоторого времени воспринимать нагрузку самостоятельно.

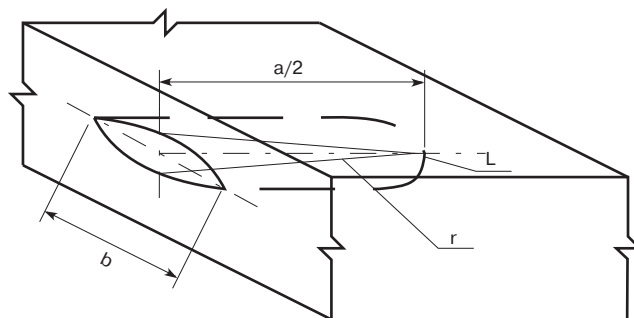


Рис. 1. Схема дефекта (трещины) в материале: a – длина дефекта; b – ширина дефекта; L – фронт трещины; r – радиус устья трещины

Это чрезвычайно важно для повышения стойкости хрупких материалов к сейсмическим и взрывным воздействиям.

Сравнение отношения пено- и фибропенобетонов к действию механической нагрузки оценивали на равноплотных (средней плотностью 700 кг/м^3) образцах размерами $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$, контрольных неармированных и дисперсно-армированных отрезками синтетических волокон. Схема нагружения образцов показана на рис. 2. Образцы нагружались плавно возрастающей нагрузкой: пенобетонные – до разрушения, фибропенобетонные – до появления первой трещины в растянутой зоне. Запись зависимости нагрузка – деформации растянутой зоны в середине пролета осуществляли автоматически. Установлено, что деформативные свойства исходного и дисперсно-армированного пенобетонных различаются по своим параметрам. Диаграмма напряжения – деформации, отражающая поведение испытываемых пенобетонов (рис. 3), показывает, что контрольные образцы под действием нагрузок разрушаются хрупко и при напряжениях существенно меньших, чем нагрузки, воспринимаемые равноплотным фибропенобетоном. В растянутой зоне фибропенобетонных образцов под действием изгибающей нагрузки появились трещины, которые зафиксировали момент завершения его работы в упругой стадии. Однако образцы не разделились на части. Видно (рис. 3), что с появлением в растянутой зоне разрывов бетонной матрицы и развитием пластических деформаций в фибропенобетоне, материал не понизил своей несущей способности.

Анализ кривых деформирования образцов фибропенобетона средней плотностью 750 кг/м^3 показал, что его модуль упругости (E) достиг 2006 МПа , а равноплотного ему пенобетона – 1742 МПа , т. е. при дисперсном армировании E повышается не менее чем на $13\text{--}15\%$. Судя по коэффициенту вариации, дисперсное армирование волокнами не только способствует повышению механических свойств пенобетона, но и улучшает однородность его свойств. Коэффициент вариации модуля упругости пенобетона составил $12,1\%$, а фибропенобетона – $5,9\%$. Величина нагрузки, соответствующая появлению первой трещины, составила в среднем 285 Н и превысила величину разрушающей нагрузки неармированного пенобетона примерно в $1,5$ раза.

Оценка влияния дисперсного армирования пенобетона на энергоемкость его разрушения проведена на об-

разцах размером $70 \times 70 \times 280 \text{ мм}$. Испытания образцов показали, что при изгибе фибропенобетона утрачивается хрупкий характер разрушения, присущий пенобетону, и наблюдаются три стадии напряженно-деформированного состояния материала (рис. 4).

Первая стадия отражает упругую работу исследуемого материала. В ней фибра и бетонная матрица работают совместно до появления трещины в растянутой зоне. Эта стадия характеризовалась прогибами величиной $0,27\text{--}0,31 \text{ мм}$, т. е. их величина составила менее $1/900$ доли пролета при коэффициенте вариации $18,6\%$.

Ко *второй стадии* нами отнесена работа накопления трещин в растянутой зоне под действием возрастающей нагрузки. В этот период нагружения растягивающие усилия воспринимаются дисперсной арматурой в зоне трещинообразования бетонной матрицы и участками фибропенобетона растянутой зоны. Установлено, что объединение первичных трещин в магистральную и ее раскрытие (завершение 2-го этапа деформирования) начинается при нагрузке 1800 Н , не менее чем в $1,5$ раза превышающей нагрузку первой трещины или более чем в 2 раза превышающей разрушающую для равноплотного пенобетона (рис. 4). Раскрытие магистральной трещины происходит в зоне действия максимального момента за счет разрыва и/или выдергивания волокон дисперсной арматуры. Величина прогибов во второй стадии работы разрушения достигала $1,4\text{--}1,7 \text{ мм}$, или $1/160$ пролета при коэффициентах вариации до 30% .

Третьей стадии соответствовало интенсивное раскрытие магистральной трещины, обусловленное тем, что напряжения в дисперсной арматуре достигли предела ее текучести. Эта стадия завершилась потерей несущей способности образцов из фибропенобетона. Их разрушение было выражено прогибами величиной до 7 мм или в $1/32$ пролета и раздроблением сжатой зоны образцов, которая, однако, не привела к разделению образцов на отдельные куски. Разрушение сжатой зоны происходило в виде смятия и выкрашивания из объема разрушающегося материала мелких зернистых частиц твердой фазы.

Образцы из пенобетона разрушались под действием нагрузок, соответствующих появлению в растянутой зоне первой трещины. При этом величина их прогибов не превышала $0,37 \text{ мм}$, или $1/700$ пролета при коэффициенте вариации около 30% . У пенобетонных образцов разрушение носило хрупкий, практически мгновенный характер с разделением на части не только по плоскос-

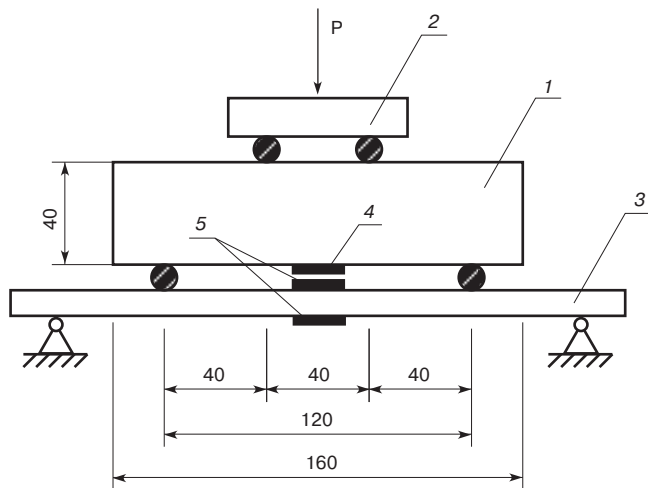


Рис. 2. Схема испытаний на изгиб: 1 – испытываемый образец; 2 – распределительная балка; 3 – тензорезисторный динамометр (металлическая балка с наклеенными тензорезисторами); 4 – тензорезистор с базой 20 мм , наклеенный на бетон; 5 – тензорезисторы на металлической балке

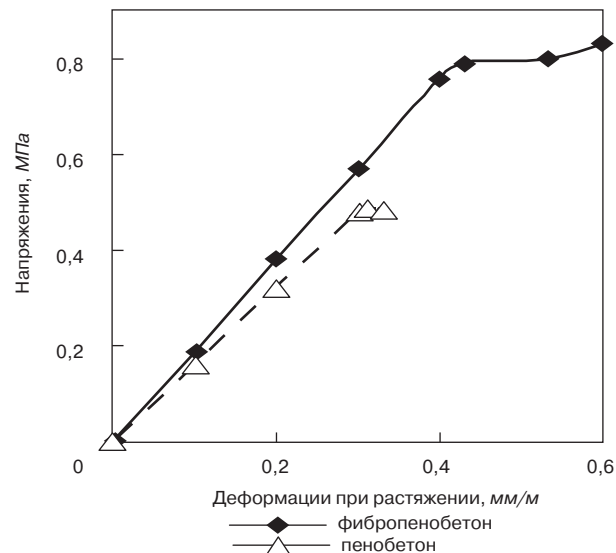


Рис. 3. Зависимость деформации при растяжении от нагрузки

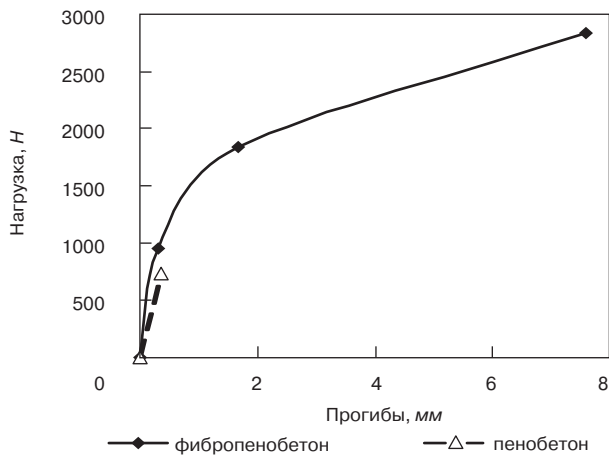


Рис. 4. Кривые деформирования равноплотных пено- и фибропенобетона при растяжении при изгибе

тям развития трещины, но и отделением крупных фрагментов бетона друг от друга в сжатой зоне.

Результаты данных экспериментальных исследований легли в основу предположения о том, что фибропенобетоны могут применяться в изгибаемых элементах строительных конструкций зданий, таких как плиты перекрытия, перемычки, козырьки над входами и т. п. Такие механические свойства фибропенобетонов способствуют снижению массы ограждающих конструкций и сейсмической уязвимости зданий. Кроме того, эти свойства чрезвычайно привлекательны для обеспечения безопасности людей при эксплуатации строительных объектов, так как изделия из фибропенобето-

нов в третьей стадии нагружения предупреждают о приближении момента разрушения интенсивным развитием прогибов и выкрашиваем мелкозернистых фрагментов бетона.

Для изучения работы фибропенобетонных изделий под действием изгибающей нагрузки нами были изготовлены и испытаны перемычки прямоугольного сечения размером 300×200 мм и длиной 2600 мм из бетона слитной структуры класса В15 и фибропенобетона марки по плотности D700, армированные одинаковыми каркасами из ненапрягаемой арматуры [7]. Перемычки изготавливали в металлической опалубке. Перед бетонированием на арматуру растянутой и сжатой зон наклеивали электротензодатчики базой 20 мм с последующей влагоизоляцией и выводом концов на поверхность перемычек. Перемычки армировали в продольном направлении растянутой зоны — арматурными стержнями периодического профиля Ø12A400 (АПП); сжатой зоны — стержнями из гладкой арматурной стали Ø8A240 (АГ). Поперечные арматурные стержни из горячекатаной гладкой стали Ø6A240 (АГ) устанавливали с шагом 150 мм в крайних третях пролета и 250 (300) мм в середине пролета.

Испытания перемычек осуществляли в возрасте 28 суток в соответствии с требованиями ГОСТа [6] по схеме однопролетных свободно лежащих балок, симметрично нагруженных двумя сосредоточенными силами, приложенными в третях пролета. Нагружение осуществляли ступенями по 0,05–0,1 от ожидаемой разрушающей нагрузки с выдержкой между ступенями в течение 10 мин. На каждом этапе нагружения измеряли и фиксировали:

- деформации в бетоне и арматуре;
- прогибы в середине пролета;
- осадку опор;
- ширину раскрытия трещин.

Показания тензодатчиков фиксировали автоматически измерителем деформации ИДЦ - 1. Все показания дублировались. Момент образования трещин определяли визуально и уточняли по кривым деформирования бетона.

Экспериментально установлено, что в изделиях из фибропенобетона средней плотности D700, армированных металлическими каркасами из ненапрягаемой арматуры, момент образования первой трещины наступает при нагрузках, не менее чем в 1,5 раза превышающих нагрузку, необходимую для образования трещины в растянутой зоне изделий из бетона слитной структуры класса В15. При одинаковых нагрузках на изделия из бетона слитной структуры и фибропенобетона ширина раскрытия трещин на изделиях из фибропенобетона в 1,5–1,8 раза меньше, чем на изделиях из бетона слитной структуры. Это обеспечило снижение прогибов на 6–8%. Прочность нормальных сечений изгибаемых элементов из фибропенобетона D700, армированных ненапрягаемой арматурой, повышается на 10–15% по сравнению с прочностью нормальных сечений в перемычках из бетона слитной структуры.

В испытательной лаборатории кафедры железобетонных конструкций Ростовского государственного строительного университета при участии авторов были проведены испытания серии перемычек заводского изготовления размером 2700×120×250 мм со средней плотностью фибробетона 700 кг/м³. Испытаниям подвергались изделия из партий перемычек (по ТУ 5828-035-02069119–2004 «Перемычки из фиброжелезобетона»), предназначенных для установки в жилом 16-этажном доме, возводимом ОАО «Дон Спарк» в Ростове-на-Дону.

Испытания перемычек в возрасте 28–32 суток внешней нагрузкой проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 8829–94 по схеме однопролетных свободно



Рис. 5. Испытания фибропеножелезобетонных перемычек заводского изготовления

лежащих балок, симметрично загружавшихся двумя сосредоточенными силами, приложенными в четвертях пролета. Общий вид установки показан на рис. 5.

Установлено, что разрушение перемычек заводского изготовления, так же как и опытных, носило вязкий характер и произошло на приопорных участках по наклонным (или нормальным) сечениям растянутой зоны. Экспериментально установлено, что в изделиях заводского изготовления момент образования первой трещины наступает при нагрузках 530–590 кгс, т. е. в 1,2–1,4 раза превышающих нагрузку, необходимую для образования трещин в растянутой зоне изделий из бетона слитной структуры класса В15. Таким образом, проведенные испытания подтвердили достоверность выводов о положительном влиянии дисперсного армирования на прочностные и деформативные свойства пенобетона естественного твердения, применяемого в изгибаемых конструктивных элементах, армированных металлическими каркасами [7].

На основании изложенного сделан вывод, что применение неавтоклавного фибропенобетона марок D700 и выше в производстве перемычек, армированных стержневой ненапрягаемой арматурой, для гражданского строительства по сравнению с использованием традиционных бетонов слитной структуры позволяет достигать следующих преимуществ:

- увеличивать прочность нормальных сечений до 10%;
- уменьшать прогибы до 30%;
- уменьшать ширину раскрытия трещин на 20% и не разрушаться на осколочные части под действием нагрузок;
- снижать материалоемкость перемычек в 2–2,5 раза по отношению к равнопрочным перемычкам, изготовляемым из тяжелых бетонов;
- обеспечивать безопасность работы конструктивных элементов в критических ситуациях за счет вязкого характера разрушения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что расширение применения фибропенобетона неавтоклавного твердения для изготовления изгибаемых конструкций может способствовать повышению сейсмоустойчивости зданий и комплексному энерго- и ресурсосбережению в строительстве.

Ключевые слова: ячеистый бетон, сейсмоуязвимость, стеновые материалы

Список литературы

1. Федеральная целевая программа «Сейсмотехника территории России» (2002–2010 гг.)
2. *Федин А.А.* Научно-технические основы производства и применения силикатного ячеистого бетона. М.: ГАСИС, 2002. 264 с.
3. *Пирадов К.А., Бисенов К.А., Абдуллаев К.У.* Механика разрушения бетона и железобетона. Алматы, 2000. 306 с.
4. *Моргун Л.В.* Механизм формирования пониженной проницаемости в фибробетонах слитной и ячеистой структур // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2003. № 4. С. 84–88.
5. *Айрапетов Г.В. и др.* Эффективные стеновые изделия для восстановления объектов, пострадавших от стихийных бедствий и локальных конфликтов // Промышленное и гражданское строительство. 2003. № 7. С. 54–56.
6. ГОСТ 8829–94. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагрузением и оценка прочности, жесткости и трещиностойкости. М.: МНТКС, 1994. 27 с.
7. *Моргун Л.В., Коробкин А.П., Богатина А.Ю., Моргун В.Н.* Железобетонная перемычка. Патент РФ на полезную модель №32514.

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь,
Научно-исследовательское и проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «Институт НИИСМ»,
Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие по строительству «Институт БелНИИС»,
Редакция журнала «Архитектура и строительство»
Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью «Стринко»

26–28 мая 2010 г. г. Минск

Международная научно-практическая конференция ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ



Программой конференции предусмотрено:

26 мая 2010 г.

- ◆ пленарное заседание конференции
- ◆ презентация 3-й редакции книги «Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика»

27 мая 2010 г.

Посещение действующего производства ячеистого бетона на ОАО «Минский комбинат силикатных изделий», осмотр объектов строительства Минска.

28 мая 2010 г. Работа по секциям

- Секция №1. Создание (модернизация) заводов по производству ячеистого бетона автоклавного твердения.
- Секция №2. Выработка стратегии реализации ячеистобетонной продукции применительно к условиям регионов.
- Секция №3. Новые архитектурно-строительные системы. Особенности проектирования объектов на основе каркаса с наружными ограждающими конструкциями из ячеистого бетона.

Принимаются заявки на проведение докладов и презентаций. Заявку на участие в конференции, на выступление и презентацию можно скачать с сайта www.ais.by

**220005 Минск, ул. Платонова, 22, к. 705.
Тел./факс (+375 17) 292 49 56, 292 79 43, 292 79 44, моб. (+375 29) 611 66 20
26 - 28 мая 2010 г. E-mail: bsr@telecom.by**



«СтройСиб–2010»

ПОВОД ДЛЯ ОПТИМИЗМА ЕСТЬ



В Новосибирске со 2 по 5 февраля 2010 г. прошла Первая неделя строительного форума «СтройСиб-2010». В выставочном комплексе Сибирская Ярмарка общей площадью около 8 тыс. м² разместилось более 300 участников из многих регионов России, Германии, Финляндии, Турции, Бельгии, Южной Кореи, Италии и Китая.

Главным мероприятием первого дня выставки стало подведение итогов работы строительного комплекса Новосибирской области в 2009 г. и постановка задач на 2010 г. Губернатор В.А. Толоконский оценил эффективность мер господдержки.



Губернатор Новосибирской области В.А. Толоконский

Он отметил, что программа государственных гарантий застройщикам по банковским кредитам оказалась малоэффективной, однако хорошо сработали другие программы: закупка жилья для военнослужащих, выпускников детских домов, служебных квартир и т. д., а также государственные субсидии частным лицам на покупку квартир. Благодаря этому показатель ввода жилья на тысячу жителей в Новосибирской области оказался на треть выше, чем в среднем по стране. В.А. Толоконский отметил, что в 2010 г. средства областного бюджета будут вкладывать в развитие инфраструктуры и в дальнейшее стимулирование строительного рынка.

В докладе заместителя губернатора Новосибирской области, руководителя департамента строительства и жилищно-коммунального хозяйства В.А. Анисимова был представлен отчет о работе строительного комплекса за 2009 г.

Так, по словам Владимира Александровича, в 2009 г. на территории Новосибирской области было введено 1,2 млн м² жилья, в том числе юридическими лицами – 874,5 тыс. м² и физическими – 337,8 тыс. м². Это составило 20% от всего объема

жилья, введенного в Сибирском федеральном округе.

Объемы государственной поддержки за счет областного и федерального бюджета составили: на инженерное обустройство индивидуального жилищного строительства и строительство инженерных коммуникаций к многоквартирным жилым домам в районах области – 57,2 млн р.; градостроительное проектирование – 500 тыс. р.; строительство служебного жилья – 54,4 млн р.; на государственную поддержку молодых семей при приобретении или строительстве жилья – 74,3 млн р. в том числе 33,9 млн р. из федерального бюджета; мероприятия по переселению граждан из ветхого и аварийного жилищного фонда – 1,3 млрд р. в том числе 957 млн р. – средства Фонда содействия реформированию ЖКХ; мероприятия «Обеспечение земельных участков коммунальной инфраструктурой в целях жилищного строительства» ФЦП «Жилище» – 1,2 млрд р. в том числе 1 млрд р. из федерального бюджета; капитальный ремонт многоквартирных домов – 835,3 млн р. в том числе 824,2 млн р. – средства Фонда содействия реформированию ЖКХ. Всего объем инвестиций на капитальные вложения составил 6,4 млрд р. в том числе областной бюджет – 3,37 млрд р. и федеральный бюджет – 3,05 млрд р.

Особо отмечено, что в непростое кризисное время на территории Новосибирской области было введено четыре крупных предприятия промышленности строительных материалов: Государственное унитарное предприятие «Венгеровский лесхоз» по производству мелкостручных стеновых изделий из ячеистого бетона производительностью 120 тыс. шт. усл. кирпича/год; ЗАО «Бердский строительный трест» по производству железобетонных изделий, преднапряженных плит перекрытий, стеновых панелей и т. д. производительностью 19,5 тыс. м³/год; ООО «Сибирский завод металлоконструкций» по производству металлоконструкций, опор, колонн, ферм,

балок производительностью 12 тыс. т/год; ООО «Ликолор» по производству кирпича производительностью 63 млн шт./год.

Рассматривая статистику производства строительного кирпича в области, можно отметить, что в период 2005–2008 гг. был значительный рост выпуска данной продукции с 210 до 304 млн шт. усл. кирпича/год. Однако, как и следовало ожидать, эта цифра в 2009 г. уменьшилась приблизительно на 28%, но осталась на уровне 2007 г.

Численные данные о производстве сборного железобетона соответствуют кривой нормального распределения с максимумом в 2007 г. (886 тыс. м³). И уже в 2008 г. наблюдался спад производства примерно на 7%, а в 2009 г. – снижение еще на 36% относительно 2008 г.

Ситуация в цементной промышленности сходна с картиной производства кирпича. С 2005 г. был ежегодный рост производства. К 2008 г. объем выпускаемого цемента вырос до 1,84 млн т/год. В прошедшем году производство сократилось до 1,4 млн т/год.

В конце своего выступления В.А. Анисимов озвучил планы строительного комплекса и органов государственной власти на 2010 г. Основными задачами станет ввод жилья на территории Новосибирской области (не менее 1,05 млн м²); инженерное обустройство территорий, в том числе газификация, не менее 3,5 тыс. домовладений (квартир); ликвидация не менее 16 тыс. м² ветхого и аварий-



Заместитель губернатора Новосибирской области В.А. Анисимов



Стенд журнала «Строительные материалы»[®] привлекал большое количество посетителей



ООО «Стройкерамика» (Новосибирск) продемонстрировало многообразие выпускаемой продукции



Завод «ЭнергоТех» (г. Барнаул) представил деревообрабатывающее оборудование

ного жилого фонда; обеспечение перехода строительной отрасли Новосибирской области на работу в условиях саморегулирования.

По сложившейся традиции значительную часть экспозиции заняли производители светопрозрачных конструкций и ПВХ-профиля profine, VEKA, LG, REHAU, Decouinck, aluplast и т. д. А также можно было ознакомиться с разработками ведущих компаний отрасли из России и зарубежья: Dupont, Basf, 3M, Isover, Rockwool, Алотех-Сибирь, Ruukki, DoorHan и других.

Особое внимание посетителей вызвала новинка международной компании Decouinck (подразделение в России ООО «Декёинк Рус») — энергосберегающая оконная система «Prestige plus» («Престиж плюс»). Основной отличительной чертой системы является высокий коэффициент сопротивления теплопередаче $R_0 = 1,44 \text{ м}^2 \cdot \text{С} / \text{Вт}$, что подтверждает протокол испытаний НИИ строительной физики. В конструкции переплета реализованы решения, улучшающие теплоизоляционные свойства окна, такие как: 6 камер профиля, толщина 96/84 мм (рама/створка), композитное армирование и теплоизоляционные вставки из неопора.

ООО «Сибирский комбинат строительных материалов» (Новосибирск) представил на выставке

сэндвич-панели «СКСМ», которые производятся на автоматизированной технологической линии «Hilleng» (Австралия). Они представляют собой трехслойные структурные панели с облицовочными слоями из стального горячеоцинкованного полимерного профилированного листа толщиной 0,55–0,75 мм для стеновых и кровельных панелей и средним теплоизоляционным слоем из минераловатной плиты с поперечно-ориентированными волокнами плотностью 110–150 кг/м³. Благодаря такой конструкции панели обладают высокой сопротивляемостью механическим воздействиям и повышенными тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Группа компаний «Памир» (Новосибирск) предложила вниманию посетителей SIP-панель «WOOLBERG». Эти панели состоят из двух ориентированных стружечных OSB-плит (ориентированная плоско-стружечная плита), между которыми под давлением приклеивается слой твердого шарикового пенополистирола (пенопласта) в качестве утеплителя. Эти панели используются в качестве пола, стен, перекрытий и крышных конструкций. Панели выдерживают вертикальную нагрузку до 30 т на одну панель шириной 1,25 м. Среди готовых

проектов из SIP-панелей можно подобрать дома для семей с любым финансовым достатком.

Экспозицию выставки дополняла и насыщенная деловая программа форума. Помимо общих мероприятий, где обсуждали последние тенденции рынка, многие компании провели презентации своей продукции в формате специализированных семинаров для профессионалов.

Состоялось выездное совещание национального объединения саморегулируемых организаций строителей «Обеспечение безопасности и надежности зданий и сооружений в условиях саморегулирования в строительной отрасли». Заместитель председателя Комитета Торгово-промышленной палаты по предпринимательству в сфере строительства и ЖКХ Л.С. Баринава рассказала о том, какие изменения в работу застройщиков и контролирующих органов внесет новый «Закон о безопасности зданий и сооружений», принятый Госдумой 23 декабря 2009 г. и одобренный Советом Федерации 25 декабря. Участники также обсудили и опыт формирования СПО на примере соседних областей и регионов.

Большой интерес специалистов вызвал семинар «Экология и новые технологии в строительном матери-



На открытой площадке компания ООО «Тайфун Рус» (Москва) представила протесор для производства дров РЦА 400 JOY



Компания ООО «ЕТС» (г. Барнаул) продемонстрировала участникам выставки спиральные транспортеры



Интересный ход в оформлении стенда привлекал внимание многих посетителей выставки



И.А. Чижиков представил доклад о материалах торгового дома ФНМ-Туймазы

«ловедению», организатором которого выступил Новосибирский государственный аграрный университет при поддержке журнала «Строительные материалы»®. Основным идейным организатором семинара — А.П. Пичугин, д-р техн. наук, профессор, декан факультета градостроительного и муниципального управления, заведующий кафедрой теоретической и прикладной физики, член редакционного совета журнала «Строительные материалы»®.

Доклад «Перспективы получения качественных материалов с использованием нанотехнологий» открывал семинар. В нем Г.И. Бердов (д-р техн. наук, Сибстрин) подчеркнул, что наноразмерные материалы вряд ли когда-то получат широкомасштабное распространение в производстве строительных материалов. Он отметил, что в производстве керамического кирпича с использованием наночастиц при прохождении всех сложных процессов прессования и обжига конечный продукт получается такого же качества, как и при обычном производстве. Однако совершенно другое влияние на свойства материалов имеют нанопроцессы, происходящие в ограниченных областях, сравнимых с размерами атомов или молекул. На эти процессы обращалось



А.Е. Бурученко

мало внимания, ученые были более озабочены вопросами состава строительных материалов, технологических режимов и т. д., однако эти процессы дают реальную возможность улучшить свойства материалов. Этим процессам несколько, наиболее важные из них — межфазное взаимодействие, адсорбция и т. д. Именно эти процессы требуют внимания в изучении их с точки зрения нанотехнологий.

Н.А. Машкин (д-р техн. наук, Сибстрин) посвятил свой доклад памяти ученых Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета. Г.И. Книгина всю свою научную деятельность посвятила вопросам разработки эффективных строительных материалов на минеральной основе из природного и техногенного сырья. В.М. Хрулев занимался исследованиями композиционных материалов для строительства. Н.А. Машкин отметил, что уже многие годы ведутся различные работы, направленные на утилизацию отходов, однако то огромное количество отходов, которые зачастую окружают промышленные города, свидетельствует не столько о неэффективности имеющихся технологий, сколько об их недостаточном внедрении.

Профессор А.Е. Бурученко (д-р техн. наук, Сибирский федераль-

ный университет, Красноярск) проанализировал ситуацию с вторичным сырьем в Красноярске и области. Он отметил, что огромное количество предприятий ежегодно выбрасывает в отвал тонны отходов, которые накапливаются со временем. Многие отходы могут быть использованы для производства строительных материалов. Однако вместо использования данного сырья предпочитают закупать строительные материалы за границей. Например, тротуары в Красноярске вымощены импортной плиткой, хотя есть возможность производства ситаллов прекрасного качества из отходов Ачинского глиноземного комбината, которые намного долговечнее. И пусть их производство немного дороже, чем производство тротуарной плитки, они гарантированно будут служить дольше.

Также было подчеркнуто, что необходимо тщательно проанализировать все свойства отходов и исходя из них подбирать области применения. Одним из таких примеров служит использование суглинков для производства плитки. Этого вида сырья в Красноярске очень много, однако оно незаслуженно забыто из-за маленького интервала спекания (примерно 80°С). Однако, проведя исследования отходов электрофильтров алюминиевого завода, было установлено, что они пригодны для использования в качестве плавней (введение до 12% приводит к увеличению интервала спекания до 180°С).

По мнению Г.И. Стороженко (д-р техн. наук, директор ООО «НПП Баскей», Новосибирск), в ближайшее время решения вопроса использования отходов в нашей стране не предвидится. На примере разработки коллеги из Новокузнецка он прокомментировал, что какой бы хорошей ни была разработка, нет возможности ее реализации без ка-



Г.И. Бердов (слева) и А.П. Пичугин (справа)



Участники семинара



Сохранение деревянного наследия в центре мегаполиса



Коттеджное строительство в окрестностях Новосибирска

питаловложений. И проблема использования вторичного сырья для производства строительных материалов может быть решена только после того, как будут затрачены большие средства на геологическую разведку отвалов, строительство новых заводов и т. д.

Однако доклад В.Ф. Хританкова (канд. техн. наук, НГАУ) позволил посмотреть на эту проблему с более оптимистичной стороны. Уже довольно большое время в Новосибирске ведутся разработки по получению легких бетонов с использованием органического заполнителя

преимущественно растительного происхождения. Суть технологии в том, что перед введением заполнителя в бетон проводят специальную обработку органического материала – его гранулируют и покрывают специальной оболочкой, которая, с одной стороны, повышает прочностные характеристики полученных гранул, а с другой является хорошим изолятором, который противодействует выделению вредных веществ и исключает контакт с цементным камнем. Бетон с таким наполнителем имеет очень хорошее звукопоглощение, что так необходимо в сов-

ременном мире. Это направление не только теоретически отработано, но и нашло практическое применение.

СтройСиб-2010 подтвердил статус самого большого строительного форума за Уралом. Он стал деловой площадкой для взаимодействия всех компаний строительной индустрии, а также для смежных видов бизнеса. Такое деловое общение всех участников рынка способствует не только укреплению бизнеса, но и развитию отрасли в целом.

Тамара Юмашева



Стилизация под старину



Современные высотные дома – сочетание технологий и декора

УДК 691.327.333

А.М. ГЛУШКОВ, В.М. СМИРНОВ, ООО «Альянс» (г. Москва)

Технологический комплекс ПБК-Р для производства неавтоклавного пенобетона

Неавтоклавный пенобетон – экологически чистый, легкий, влагостойкий, морозостойкий, конструкционный, теплоизоляционный, искусственный пористый строительный материал, с равномерно распределенными закрытыми воздушными ячейками-порами диаметром 0,1–1 мм, занимающими от 40 до 90% объема всего бетона. Это наиболее доступный и эффективный материал для наружных стен, перегородок, покрытий и перекрытий каркасных и монолитных зданий для малоэтажного строительства и возведения мансардных этажей при реконструкции зданий. Конструкции из такого материала по комфортности проживания и экологической безопасности занимают второе место после древесины, значительно превосходя ее по долговечности. Пенобетон не горит, эффективно защищает другие материалы от возгорания, обладает хорошими тепло- и звукоизолирующими свойствами. Ячеистый бетон благодаря своим исключительным достоинствам получил широкое распространение в странах Скандинавии, Западной и Центральной Европы, в США, Канаде, Японии. В России производителями неавтоклавного пенобетона, как правило, являются небольшие предприятия.

В зависимости от назначения можно производить неавтоклавный пенобетон в широком диапазоне физико-механических свойств:

- теплоизоляционный плотностью 300–500 кг/м³;
- конструкционно-теплоизоляционный плотностью 500–800 кг/м³.

Технологическая схема производства неавтоклавного пенобетона представлена на рис. 1.

ООО «Альянс» разработало технологию и оборудование, серийно производит и поставляет технологический комплекс ПБК-Р для производства пенобетонных смесей на основе минеральных вяжущих, заполнителей, пенообразователя и воды. Технологический комплекс ПБК-Р предназначен для эксплуатации в стационарных условиях при положительных температурах (+5–40°С).

В основной комплекс входит следующее оборудование:

1. Установка для приготовления пенобетона ПБУ-1,5/6 с пеногенератором ($V=1,45 \text{ м}^3$; $P=0,07 \text{ МПа}$; $n=56 \text{ об/мин}$; $N=3,5 \text{ кВт}$).
2. Установка для приготовления раствора пенообразователя СПО-3 ($V=2 \times 1,5 \text{ м}^3$; $N=20 \text{ кВт}$).
3. Формы металлические ФР-1,2 ($V=1,35 \text{ м}^3$).
4. Комплекс резательный мобильный МРК-3.
5. Устройство для распалубки форм РУ-1 ($G/P=1 \text{ т}$; $N=0,65 \text{ кВт}$).
6. Устройство грузозахватное ПГ-1.
7. Устройство для просева песка ПП-1.
8. Компрессор К-25 ($P=1,0 \text{ МПа}$; $Q=500 \text{ л/мин}$).

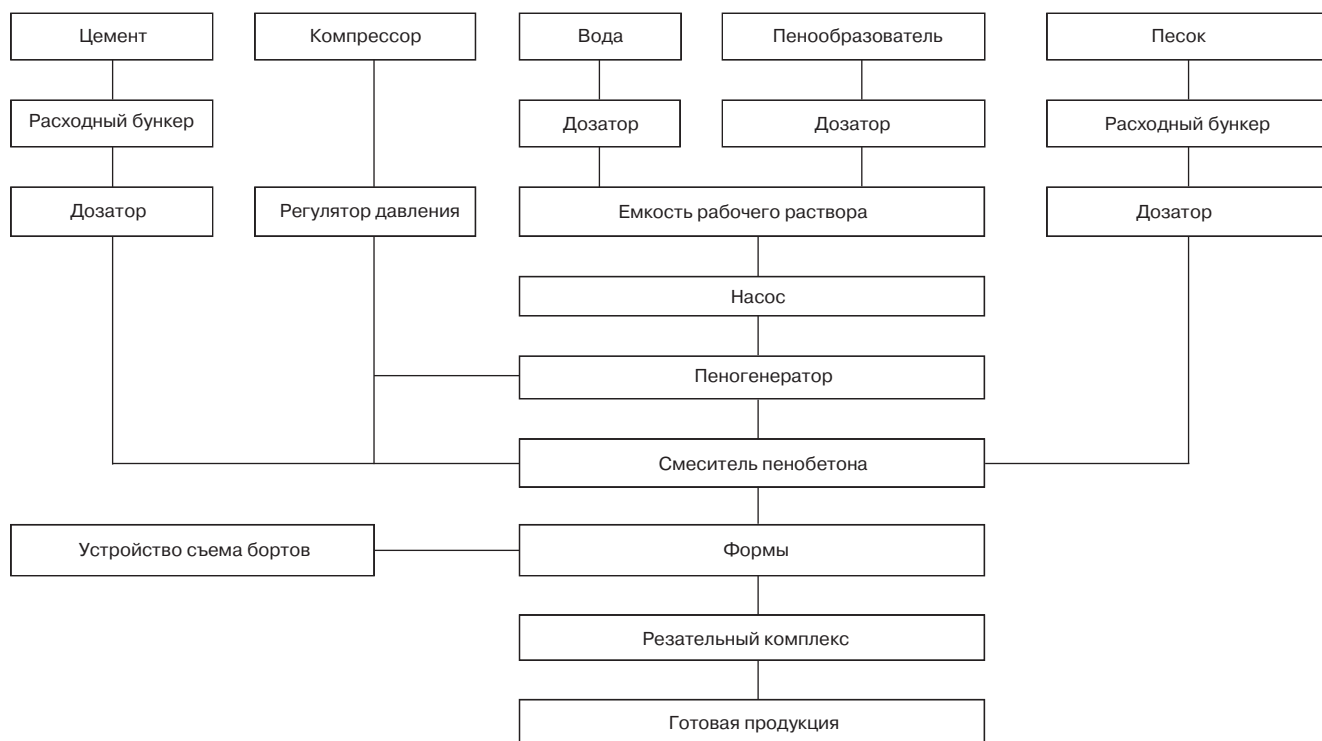


Рис. 1. Технологическая схема производства неавтоклавного пенобетона



Рис. 2. Металлические формы

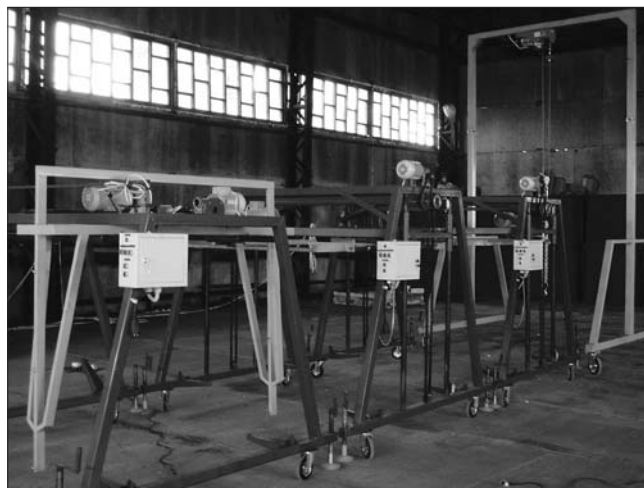


Рис. 3. Передвижной резательный комплекс МКР-3

Комплектация поставляемого оборудования производится по согласованию с заказчиком, предусмотрена как частичная комплектация, так и возможность изготовления дополнительного оборудования в соответствии с технологической схемой создаваемого или реконструируемого производства.

Основной технологический комплекс, оптимальный по степени механизации и стоимости, имеет следующие технические характеристики:

- производительность не менее 6 м³/час;
- установленная мощность оборудования 45 кВт;
- габаритные размеры 14×3×1,8 м;
- общая масса оборудования не более 15 т;
- вид потребляемого электрического тока 3-фазный, 50 Гц, 380 В;
- производственная площадь не более 700 м².

Этот комплекс предназначен для устройства как монолитных массивов из пенобетона средней плотностью 300–900 кг/м³ (в сухом состоянии), так и для производства стеновых блоков средней плотностью 250–1200 кг/м³ и других штучных изделий.

Разработанные технологии и оборудование (они запатентованы) объединяют в одном комплексе способ получения пенобетонной массы, ее транспортировку (подачу) непосредственно на объект, заливку пеномассы в металлические формы, самотермообработку и резку массива на блоки заданных размеров. В данной технологии разработан и эффективно исполь-

зуется принцип тепловой самотермообработки пенобетона за счет внутреннего энергетического потенциала твердеющего цемента. Технологией предусмотрен рациональный и эффективный процесс смешивания методом сухой минерализации низкократной технологической пены с вяжущими и заполнителями (песком, золой или др.) внутри герметичного смесителя. Полученную массу можно транспортировать на большое расстояние (по горизонтали до 100 м, по вертикали до 30 м), так как герметичный смеситель выполняет функцию и пневмокамерного насоса. Такая технология позволяет изготавливать теплоизоляционные (средней плотностью 300–500 кг/м³), теплоизоляционно-конструкционные (средней плотностью 500–800 кг/м³) материалы и изделия. Пеномассу заливают в металлические формы со съемными бортами дно которых оборудовано системой подогрева (рис. 2). Залитую форму накрывают гидротермоколпаком. Через пять часов по окончании заливки формы гидротермоколпак снимают, борта формы удаляют с помощью устройства для распалубки. К этому моменту температура массива достигает 50–60°С, и к раскрытому массиву подгоняют передвижной резательный комплекс МКР-3 (рис. 3), который последовательно обеспечивает продольную, поперечную и горизонтальную резку массива на изделия заданных размеров. Резку осуществляют струнами или ленточными пилами, что позволяет получать раз-



Рис. 4. Укрытие разрезанных массивов гидротермоколпаками



Рис. 5. Готовая продукция на складе

Плотность пенобетона в сухом состоянии, кг/м ³	Расход сырьевых компонентов на 1 м ³ пенобетона				Коэф. теплопроводности, Вт/м·К*	Прочность на сжатие через 28 сут. твердения, кгс/см ²	Морозостойкость, циклов	Водопоглощение, %
	Цемент, кг	Песка, кг	Воды, л	Пенообразователя, мл				
250	220	–	200	600	0,055	3	–	7–9
400	350	–	250	600	0,1	10	25	6–8
500	390	60	250	500	0,12	14	25	6–8
700	420	220	250	500	0,18	28	35	5–7
900	460	370	300	500	0,24	40	35	5–7

меры изделий с точностью ±1 мм. Разрезанные массивы накрывают гидротермоколпаками (рис. 4), что обеспечивает равномерный его прогрев, и выдерживают 10 ч. За это время массив нагревается до 90°С без внешнего подвода тепла, и на момент съема продукции с поддона формы пенобетон набирает до 70% прочности при сжатии. Операции по заливке пеномассы в форму, выдержки перед резкой, резка массива и самотермообработка массива осуществляются без транспортных манипуляций. Изделия укладывают на транспортные поддоны, упаковывают полиэтиленовой пленкой и вывозят на склад (рис. 5).

Разработанная технология и оборудование позволили получить однородные и прочные изделия из неавтоклавного пенобетона, свойства которого приведены в таблице. Усадка полученного пенобетона средней плотностью 600–800 кг/м³ составляет около 0,8 мм/м.

Существенно может быть снижена усадка неавтоклавного пенобетона путем ввода в состав смеси высокоалюминатных и сульфоалюминатных добавок, обладающих расширяющимся эффектом. Введение в состав смеси глиноземистого цемента взамен части портландцемента также дает положительные результаты. Эти же добавки являются эффективными регуляторами сроков схватывания и твердения ячеистых бетонов.

Разработанные в ООО «АЛЬЯНС» технологии и оборудование для производства неавтоклавного пенобетона средней плотностью 300–800 кг/м³, которые по своим потребительским свойствам не уступают зарубежным образцам, а по цене значительно ниже, поставлены и успешно эксплуатируются в различных регионах РФ (Ленинградская обл., Хабаровск, Иркутск, Екатеринбург, Тюмень, Якутия и др.), в странах ближнего (Республика Беларусь, Казахстан) и дальнего зарубежья (Чили, Монголия, Аргентина и др.).

ООО «АЛЬЯНС»

Разрабатывает и поставляет технологию и оборудование для производства неавтоклавного пенобетона и легких строительных материалов:

технологический комплекс ПБК-Р
производительностью 2–12 м³/ч
для производства неавтоклавного пенобетона
средней плотностью 300–800 кг/м³

◆
резательный мобильный комплекс

◆
активатор цемента

◆
металлические формы для заливки массивов
и кассетные для производства
штучных изделий

◆
разрабатывает и поставляет технологию и
оборудование для межотраслевых производств

E-mail: v-m-smirnov@mail.ru
www.stroyall.com

Тел. моб. 8-962-911-87-08
Смирнов Виктор Макарович

Реклама

Информационно-консалтинговая фирма

«ИТКОР»

предлагает

сборник материалов конференции



**«Строительство и промышленность
строительных материалов в цифрах и фактах:
итоги 2009 года, перспективы 2010 года»**

В сборник включены:

- статистические материалы «Динамика инвестиций, строительства и состояния промышленности строительных материалов в период 2005–2009 гг.» (36 рис., 8 табл.);
- тезисы докладов и презентации выступлений на конференции ведущих специалистов предприятий, руководителей профессиональных ассоциаций и союзов (46 рис., 11 таб.).

Подробная информация представлена на сайте ИКФ «ИТКОР» www.ikf-itcor.ru в разделе Новости

**Стоимость сборника на компакт-диске
2 тыс. р. (с НДС).**

**По вопросам приобретения обращаться
по телефону: (495) 232-47-56,
E-mail: ikf-itcor@ikf-itcor.ru
Савостьянова Елена Александровна**

Л.Д. ШАХОВА, д-р техн. наук, БГТУ им. В.Г. Шухова; С.А. САМБОРСКИЙ, ген. директор ООО «СОТИМ», г. Старый Оскол; Ж.А. ПАЛАЛАНЕ, инженер, БГТУ им. В.Г. Шухова

Причины деформационных усадок пенобетонов

Важное практическое значение в формировании здорового экологически чистого жилища имеют разрабатываемые в настоящее время государственный санитарно-экологический стандарт жилища и технической регламент на строительные материалы и изделия. Переход на многослойные конструкции с использованием пенополистирола, минеральной ваты и других теплоизоляционных материалов не всегда оправдан из-за того, что планируемый срок службы зданий, возводимых с их применением, значительно превышает фактический срок нормальной эксплуатации этих материалов. Расширение использования таких конструкций сдерживается также их недостаточной огнестойкостью, вредным экологическим воздействием на человека при пожаре и рядом других факторов.

Оптимальным решением проблемы повышения экологичности жилья и теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий, снижения стоимости их возведения может стать использование для их производства теплоизоляционного пенобетона. Этот материал выгодно отличается своими характеристиками от многих традиционных теплоизоляционных материалов.

Одним из существенных недостатков пенобетонов являются значительные усадочные деформации, приводящие к образованию на поверхности и по объему изделий трещин, что значительно снижает строительно-эксплуатационные показатели изделий. Особенно подвержены трещинообразованию пенобетонные изделия средней плотностью ниже 600 кг/м^3 . Как показал анализ литературных источников, причины и механизм усадки и трещинообразования в высокопористом пенобетоне в результате усадочных деформаций еще недостаточно изучены [1, 2]. Как правило, в литературе по пенобетону большое внимание уделяется только усадочным явлениям, возникающим в процессе эксплуатации. Причем анализ деформаций ведется с точки зрения тяжелых бетонов без учета особенностей технологии и структуры высокопористованных материалов.

Длительный опыт промышленного выпуска пенобетонов разной плотности показал, что закономерности, существующие в технологии тяжелых бетонов, неприменимы для поризованных бетонов, особенно низкой плотности.

На сегодняшний день закономерности, определяющие устойчивость поризованных минеральных систем на стадии формования, а также взаимосвязи свойств готовых изделий с технологическими параметрами его изготовления, находятся в стадии разработки и обоснования научно-технических основ.

Длительные наблюдения процесса изготовления на промышленных установках, а также целенаправленные исследования процессов деформации в лабораторных условиях позволили классифицировать деформационные усадочные явления пенобетона:

первичные (технологические) — деформационные трещины, возникшие в теле пенобетонного массива в течение первых 7 сут;

вторичные (эксплуатационные) — деформационные усадочные трещины, возникающие в пенобетонных изделиях в процессе эксплуатации.

Факторы, определяющие деформационные изменения на каждом этапе изготовления и эксплуатации, представлены на рис. 1.

Деформационные усадочные явления в пенобетоне отмечаются в течение первого месяца и более. Следует отметить, что первичные (технологические) причины деформаций пенобетонов в дальнейшем определяют и вторичные (эксплуатационные) деформации. При неправильно выбранных сырьевых компонентах, несоблюдении тепловлажностного режима твердения и хранения на складе пенобетонные блоки при эксплуатации будут подвержены сильным усадочным явлениям. Это связано с формированием дефектной ячеистой структуры, имеющей капиллярные и сквозные поры, по которым атмосферная влага и углекислый газ будут поступать внутрь массива и вызывать при изменении тепловлажностных условий влажностную и карбонизационную усадку.

Особую роль в технологии пенобетона играет цемент, так как его удельная поверхность, вещественный и минералогический состав определяют химический потенциал на границе фаз, скорость схватывания и твердения цементного раствора. Кроме того, количество тепла, выделяющееся при твердении цемента, определяет температурные градиенты по глубине массива. Деформационные явления, связанные с температурными градиентами в теле пенобетонной массы, отмечались в работах [3, 4].

Деформации массива пенобетона, связанные с высоким содержанием трехкальциевого алюмината в цементе, были отмечены при выпуске пенобетона низкой плотности на турецком цементе СЕМ I 42,5 с удельной поверхностью свыше $440 \text{ м}^2/\text{кг}$ и содержанием C_3A до 12 мас.%, а также на цементе ПЦ500-Д0 ЗАО «Осколцемент» с удельной поверхностью $340 \text{ м}^2/\text{кг}$ и содержанием $\text{C}_3\text{A} = 11,2 \text{ мас.}\%$ (ООО «СОТИМ» г. Старый Оскол). При этом технологические параметры выпуска пенобетона плотностью $250\text{--}300 \text{ кг/м}^3$ были постоянными. При выпуске пенобетонов плотностью ниже $400 \text{ м}^2/\text{кг}$ используется, как правило, только цемент при расходе $300\text{--}400 \text{ кг/м}^3$ пенобетона. Количество выделившегося тепла в этом случае может достигать $180\text{--}200 \text{ МДж/м}^3$ пеноцементной массы. Из-за высокой скорости выделения теплоты и низкой теплоотдачи пенобетонной массы температура в центральной части пенобетонного образца достигала $80\text{--}90^\circ\text{C}$. При этом создавались внутренние температурные напряжения в пенобетонном массиве. Деформационные трещины шли от центрального ядра массива к периферии (рис. 2).

При выпуске пенобетона с заполнителем (плотность свыше 700 кг/м^3) в металлических формах с перегородками эти деформации менее заметны, так как выделившееся тепло при гидратации цемента расходуется на разогрев заполнителей, а металлические стенки и перегородки форм легко отводят тепло от центра массива.

В процессе формирования поризованной структуры большую роль играют поверхностное натяжение на границе жидкость—газ, определяемое свойствами пенообразователей. Выбор типа пенообразователя определяет устойчивость пенобетонной смеси до затвердевания и высокое качество пенобетона. При получении пенобетонов с низкой плотностью необходимо использовать

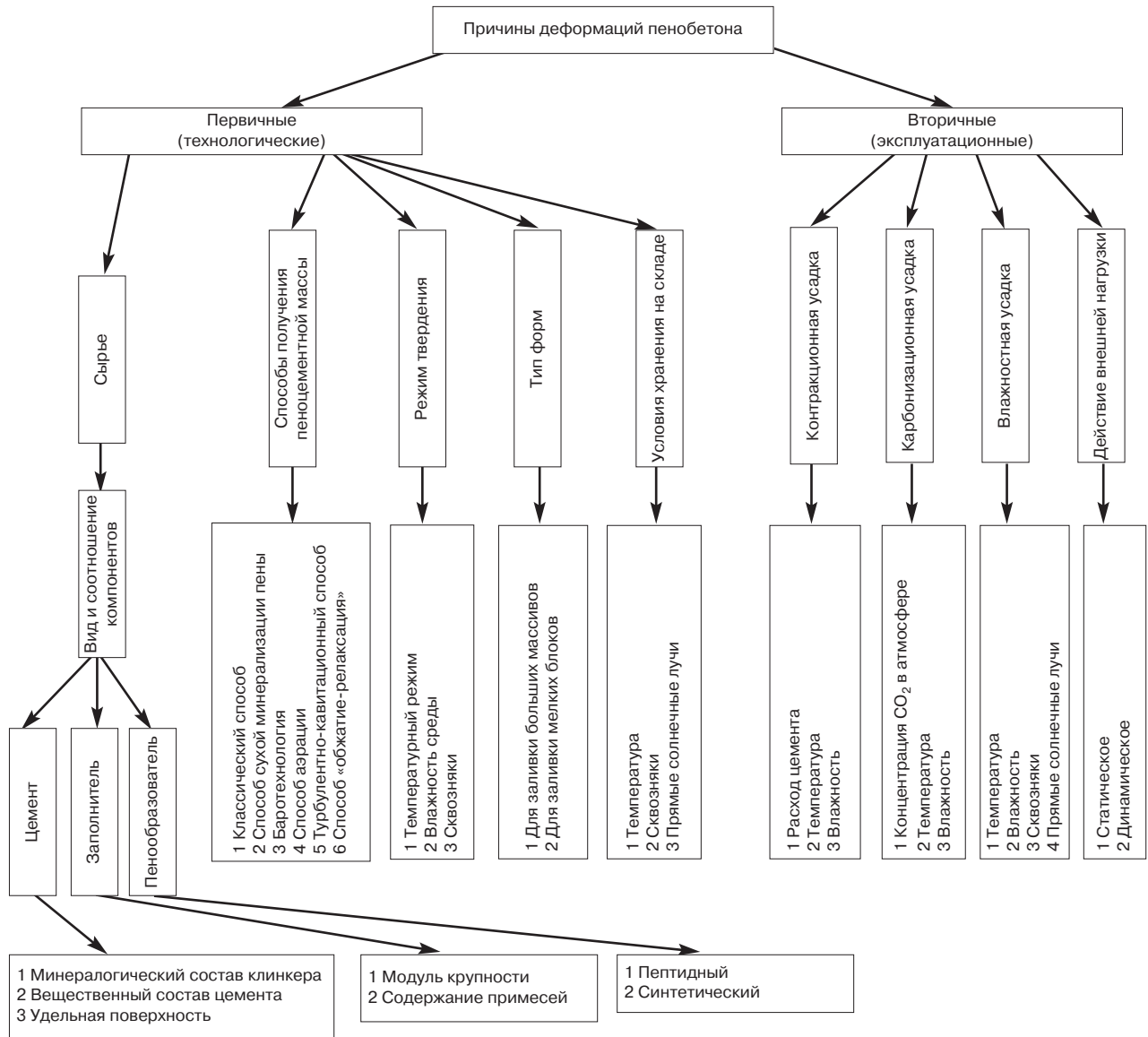


Рис. 1. Причины деформации пенобетона



Рис. 2. Деформации пенобетонных блоков: а – через 12 ч на турецком цементе; б – через 7 дней на оскольском цементе; в – через 10 ч на турецком цементе

пептидные пенообразователи, обладающие высокими структурно-механическими свойствами пенных пленок. При этом формируется мелкопористая структура с меньшим количеством сквозных пор (рис. 3).

Результаты наших многочисленных экспериментов и промышленный опыт выпуска пенобетонов плотностью 250–300 кг/м³ в ООО «СОТИМ» показывают, что прочность изделий на пептидных пенообразователях при равной плотности выше примерно на 15–50%,

чем у пенобетонов, изготовленных на синтетических пенообразователях.

Деформационные напряжения в пенобетонном массиве могут возникать в процессе смешивания компонентов. Однако такие данные пока не отслежены, так как провести сравнительный анализ не представляется возможным.

Из всех составляющих усадочных явлений наибольшую опасность представляют влажностная и карбониза-

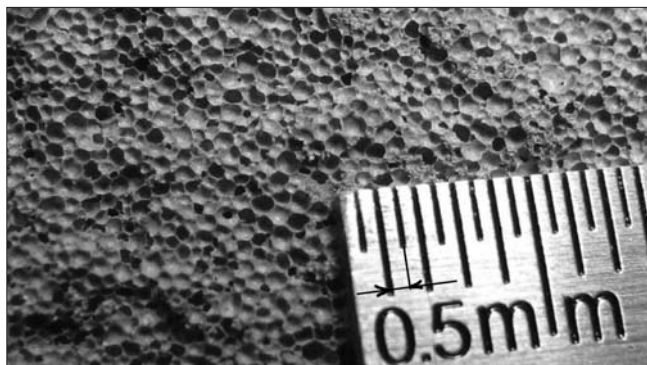


Рис. 3. Структура пенобетона на пептидном пенообразователе

ционная усадка. Пенобетон особенно сильно подвержен усадкам по двум причинам: пористость его способствует быстрому прониканию воздуха, а вместе с ним и влаги внутрь пенобетона, а поэтому он увлажняется или высыхает много быстрее, чем обыкновенный бетон на гравии или щебне. Практические наблюдения показывают, что высыхание с поверхности пенобетонных изделий происходит быстрее, чем изнутри. Быстрее всего высыхают кромки и углы изделий, а это ведет к тому, что усадка обнаруживается больше всего у углов, затем у ребер, по поверхности плит и меньше всего внутри, по середине. Вследствие протекания процессов массо- и теплопереноса наружные слои пенобетона стремятся сократиться, а внутренние части препятствуют сокращению. Это приводит к тому, что материал наружных слоев не выдерживает, появляются сначала очень тонкие и неглубокие трещины, а затем по мере дальнейшего высыхания трещины углубляются и расширяются. И чем слабее материал, тем легче появиться трещине, тем она будет опаснее. Для того чтобы усадка была одинаковой по всему объему, необходимо равномерное распределение влаги в бетоне по сечению изделия с небольшим влажностным градиентом. Такое распределение влаги будет зависеть как от внешних условий твердения (температура и влажность), так и от внутренних, определяемых капиллярно-пористой структурой бетона.

Карбонизационная усадка бетона и цементного камня зависит от множества внешних и внутренних факторов: относительной влажности атмосферного воздуха, проницаемости и пористости материала, температуры, давления, условий гидратации и влажности цементного камня, концентрации CO_2 в окружающей среде. Наибольшему влиянию карбонизации поддается гидроксид кальция $Ca(OH)_2$, входящий в состав продуктов гидратации. Для ячеистых бетонов, по данным некоторых исследователей, минимальное значение влажности, при котором реакция карбонизации не происходит, составляет 10–12%. Визуально образцы пенобетона, в которых проходит карбонизационная усадка, приобретают светло-желтый цвет. Особенно интенсивно карбонизационная усадка протекает в теплоизоляционных пенобетонах: чем меньше плотность пенобетона, тем легче углекислому газу проникнуть в глубь материала. У конструктивных же пенобетонов плотностью 700–900 кг/м³, пролежавших на открытом воздухе достаточно долго, на изломе образца четко видна граница раздела, по которому прошла реакция карбонизации.

Не менее важна последовательность протекания процессов высыхания и карбонизации. Она в значительной степени определяет величину общей усадки цементного камня. Одновременное высыхание и карбонизация бетона приводят к меньшей усадке, чем в случае, когда карбонизация происходит после высыхания, так как в первом случае карбонизация происходит при относительной влажности более 50%, а при этих условиях усадка за счет карбонизации очень мала. Таким образом, в первую очередь необходимо выявить основные причины деформаций.

Для снижения технологических деформационных явлений в пенобетоне следует правильно выбирать тип цемента и пенообразователя, строго соблюдать технологические режимы твердения изделий. На ООО «СОТИМ» удалось дополнительно снизить усадочные явления в теплоизоляционном пенобетоне плотностью 250 кг/м³ путем применения мелкозернистых песков, полимерной микрофибры и обработки поверхности изделий специальными полимерными составами. Полимерные составы наносят на поверхность изделий, которые находятся в воздушно-влажном состоянии. При этом паро- и воздухопроницаемость снижаются всего на 10–15%.

Для снижения усадочных явлений, которые могут возникнуть в процессе монтажа и эксплуатации, следует ограждать изделия от сквозняков и попадания прямых солнечных лучей.

Ключевые слова: пенобетон, деформационная усадка, поризованная структура

Список литературы

1. Каримов И. Усадка цементного камня и бетона при высыхании (литературный обзор) [Электронный ресурс] Уфа. 2006. 15 с. Режим доступа: <http://dh.ufacom.ru>
2. Квернадзе А.М., Тогоидзе В.Н., Иванидзе Г.Г., Далакишвили Г.Л. Изучение твердения и усадки бетона в ранней стадии методом голографической интерферометрии // Бетон и железобетон. 1990. № 7. С. 19–20.
3. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Карабут Л.А., Бескоровайный В.М. Повышение эффективности производства пенобетонов неавтоклавно твердения // Строит. материалы. 2008. № 1. С. 24–25.
4. Шахова Л.Д., Черноситова Е.С. Ускорение твердения пенобетонов // Строит. материалы. 2005. № 5. С. 3–7.

ПОД ПАТРОНАЖЕМ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ПАЛАТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА, АРХИТЕКТУРЫ И ЖИЛИЩНОЙ ПОЛИТИКИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
АДМИНИСТРАЦИЯ ГОРОДА ИЖЕВСКА
ОР «СОЮЗ СТРОИТЕЛЕЙ УДМУРТИИ»
УДМУРТСКАЯ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР «УДМУРТИЯ»

ГОРОД 1000 ЛЕТ
XI МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

25–28 мая 2010 года

Место проведения:
г. Ижевск, ул. Кооперативная, 9
ФОЦ «Здоровье».

Тел./факс: (3412) 25-44-65, 25-48-68,
25-48-33, 25-47-33, 25-48-74
e-mail: gorod@vcudmurtia.ru

www.gorod.vcudmurtia.ru

М.А. НУРИЕВ, инженер (laa@ksaba.ru), А.В. МУРАФА, канд. техн. наук,
Д.Б. МАКАРОВ, канд. техн. наук, В.Г. ХОЗИН, д-р техн. наук, Казанский государственный
архитектурно-строительный университет

Битумные эмульсии для гидроизоляции и защиты от коррозии строительных конструкций

По экспертным оценкам, 5–10% строительных конструкций ежегодно выходит из строя, требует ремонта или усиления из-за всепроникающей коррозии. В то же время известно, что повышение эффективности производства во всех отраслях народного хозяйства зависит от работоспособности и долговечности основных фондов (оборудования, зданий, сооружений и т. д.).

Для защиты от коррозии строительных конструкций известны различные виды покрытий: на основе полимеризационно-способных олигомеров, отверждаемых синтетических смол, битумов. Последние заслуживают особого внимания благодаря простоте технологии приготовления и нанесения, малому расходу материала на единицу поверхности, высоким технико-экономическим показателям, обеспечивающим большую эффективность применения этих покрытий, особенно в строительной индустрии.

Использование для защитных покрытий строительных конструкций материалов холодной технологии – битумных эмульсий (БЭ) является, на взгляд авторов, альтернативным направлением. Последние представляют собой материал, получаемый путем диспергирования битума в воде с помощью эмульгатора.

Однако применение БЭ в строительстве пока ограничено, что объясняется дефицитом и дороговизной эмульгаторов, главным образом катионактивных импортных. Кроме того, существующие БЭ не всегда отвечают технологическим и эксплуатационным требованиям.

Ранее разработанная авторами БЭ на анионактивном смесевом эмульгаторе с использованием отходов переработки хлопкового масла (ОПХМ) и отходов переработки сахарной свеклы – дефеката (ДФ) в соотношении 2:3 была изучена и рекомендована в качестве связующего в приготовлении холодного асфальтобетона [1].

Кроме того, практическое назначение исследуемых материалов возможно и для защиты от коррозии оборудования, строительных конструкций, инженерных систем и

сооружений (металлических и железобетонных), которые эксплуатируются в агрессивных условиях. Общими требованиями к таким покрытиям являются: адгезионная прочность к защищаемым поверхностям, непроницаемость, химическая стойкость к различным средам.

В работе новые БЭ исследовали в качестве гидроизоляционных и антикоррозионных покрытий строительных конструкций и изделий. В связи с этим изучен процесс формирования покрытий из эмульсий на металлических и бетонных поверхностях.

Существуют различные теории о механизме и движущих силах процессов при пленкообразовании из водных дисперсий, в которых особое внимание уделяется выявлению природы сил на границе раздела фаз, ответственных за слияние частиц дисперсий с образованием однофазной непрерывной пленки. В общем виде процесс пленкообразования трактуется как скоростью удаления воды из эмульсии, так и флокуляцией и коалесценцией частиц дисперсий под действием сил различной природы [2,3].

Итак, пленкообразование из БЭ – процесс сложный, зависящий от многих факторов: дисперсной структуры исходной эмульсии, кинетики удаления воды, природы ПАВ и температуры окружающей среды.

Наиболее важной технологической характеристикой, определяющей возможность использования разработанных БЭ для антикоррозионных покрытий, является кинетика удаления из них воды, в частности с поверхности бетона и металла. С этой целью использовали битумную эмульсию, которую наносили кистью на предварительно очищенные и обезжиренные поверхности бетона и металла. Скорость удаления воды определяли путем взвешивания образцов до постоянной массы при температуре 22 и 50°C.

Необходимо отметить, что одного слоя БЭ, нанесенной на бетонную поверхность, недостаточно, поскольку примерно через час формирования покрытия наблюда-

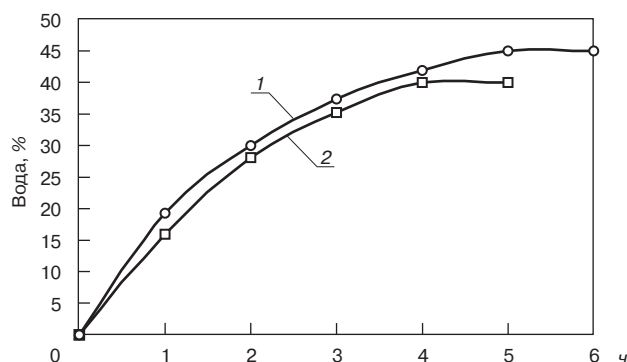


Рис. 1. Кинетика удаления воды из покрытий на металле и бетоне при 22°C: 1 – БЭ на металле; 2 – БЭ на бетоне

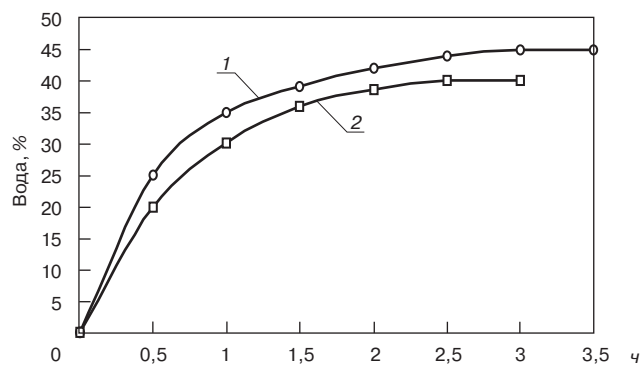


Рис. 2. Кинетика удаления воды из покрытий на металле и бетоне при 50°C: 1 – БЭ на металле; 2 – БЭ на бетоне

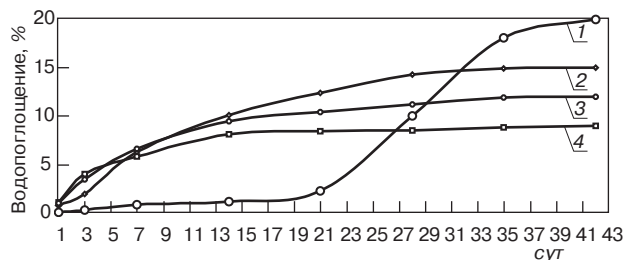


Рис. 3. Зависимость водопоглощения покрытий из БЭ, БЛЭ, НБЛЭ от времени: 1 – БНД90/130; 2 – БЭ; 3 – БЛЭ (СКС-65-ГП-5%); 4 – НБЛЭ

ются оголенные места поверхности из-за проникновения эмульсии в поры бетона. Поэтому был нанесен второй слой БЭ, после чего образовалось ровное сплошное покрытие.

Как видно из рис. 1, после 5 ч формирования покрытия из БЭ на металлической поверхности (кривая 1) при 22°С масса образца не изменяется и количество удаленной из него воды при этом практически равно первоначальному содержанию воды в БЭ (45%).

Несколько иная картина наблюдается при формировании покрытия на бетонной поверхности (кривая 2), когда образец достигает своей постоянной массы через 4 ч, т. е. время удаления воды в этом случае на один час меньше, чем из покрытия на металлической поверхности. Вероятно, это можно объяснить частичным проникновением эмульсии в открытые поры бетона.

Поскольку в летнее время черное покрытие из БЭ может нагреваться до 50°С и выше, что непременно должно сказаться на скорости удаления воды из эмульсии, проведены исследования по определению этого показателя, т. е. кинетики удаления воды при 50°С. Из рис. 2 видно, что скорость удаления воды из покрытий как на металле, так и на бетоне почти в два раза выше, чем при 22°С, и составляет 3 ч и 2,5 ч соответственно. Судя по характеру кривых, наибольшее количество удаленной воды из покрытий (до 35%) происходит в начальный период, т. е. через час, когда наблюдается степень высыхания покрытия до отлипа.

Таким образом, показано, что кинетика удаления воды из БЭ и скорость процесса формирования покрытия из нее в большой степени зависят как от природы подложки, так и от температуры окружающей среды.

Несмотря на многочисленные исследования, до настоящего времени нет общепринятой теории, объясняющей сложный механизм защиты материала покрытиями. Поэтому из-за отсутствия единого критерия необходимо было исследовать комплекс свойств: изменение массы, внешнего вида покрытий, проницаемости при длительном воздействии воды и различных агрессивных сред, отслоение покрытия, наличие подпленочной коррозии.

Учитывая различные области применения разрабатываемых покрытий, в том числе в жидких средах, для испытания их на химстойкость были выбраны следующие среды: 7%-ная серная кислота, 7%-ная соляная кислота, 10%-ный раствор соли, 10%-ный раствор едкого натрия. Параллельно проводили также испытания образцов покрытий на водостойкость.

Испытывали покрытия на основе немодифицированной БЭ, а также БЭ, модифицированной латексом СКС65-ГП (5%), и наполненных тальком, асбестом битумно-латексных эмульсий. Для сравнения испытывали покрытия на основе битума БНД 90/130, который является основой БЭ.

Металлические пластины с нанесенным покрытием, предварительно взвешенные, опускали в эксикаторы с жидкими средами таким образом, чтобы половина

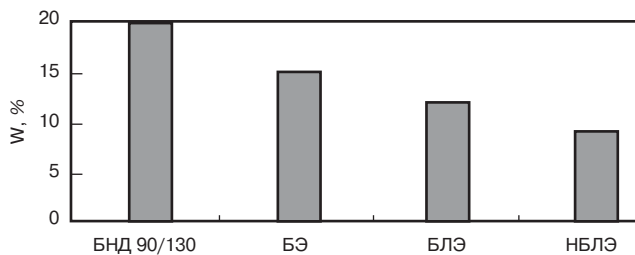


Рис. 4. Сравнительные показатели водопоглощения битумных покрытий по металлу по истечении 40 сут

пластины с покрытием оставалась над поверхностью жидкости, и эксикатор плотно закрывали крышкой.

Покрытия на бетонной поверхности испытывали по методу «трубы» (ГОСТ 2678-94), при этом наряду со стойкостью к агрессивной среде определяли непроницаемость покрытий. Испытания на стойкость к жидким средам проводили в течение 40 сут при 22°С.

На рис. 3 представлена зависимость водопоглощения покрытий по металлу композиций из БЭ, битумно-латексных эмульсий (БЛЭ), наполненных битумно-латексных эмульсий (НБЛЭ) в сравнении с покрытием из БНД 90/130. Как видно, в начальный период водопоглощение у чистого битума несколько ниже, чем у покрытий, полученных из БЭ. Однако скорость водопоглощения составов на основе БЭ (кривые 2, 3, 4) сводится к нулю после 21 сут, а для наполненных (кривая 4) — после 14 сут, в то время как скорость водопоглощения чистого битума (кривая 1) резко возрастает, что может привести к внутренним напряжениям в материале покрытия и, как следствие, к отслаиванию его от подложки. Показано, что наличие в битуме эмульгатора приводит к снижению водопоглощения (кривая 2), модификация латексом и наполнителем еще более повышает водостойкость битумных покрытий (кривые 3 и 4). Причем в отличие от чистого битума через 21 сут рост водопоглощения в исследуемых покрытиях прекращается.

Как видно, через 40 сут наибольшее водопоглощение у чистого битума — 20%, у покрытия из БЭ — 15%, у БЛЭ и НБЛЭ — 12% и 9% соответственно (рис. 4).

Химстойкость покрытий в указанных выше средах оценивали по изменению массы образцов, внешнего вида (отслоение, растрескивание, вздутие, потеря блеска), наличию подпленочной коррозии.

Визуальные наблюдения показали, что после экспозиции образцов в течение 40 сут в агрессивных средах покрытия ведут себя по-разному. Так, например, в кислотах (H₂SO₄ — 7%, HCl — 7%) через 21 сут на поверхности покрытия из чистого битума появились мелкие вздутия. Через 40 сут аналогичные вздутия наблюдались на поверхности покрытия на основе битума, выделенного из немодифицированной БЭ.

На поверхностях покрытий на основе БЛЭ и НБЛЭ по истечении всего срока испытаний никаких изменений не наблюдается, блеск покрытий сохраняется, следов короблений, трещин, отслоения от подложки нет. Подпленочная коррозия во всех случаях также отсутствует, т. е. защитные функции покрытий сохранились.

Наблюдение за состоянием покрытий в газообразной среде над кислотами показало, что произошла потеря блеска покрытий на основе битума БНД 90/130 и немодифицированной БЭ, остальные покрытия остались без изменения.

Испытания покрытий в растворе соли (10% NaCl) показали, что модификация БЭ латексом и наполнение приводят к большей стойкости этих композиций, как в жидкой, так и в газообразной средах, поскольку покрытия на их основе остались без изменений в течение всего срока испытаний. В то время как покрытия на чистом битуме и на немодифицированной БЭ потеряли блеск.

Кроме того, покрытие на чистом битуме частично отслоилось от подложки, площадь отслоения составила около 5%.

Испытания исследуемых покрытий как в растворе, так и в газообразной среде над раствором щелочи (10% NaOH) показали, что никаких изменений покрытий во всех случаях не обнаружено, поверхность металла под покрытиями осталась чистой.

Таким образом, в процессе жидкостного старения в агрессивных средах испытываемых покрытий выявлено, что композиции, выделенные из БЭ, показали большую стойкость по сравнению с чистым битумом. Судя по результатам испытаний, модификация БЭ латексом и наполнение тальком и асбестом приводят к повышению их водо- и химстойкости.

На основании полученных результатов была осуществлена антикоррозионная защита разработанны-

ми составами элементов металлических коммуникаций и опорных конструкций из кирпича и бетона в системе ЖКХ. После полутора лет эксплуатации этих объектов покрытия полностью сохранили свои защитные функции и целостность.

Ключевые слова: битумная эмульсия, антикоррозионные покрытия, химстойкость, водопоглощение.

Список литературы

1. *Нуриев М.А. и др.* Дорожные покрытия из холодного асфальтобетона на анионоактивных битумных эмульсиях // Строит. материалы. 2009. № 11. С.33–35.
2. *Печеный Б.Г.* Битумы и битумные композиции. М.: Химия, 1990. 256 с.
3. *Урвев Н.Б.* Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. М.: Химия, 1988. 256 с.

Безопасные строительные материалы и технологии: обеспечение здоровья и благополучия людей

Круглый стол под таким названием состоялся 11 марта 2010 г. в Москве и был посвящен вопросам комплексной безопасности строительства и строительных материалов. Организатором мероприятия выступила компания ISOVER – мировой лидер в производстве теплоизоляционных материалов из минеральной ваты.

В работе круглого стола приняли участие представители ведущих научно-исследовательских институтов и учреждений: д-р техн. наук Н.И. Константинова, начальник сектора испытаний строительных, текстильных материалов и средств огнезащиты Всероссийского НИИ противопожарной обороны МЧС РФ; канд. техн. наук Н.П. Умнякова, заместитель директора по научной работе НИИ строительной физики РААСН; Н.В. Хоштария, врач-эксперт по гигиене труда ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора.

Цель мероприятия – подчеркнуть значимость комплексного подхода к безопасности строительства. В рамках круглого стола были рассмотрены вопросы пожарной и гигиенической безопасности и долговечности строительных материалов. Сочетание этих характеристик обеспечивает здоровье и благополучие людей и надежность зданий в течение всего срока их эксплуатации.

Участники круглого стола затронули тему энергоэффективности. Строительство по энергосберегающим технологиям вносит позитивный вклад в экономику и улучшает экологическую ситуацию в стране (сокращает выбросы CO₂ в атмосферу).

Одними из ключевых вопросов мероприятия стали вопросы обязательной и добровольной сертификации строительных материалов.

На примере компании ISOVER был рассмотрен подход ответственных производителей к разработке и выпуску строительной продукции. Компания не ограничивается обязательной сертификацией материалов. Понимая потребности и задачи своих клиентов, ISOVER постоянно совершенствует продукцию: улучшает ее ключевые характеристики (тепло- и звукозащитные свойства, удобство, долговечность), заботится о всесторонней безопасности материалов (гигиенической, противопожарной, экологической).



Фото предоставлено PR-агентством «PR-Premier»

Высокое качество своей продукции компания ISOVER подтверждает многочисленными испытаниями, проводимыми на протяжении ряда лет совместно с ведущими отраслевыми научно-исследовательскими институтами и надзорными учреждениями.

Вопросы долговечности материалов ISOVER были исследованы в НИИСФ РААСН и включали лабораторные испытания, натурные испытания, обследование зданий в г. Балабаново Калужской области (складское помещение из сэндвич-панелей) и Москве (жилой дом). Также долговечность материалов, связанная с химической стойкостью полимерного связующего, изучалась в Институте биохимической физики РАН.

Огневые испытания материалов проводились в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ВНИИПО МЧС РФ, 26 ЦНИИ Министерства обороны РФ. Изучением эмиссии летучих веществ при эксплуатации зданий и сооружений с материалами ISOVER занимались Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора в Московской области и НИИСФ РААСН.

Измерение теплофизических и физико-механических свойств было проведено специалистами НИЦ «Теплопроект» и НИИСФ РААСН. Натурные испытания по оценке теплозащитных свойств также проводились в жестких условиях эксплуатации в Якутске специалистами Якутского государственного университета им. М.К. Амосова.

Все материалы получили высокие оценки специалистов и признаны пригодными для эксплуатации в различных типах зданий и сооружений.

К.Н. ЛУКЬЯНЕНКО, генеральный директор ООО «Полифан-Л»; В.Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук, С.Е. СОКОЛОВА, инженер, ОАО «НИЦ «Строительство» — Институт НИИЖБ им. А.А. Гвоздева; Г.С. РОЯК, д-р техн. наук, ОАО ЦНИИС; Э.М. ВЕРЕНКОВА, канд. техн. наук, технический консультант (Москва)

Экологичные защитно-декоративные покрытия «Полифан» для бетонных конструкций

Современные технологии возведения зданий и сооружений с применением высокопрочного монолитного бетона открыли новые перспективы строительства. Однако бетонные поверхности, как, впрочем, и другие строительные материалы, требуют применения защитных покрытий, выполняющих одновременно декоративные функции. Для этих целей можно применять краски ВД-АК-1Ф и ВД-КЧ-1Ф.

Защитно-декоративные покрытия «Полифан» на основе красок ВД-АК-1Ф и ВД-КЧ-1Ф изготавливаются по ТУ 5772-015-45711164–2006 и предназначены для защиты бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях атмосферных воздействий слабых и среднеагрессивных сред в практике гражданского и промышленного строительства в соответствии со СНиП 2.03.11–85; МГСН 2.08–01; МГСН 2.09–03 и ГОСТ 31384–2008.

Водно-дисперсионные полимерфосфатные краски ВД-АК-1Ф и ВД-КЧ-1Ф, выпускаемые ООО «Полифан-Л», включают полимерные пленкообразующие вещества (сополимеры бутадиена и стирола или акриловые полимеры или сополимеры), наполнители, пигменты, специальные добавки (Патенты РФ 2097357 и 2176627).

Присутствие в красках «Полифан» фосфатных соединений обеспечивает высокую адгезию системы покрытия к бетонной поверхности (до 3,5 МПа). Укрывистость краски (ГОСТ 8784) составляет не более 150 г/м².

Защитно-декоративные покрытия, образуемые красками ВД-АК-1Ф, ВД-КЧ-1Ф, характеризуются следующими параметрами:

Смываемость (ГОСТ 26196), г/м ² , не более	0,5
Светостойкость (ГОСТ 21903), ч, не менее	4
Стойкость к статическому действию воды (ГОСТ 9.403), ч, не менее	24
Долговечность в камере «Фейтрон», циклы, не менее	100
Водонепроницаемость бетона с покрытием (ГОСТ 31383–2008), не менее	
ВД-АК-1Ф	W 12
ВД-КЧ-1Ф	W 10
Водопоглощение бетона с покрытием (ГОСТ 12730.3), мас. %, не более	
ВД-АК-1Ф	2,5
ВД-КЧ-1Ф	3
Морозостойкость покрытия на бетоне (ГОСТ 31383–2008), циклы, не менее	
ВД-АК-1Ф	300
ВД-КЧ-1Ф	250
Адгезия (ГОСТ 28574), МПа, не менее	
ВД-АК-1Ф	2,5
ВД-КЧ-1Ф	2
Трещиностойкость покрытия на бетоне (ГОСТ 31383–2008), мм, не менее	
ВД-АК-1Ф	0,2
ВД-КЧ-1Ф	0,1

Нанесение системы покрытия «Полифан» на основе краски ВД-АК-1Ф на бетон позволяет увеличить марку бетона по водонепроницаемости с W2 до W14 при прямом давлении воды; повысить морозостойкость в два раза (со 150 до 300 циклов); снизить величину водопоглощения на 30% по сравнению с бетоном без защиты; выдержать ширину раскрытия трещин в бетоне 0,2 мм [1].

В соответствии с ТУ 2316-001-34895698–96 изм. № 3 краска ВД-АК-1Ф может применяться для защиты строительных конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия повышенной температуры (до 150°С) в течение 2500 ч.

Установлена совместимость водно-дисперсионных полимерфосфатных красок с традиционными лакокрасочными материалами: пентафталевыми, акрилатными, глифталевыми, полиэфирсиликоновыми, перхлорвиниловыми, эпоксидными [2]. Комбинированные покрытия, включающие краски ВД-АК-1Ф, ВД-КЧ-1Ф и химически стойкие эмали типа ХВ, ХС и др., могут быть использованы для защиты бетона, железобетона, эксплуатирующихся в условиях воздействия среднеагрессивных сред.

Накоплен опыт применения красок ВД-АК-1Ф, ВД-КЧ-1Ф в строительстве как в качестве самостоятельного покрытия, так и в сочетании с другими лакокрасочными материалами. Кроме того, использование красок ВД-АК-1Ф, ВД-КЧ-1Ф в качестве грунтовки повышает адгезию, защитные свойства и долговечность системы покрытия в целом в 1,5–2 раза.

Краски «Полифан» успешно применяются для защиты и окрашивания железобетонных мостовых конструкций предприятиями ООО «Амур-мост» в г. Тынды (Амурская область), ЗАО ИПК «Специалист-Чукотка», г. Усть-Кут (Иркутская область), ООО «Строительная компания «Мост-Восток», г. Белогорск (Амурская область), КТФ «Мостоотряд-125» — филиал ОАО «Мостоотряд», г. Коломна (Московская область) и др.

Покрытия «Полифан» на основе водно-дисперсионных полимерфосфатных красок ВД-АК-1Ф и ВД-КЧ-1Ф характеризуются высокими эксплуатационными свойствами, разнообразной цветовой гаммой, хорошей сочетаемостью с другими ЛКМ.

Исследования покрытия показали, что высокая водонепроницаемость и морозостойкость бетона с покрытием «Полифан», а также хорошая адгезия к бетонной поверхности обуславливают долговечность покрытия в течение не менее 10 лет. Системы покрытия «Полифан» должны наноситься в соответствии с требованиями инструкции по применению защитно-декоративной отделочной краски «Полифан».

Краски и покрытия пожаро- и взрывобезопасны, относятся к экологически безопасным материалам, не содержат летучих токсичных компонентов.

Комплексные лабораторные и натурные исследования свойств покрытия «Полифан» подтвердили его вы-

сокие эксплуатационные характеристики на поверхности конструкционного железобетона.

Водно-дисперсионные полимерфосфатные краски ВД-АК-1Ф и ВД-КЧ-1Ф могут быть применены в качестве защитно-декоративного покрытия при сооружении объектов гражданского, промышленного и транспортного назначения, в том числе в тоннелестроении и мостостроении.

Ключевые слова: защита бетона, полимерфосфатные краски, Полифан.

Список литературы

1. Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Полушкин А.Л. Новые эффективные материалы для вторичной защиты железобетонных конструкций // Коррозия: материалы, защита. 2006. № 6. С. 38–42.

2. Веренкова Э.М., Пономарев О.И., Степанова В.Ф., Соколова С.Е. Долговечные полимерфосфатные защитно-декоративные покрытия по металлу и бетону // Бетон и железобетон. 2002. № 3. С. 24–26.

г. Коломна, Пирочинское шоссе, 15
Тел./факс: 8(495)972-61-03, (496)615-27-29, 615-26-97
www.polifan-l.ru e-mail:polifan@polifan-l.ru

КРАСКИ

- ◆ ФАСАДНЫЕ
- ◆ ИНТЕРЬЕРНЫЕ
- ◆ АНТИКОРРОЗИОННЫЕ
- ◆ ГФ-021, ПФ-115
- ◆ ГРУНТОВКИ
- ◆ ДОРОЖНЫЕ



Реклама

В издательстве «Стройматериалы» Вы можете приобрести дайджесты и специальную литературу по антикризисным ценам

Тематические дайджесты серии «Совершенствование строительных материалов»

Дайджест «Ячеистые бетоны – производство и применение» (Часть 1). В настоящее время он выпущен на CD. В 2005 г. издана Часть 2. Представлены технологии и оборудование, опыт применения, результаты научных исследований.

Дайджест «Кровельные и изоляционные материалы» включает статьи по темам: битумные, битумно-полимерные, полимерные материалы, гидроизоляция сооружений, жесткие кровли и др.

Дайджест «Керамические строительные материалы». Часть 1 выпущена на CD. В 2009 г. вышла Часть 2. Информация представлена по следующим направлениям: отраслевые проблемы, сырьевая база, оборудование и технология, контроль качества, ограждающие конструкции.

Дайджесты «Сухие строительные смеси». Часть 1 выпущена на CD. В 2009 г. Вышла Часть 2. В дайджестах представлены рубрики: технологии и оборудование, компоненты ССС, результаты научных исследований, применение.

Дайджест «Современные бетоны: наука и практика» содержит более 100 статей по тематическим разделам: исследование составов и свойств бетонов, исследования технологических аспектов производства бетонов, заполнители для бетонов, коррозия бетона, технология и оборудование, применение бетона и др.

Дайджест «Материалы для дорожного строительства» содержит более 100 статей по тематическим разделам: нормативная и методическая база отрасли; материалы для дорожного строительства; ремонт дорог.



Специальная литература

Учебное пособие «Практикум по технологии керамики»

Авторы – коллектив ученых РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Рассмотрены основные методы отбора проб, испытаний сырьевых материалов, контроля и исследования технологических процессов, а также определения свойств готовой продукции, применяемые в керамической, огнеупорной и смежных отраслях промышленности. Пособие может быть использовано не только как учебное, но и в качестве полезного руководства для инженеров заводских и научно-исследовательских лабораторий.

Монография «Производство деревянных клееных конструкций»

Автор – заслуженный деятель науки России, д-р техн. наук Л.М. Ковальчук.

В книге рассмотрены основные вопросы технологии изготовления ДКК, показаны области их применения, описаны материалы для их изготовления. Особое внимание уделено вопросам оценки качества, методам испытаний, приемке и сертификации клееных конструкций. В книге приведен полный перечень отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих производство и применение ДКК.

Книга «Керамические пигменты»

Авторы – доктора техн. наук Г.Н. Масленникова, И.В. Пиц

В монографии рассмотрены физико-химические основы синтеза пигментов, в том числе термодинамическое обоснование реакций, теория цветности, современные методы синтеза пигментов и их классификация, методы оценки качества. Приведены сведения по технологии пигментов и красок различных цветов и кристаллических структур. Описаны современные методы декорирования керамическими красками изделий из сортового стекла, фарфора, фаянса и майолики.

Книга предназначена для научных сотрудников, студентов, специализирующихся в области технологии керамики и стекла, а также для инженерно-технических работников, занятых в производстве керамических изделий и красок. Будет полезна для специалистов других отраслей промышленности, где применяются высокотемпературные пигменты.

Книга «Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки»

Автор – канд. техн. наук М.К. Ищук

Обобщен отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. Показана история проектирования и строительства таких зданий. На конкретных примерах зданий, возведенных в конце 1990-х гг. рассмотрены различные дефекты наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки. Приведены результаты экспериментальных и расчетно-теоретических исследований наружных облегченных стен, инженерные методы расчета различных воздействий на наружные многослойные стены и др.



**Для приобретения специальной литературы обращайтесь в издательство «Стройматериалы»
Тел./факс: (495) 976-22-08, 976-20-36 E-mail: mail@rifsm.ru www.rifsm.ru**

А.И. БЕК-БУЛАТОВ, канд. техн. наук,
директор Ассоциации производителей и поставщиков пенополистирола (Москва)

Пенополистирол – история создания и долговечность

Появление пенополистирола связано с открытием вещества, названного стиролом. Впервые в 1831 г. химическое соединение стирол было получено путем нагревания смолы бальзамного дерева *Storax* (Стиракс), основные компоненты которого – коричная кислота, ванилин и стирол. Смола этого дерева использовалась в качестве душистого вещества в парфюмерии, антисептика и одного из компонентов состава для мумифицирования в Древнем Египте около 3000 лет назад [1, 2].

Данные, полученные учеными о свойствах стирола, позволили начать работы по его синтезу. В 1929 г. ученые компании DOW синтезировали стирол, из которого получен полимер – полистирол. В настоящее время из полистирола и полимеров на его основе изготавливают теплоизоляционные материалы, корпуса телевизоров, телефонов, внутренние части холодильников, упаковку, одноразовую посуду и др. Идея получения вспененного полистирола принадлежит шведским изобретателям, которые получили патент на изобретение в 1931 г.

Вспенивающийся полистирол, хорошо известный в настоящее время, изобретен в Германии в 1950 г. компанией BASF и получил сокращенное название EPS (expanded polystyrene foam). С тех пор началось широкое применение пенополистирола в качестве теплоизоляционного и упаковочного материала. В строительстве применяется пенополистирол с химическими добавками – антипиренами, делающими его более пожаробезопасным.

В СССР сырье для производства пенополистирола – вспенивающийся полистирол был впервые произведен на Украине в 1965 г. Затем такие производства были построены и в других регионах. По мере увеличения объемов выпуска этого теплоизоляционного материала и расширения его применения в промышленности был принят стандарт ГОСТ 15588–86 «Плиты пенополистирольные».

В России гранулы вспенивающегося полистирола производятся на трех предприятиях. Их качество в настоящее время уступает качеству зарубежных производителей по ряду показателей, поэтому большая часть пенополистирола в России изготавливается из импортного сырья. В ближайшее время с завершением инвестиционных проектов и запуском в эксплуатацию современных предприятий по производству вспенивающегося полистирола ситуация должна измениться в лучшую сторону.

Опыт применения пенополистирола в промышленности составляет уже 60 лет. Он широко применяется в многослойных ограждающих конструкциях стен, кровель, фундаментов, полов, в сэндвич-панелях. В соответствии со стандартами и требованиями пенополистирол применяется в сочетании с другими строительными материалами в различных конструкциях, и его эксплуатационные свойства должны так же неразрывно рассматриваться при работе конструкции в целом.

Одновременно с применением пенополистирола в строительстве в качестве теплоизолирующего материала ведется научно-исследовательская работа по изучению его эксплуатационных характеристик. В различных странах из строительных конструкций отбирались образцы материала и исследовались его прочностные и теплофизические характеристики. Результаты исследований показывали стабильность его характеристик в момент проведения исследований, поэтому в настоящее время сложно судить о потенциальной долговечности материала, можно констатировать, что она не менее 60 лет.

Долговечность пенополистирола – один из факторов, обуславливающих его широкое применение в качестве теплоизоляционного материала в строительстве. Под долговечностью пенополистирола понимают его способность сохранять свои свойства в процессе эксплуатации при воздействии на него окружающей среды – воздуха, влаги, тепла, света, особенно ультрафиолетового излучения.

Рассмотрим условия, при которых пенополистирол эксплуатируется в конструкции. Материал защищен от воздействия солнечного света, химически активных веществ, механических повреждений. При этом он подвергается воздействию температуры от -60 до +85°C, механических нагрузок, паров воды. Следует отметить, что старение материала и его последствия необходимо отличать от преждевременного разрушения материала вследствие нарушения правил и технологии его применения.

В мировой практике существуют стандарты, оценивающие долговечность пенополистирола по изменению его прочностных характеристик и теплопроводности при проведении теста на изменение этих показателей в процессе 300 циклов попеременного замораживания-оттаивания. Материал считается удовлетворяющим требованиям ASTM C1512-07 и EN 12091, если свойства снижаются не более чем на 10% при прохождении испытаний.

Многолетние исследования показали, что пенополистирол не подвержен гниению даже в случае его применения в грунте. Известен случай, когда пенополистирол, уложенный в плоскую кровлю в 1955 г., был извлечен через 31 год. При этом его теплотехнические характеристики и содержание влаги соответствовали требованиям стандарта.

В рамках научно-исследовательской работы Шведского королевского технологического института, результаты которой были опубликованы в 1999 г., определялись минимальные сроки службы строительных материалов в конструкциях зданий. Минимальный срок службы пенополистирола был определен в 60 лет [3].

В России в настоящее время не существует утвержденного стандарта, регламентирующего требования к долговечности, и испытания проводятся по методике,

разработанной Научно-исследовательским институтом строительной физики РААСН.

В 2001 г. в испытательной лаборатории теплофизических и акустических измерений НИИСФ проведены исследования на долговечность образцов пенополистирола из сырья компании BASF. Образцы подвергались циклическим температурно-влажностным воздействиям в климатической камере КТК-800. По этой методике один цикл, включающий двукратное понижение температуры до -40°C , чередующееся с нагревом образцов до $+40^{\circ}\text{C}$ и последующей выдержкой в воде, эквивалентен по температурно-влажностному воздействию 1 усл. году эксплуатации теплоизоляционного материала в многослойной ограждающей конструкции.

Всего проведено 80 циклов испытаний образцов пенополистирольных плит. Полученные результаты позволили сделать заключение, что изделия из пенополистирола успешно выдержали циклические испытания на температурно-влажностные воздействия в количестве 80 циклов, что может быть интерпретировано как соответствующее количество условных лет эксплуатации в многослойных ограждающих конструкциях с амплитудой температурных воздействий $\pm 40^{\circ}\text{C}$. Проведение испытаний было остановлено по экономическим причинам, а не по причине значительного ухудшения свойств материала. Таким образом, долговечность материала составила не менее 80 лет (Протокол испытаний № 225 от 25.12.2001. НИИСФ РААСН. Испытательная лаборатория теплофизических и акустических измерений.).

В 2007 г. в этой же лаборатории проводились испытания пенополистирола (Протокол испытаний № 86 от 16.07.2007. НИИСФ РААСН. Испытательная лаборатория теплофизических и акустических измерений).

Образцы прошли 60 циклов испытаний; один цикл, включающий двукратное понижение температуры до -40°C , чередующийся с нагревом образцов до $+60^{\circ}\text{C}$ с последующей выдержкой в воде, эквивалентен по температурно-влажностному воздействию одному условному году эксплуатации материала в многослойной конструкции.

По методике НИИСФ в 2008 г. испытательным центром были проведены испытания пенополистирольных плит на долговечность. На основании полученных данных долговечность пенополистирольных плит составила 50 лет (Заключение № 169, от 14.05.08. Испытательный Центр «Красстрой» ОАО «Красноярский ПромстройНИИПроект»).

Мировая практика накопила значительный объем данных по результатам многочисленных исследований свойств пенополистирола; представленные в настоящем обзоре результаты являются только малой частью этого объема, но тем не менее они убедительно показывают, что материал успешно применяется и имеет длительный срок эксплуатации, превышающий 60 лет.

Список литературы

1. *Suh K. W.*, Polystyrene and Structural Foam, Polymeric Foams, ed. D. p. 152.
2. Химический энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1983. С. 545.
3. *Hed G.* Service Life Estimations of Building Components. Munich: Hanser. Report TR28:1999. Gävle, Sweden: Royal Institute of Technology, Centre for Built Environment, Stockholm, 1999, p. 46.



**8–10
сентября
2010 г.
Казань**

Оргкомитет:
140050, Московская обл.,
п. Красково,
ул. К. Маркса, д. 117,
ВНИИСТРОМ

Телефоны:
(495) 557-30-11

E-mail: gips@rescom.ru

Российская гипсовая ассоциация
Российское научно-техническое общество строителей
Московский государственный строительный университет
ВНИИСТРОМ им. П.П. Будникова
Научно-исследовательский институт строительной физики
ГУП «НИИМосстрой»

**Пятая Международная конференция
«Повышение эффективности производства
и применения гипсовых материалов и изделий»**

Конференция посвящена 125-летию со дня рождения П.П. Будникова

Тематика конференции:

- технический прогресс в области гипсовых материалов и изделий (исследования, производство и применение)
- ангидритовые вяжущие
- гипсовые материалы в малоэтажном строительстве
- привлекательность и механизмы инноваций в гипсовой отрасли
- современное оборудование для производства гипсовых вяжущих, материалов и изделий на их основе
- лаборатории, менеджмент качества, экологический менеджмент и их роль в обеспечении качества и долговечности гипсовых материалов
- нормативно-техническая документация в соответствии с современными требованиями
- обучение и переподготовка специалистов в области производства и применения гипсовых материалов и изделий

В рамках конференции состоится:

- годовое собрание членов Российской гипсовой ассоциации
- тематическая производственная экскурсия на ОАО «Камско-Устьинский гипсовый рудник»

Генеральный информационный спонсор: журнал

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**



К 80-летию Ю.М. Баженова

Редакция и редакционный совет поздравляют Юрия Михайловича Баженова, доктора технических наук, профессора, действительного члена РААСН, почетного строителя России.

Юрий Михайлович Баженов родился 25 марта 1930 г. В 1954 г. окончил инженерно-строительный факультет Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева.

В 1960 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, в 1965 г. — доктора наук.

Ю.М. Баженов — автор более 250 научных трудов и 60 изобретений, заведующий кафедрой технологии вяжущих веществ и бетонов Московского государственного строительного университета. Под его научным руководством защищено более 10 докторских и 60 кандидатских диссертаций.

Юрий Михайлович Баженов — заслуженный деятель науки РФ, президент Международной ассоциации ученых и специалистов в области строительного материаловедения (АУССМ), почетный профессор нескольких российских и зарубежных вузов, вице-президент РНТСС, член президиума и руководитель секции строительного материаловедения РААСН, член экспертного совета ВАК, председатель научно-методического совета по строительно-технологической специальности АСВ, почетный член РНТО строителей, член редколлегий ряда журналов по строительству и строительному материаловедению.

Заслуги Юрия Михайловича по достоинству оценены и признаны в мире. Он лауреат премии Совета Министров СССР и Правительства РФ в области науки и техники (1983 г., 2002 г.), награжден орденом Почета, одиннадцатью медалями, рядом почетных грамот и нагрудных знаков, Большой академической медалью РААСН.

Редакция и редакционный совет желают Юрию Михайловичу крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

URSA представляет новое поколение минеральной теплоизоляции

В начале марта 2010 г. официально начато производство (г. Серпухов Московской обл.) и продажа PureOne в России.

Материал PureOne [Пьюр Ван] является результатом объединения опыта компании URSA по производству минерального волокна и внедрения новой технологии, которая впервые применяется в Европе и в России, но при этом уже проверена и вошла в широкую практику в других странах (США, Япония). Отличительная особенность этой технологии — новое связующее из акрила на водной основе. В результате использования нового связующего, а также новаторских технологических решений был получен теплоизоляционный материал с более высокими характеристиками.

PureOne — это материал для тепло- и звукоизоляции, негорючий и экологически чистый. В технологии производства продукта исключено использова-

ние фенола и формальдегида. Благодаря эластичному связующему волокна PureOne имеют повышенную упругость, что приводит к возникновению эффекта пружины. Эта особенность структуры обеспечивает более надежную установку материала враспор и фиксацию в конструкции, а также формостабильность.

Основные компоненты для производства PureOne — это кварцевый песок и связующее на основе акрила, который получил широкое распространение, в том числе и в медицине, благодаря своей нейтральности, долговечности и безопасности для здоровья человека.

В производстве PureOne не используются вторичное сырье, а также компоненты растительного происхождения. Продукт подходит для внутренних работ в жилых помещениях, а также в детских, лечебно-оздоровительных и других общественных учреждениях.

По материалам ООО «УРСА ЕВРАЗИЯ»

В Казахстане будет построен завод полимерных систем

В этом году в Акжайынском районе Северо-Казахстанской области начнется строительство завода по производству современных полимерных систем. Оно будет осуществляться в рамках одного из 12 инвестиционно-инновационных проектов.

Предприятие будет возводиться на базе бывшего Смирновского желатинового завода и выпускать высококомодифицированную продукцию. На заводе будут выпускаться: кладочные растворы, штукатурки, шпатлевки, ремонтные смеси, смеси для устройства пола, клеи, гидроизоляционные и огнеупорные смеси. Про-

изводство сухих строительных смесей можно регулировать по климатическим зонам с созданием рецептов и их адаптацией под местное сырье.

Производственная мощность предприятия рассчитана на выпуск 50 тыс. т продукции в год. В строительстве завода примет участие около 250 человек, а с началом выпуска продукции здесь будет создано 100 постоянных рабочих мест. Завершить проект планируется в 2011 г.

На предприятии будет полностью автоматизированная система управления.

По материалам агентства «КазИнформ»

КОЛЛЕГИ



К 60-летию И.Ф. Шлегеля

Редакция и редакционный совет поздравляют Игоря Феликсовича Шлегеля, генерального директора ООО «ИНТА-СТРОЙ», кандидата технических наук, члена-корреспондента РАЕН, члена редакционного совета журнала «Строительные материалы»®.

Игорь Феликсович Шлегель родился 25 марта 1950 г. в Омске. В 1972 г. окончил факультет «Строительные и дорожные машины и оборудование» Сибирского автомобильно-дорожного института им. В.В. Куйбышева.

Вся трудовая деятельность И.Ф. Шлегеля неразрывно связана с проектными и научно-исследовательскими организациями отрасли строительных материалов и посвящена разработке нового оборудования и технологий их производства. Им пройдены все ступени карьерной лестницы — от конструктора до руководителя им же созданного научно-производственного холдинга.

За эти годы Игорем Феликсовичем опубликовано более 70 научных работ, статей и монографий. На основе глубоких теоретических изысканий и лабораторных исследований им создано более 60 изобретений, большинство из которых защищено патентами и использовано в реальных проектах.

За годы своей профессиональной деятельности И.Ф. Шлегель воспитал немало специалистов, проектирующих современное оборудование для производства строительных материалов. Высокий научный и технический уровень разработок, выполненных под его руководством коллективом института, входящего в холдинг, признан российскими и международными сообществами ученых, промышленников и бизнесменов.

И.Ф. Шлегель награжден рядом всероссийских и международных наград. Он является лауреатом премии «Российский национальный Олимп».

Редакция и редакционный совет желают Игорю Феликсовичу крепкого здоровья, неиссякаемой энергии и дальнейших творческих успехов.

ИССЛЕДОВАНИЯ РЫНКОВ

Объем рынка цемента в России в 2009 г. упал

на 30% по сравнению с прошлым годом. При этом в России за прошедший год было произведено 44,2 млн т цемента, что на 17% меньше, чем в 2008 г. Особенно сильно в 2009 г. сократился объем экспорта, по большей части это сокращение связано с возобновлением 5% импортной пошлины. По данным агентства «DISCOVERY Research Group», в сравнении с 8,3 млн т импорта в 2008 г. в 2009 г. было импортировано 1,9 млн т цемента. Больше всего цемента было поставлено из Турции и Китая. Особенностью 2009 г. стал резкий рост экспорта цемента из России — объем экспорта вырос в 5,8 раза и составил 2,9 млн т. Следует отметить, что основной объем экспорта пришелся на Украину (41,8%), хотя в прежние годы Украина поставляла свой цемент в Россию.

Кризис оказал влияние не только на снижение объема рынка цемента, но также и на существенное изменение цен. Начавшееся в 2008 г. падение цен на цемент

продолжилось и в течение 2009 г. В целом за 2009 г. средняя цена производителей составила 2261,7 р. за тонну (спад на 32% в сравнении с 2008 г.).

Сильнее всего кризис ударил по иностранным компаниям, производящим цемент в нашей стране (наибольший спад был отмечен в компании Holcim), а также по компаниям, находящимся в Сибири.

Под влиянием кризиса закрылись некоторые заводы по производству цемента. Однако все же некоторые компании продолжили реализацию или начали новые проекты по строительству заводов и новых производственных линий. Например, крупнейший производитель «Евроцемент» договорился об инвестициях на строительство нового завода в Липецкой области, а также продолжил модернизацию на двух своих заводах.

Тем не менее несмотря на сильное влияние кризиса на рынок цемента, в 2010 г. ожидается рост рынка на 6–8% до 48 млн т. Российский рынок продолжает считаться одним из самых перспективных в мире.

В 2010 г. ожидается стабилизация рынка древесных плит

К 2008 г. объем производства пиломатериалов увеличился в два раза, достигнув 22 млн м³.

Объем рынка плит (ДСтП, ДВП и МДФ) и фанеры в натуральном выражении в 2008 г. вырос по сравнению с 2007 г. на 8%, в стоимостном (без МДФ, в рублевом выражении) — на 21,5%. Объем рынка в долларовом выражении в 2008 г. увеличился относительно 2007 г. на 25%.

Однако в 2009 г. впервые за долгое время отрасль показала отрицательные темпы прироста производства, падение составило около -30%. По прогнозам аналитиков, в 2010 г. производство основных товарных групп в 2010 г. окажется на уровне 2005–2006 гг., то есть покажет падение 15–25% относительно 2008 г.

Влияние кризиса на крупнейших игроков рынка оказалось неравномерным: часть предприятий с устаревшей технологической инфраструктурой полностью прекратила свою деятельность, другая часть активно занимается оптимизацией бизнес-процессов и расширением ассортимента.

Перспективы развития лесоперерабатывающей отрасли находятся в тесной связи с регулирующим воздействием государства и планами властей по стимулированию глубокой переработки леса внутри страны с одновременным снижением экспорта необработанной древесины. Таможенное регулирование и система государственного поощрения инвестиций в производство лесоматериалов останутся ключевыми факторами на рынке древесных плит и фанеры в ближайшие годы.

По материалам «РБК.Исследования рынков»

Как подготовить к публикации научно-техническую статью (методическое пособие для начинающего автора)



Развитие стройиндустрии стимулировало развитие строительного материаловедения, что, в свою очередь, предопределило рост направляемых в редакцию статей. Статьи аспирантов и докторантов, как и в прежние годы, публикуются без оплаты за размещение в журнале.

За все годы существования журнала научные редакторы, члены редколлегии, редакционного совета и большая группа специалистов-рецензентов внимательно и терпеливо помогали росту научных кадров и специалистов отрасли. Однако в последнее время все чаще в редакцию для публикации представляют слабые в научном отношении, незавершенные, незрелые работы, которые в ряде случаев не доходят даже до рецензентов и забраковываются на этапе внутриредакционного рецензирования.

Начнем с определений. Наука – система знаний о закономерностях развития природы и общества и способах воздействия на окружающий мир. Статья – сочинение небольшого размера в сборнике, журнале, газете.

Таким образом, научность труда, исследования, работы характеризуется целью проникнуть, нащупать, определить, сформулировать какую-либо новую закономерность формирования вещества или протекания процесса для практического, унитарного использования в материаловедении, прикладной механике, теплотехнике и т. д.

В нашем случае журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до 4-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость группы журналов «Строительные материалы» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи и не содержать перечень всего ранее опубликованного автором, что перегружает объем статьи и часто является элементом саморекламы.

Кроме того, статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий. Статьи, направляемые в редакцию группы журналов «Строительные материалы», должны соответствовать следующим **требованиям**:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т.п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); распечаткой, лично подписанной авторами; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языке; подтверждением, что статья предназначена для публикации в группе журналов «Строительные материалы», ранее нигде не публиковалась, и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства www.rifsm.ru/avtoram.php

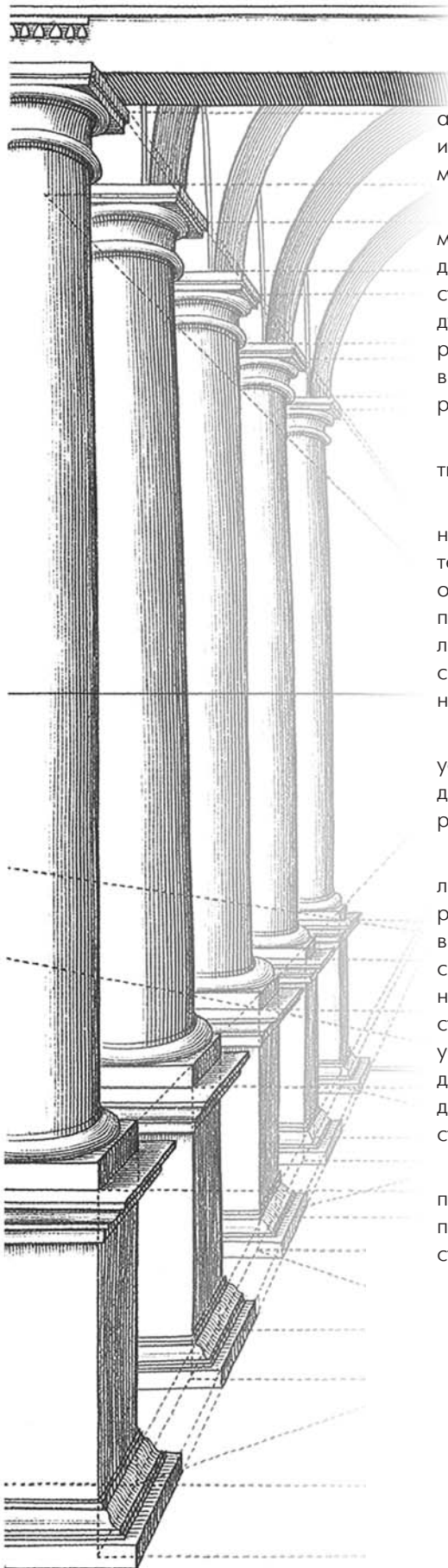
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

тематический раздел журнала «Строительные Материалы» №3–2010 г.

НАУКА



Научные разработки
на службу отрасли



Уважаемые читатели!

Перед вами очередной тематический раздел «Строительные материалы: наука», в котором опубликованы статьи, посвященные методологии и различным методам исследования, контроля и испытания строительных материалов, в основном цементам и бетонам.

Целью данной подборки было ознакомить читателей с возможностями некоторых физических и физико-химических методов в научных исследованиях, практического их применения в технологии производства строительных материалов, а также при подготовке кадров для строительной индустрии. Без системного подхода и применения компьютерного моделирования, а также методов кибернетики невозможно современное развитие науки о материалах и технологии производства материалов с заданными свойствами невозможно.

В опубликованных статьях изложены вопросы методологии, результаты научных исследований и практической апробации работ.

Развитие строительного материаловедения и связанное с этим дальнейшее усовершенствование технологии производства, автоматизация технологических линий, ускорение темпов строительства приводят к необходимости привлечения различных методов для заводского контроля производства и повышения качества выпускаемых материалов и изделий. Последний аспект особенно важен как для повышения конкурентоспособности производимых материалов и изделий, так и для повышения надежности строительства.

Развитие строительного материаловедения предполагает развитие, усовершенствование, расширение области применения методов исследования, а также применение знаний, полученных в других, смежных отраслях.

Вопросы, связанные с развитием методической базы науки, волновали ученых все время становления и развития естественных наук. В своей работе развитию методологии и методов исследования уделял огромное внимание Александр Александрович Байков, основные научные интересы которого, по его же словам, лежали в области химии и касались главным образом цементам и металлов. Его внимание привлекали преимущественно технические проблемы, к разрешению которых он подходил научным путем, пользуясь научными методами и применяя научные законы для решения практических вопросов. Биографию ученого и важные его достижения в области материаловедения читатель может найти в статье, посвященной Александру Александровичу Байкову.

Редакция надеется, что изложенные в статьях методы исследования, получаемые практические результаты приведут к рождению новых идей по совершенствованию технологий производства материалов и ведения строительных работ.



УДК 691.3:666.94.972

Н.И. МАКРИДИН, Е.В. КОРОЛЕВ, доктора техн. наук, советники РААСН,
И.Н. МАКСИМОВА, канд. техн. наук, Ю.В. ОВСЮКОВА, инженер (office@pguas.ru),
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Прогностические параметры качества структуры бетона повышенной прочности

Как известно, основным параметром бетона, на который ориентируются при подборе состава, является его прочность, т. е. марка или класс. При этом предполагается [1], что оптимально подобранный состав бетона только по прочности обеспечивает его эксплуатационные свойства и способность сохранять во времени эксплуатационную надежность. Однако многочисленными исследованиями по изучению гидратационных структур твердеющих цементных систем показано, что прочность их с течением времени в условиях продолжающейся гидратации цемента может не только повышаться, но и характеризоваться замедлением роста и даже сбросами прочности, что обусловлено возникновением в твердеющем цементном камне собственных внутренних напряжений.

Согласно современным воззрениям повышение прочности бетона в результате применения пластифицирующих добавок обусловлено не только снижением количества воды в бетонной смеси, следовательно, сокращением объема пор в цементном камне, но и диспергированием агрегированных частиц цемента, изменением электрических явлений на межфазных границах цементных частиц и условий протекания гидратации, приводящих к образованию более высокого содержания гелевой составляющей цементного камня.

Ранее показано [2] влияние концентрации и процедуры введения суперпластификатора (СП) С-3 в цементно-водную композицию на субмолекулярную гетерогенность структуры цементного камня. По ионизационным рентгенограммам цементного камня в возрасте от 28 сут до 4,5 лет определены величины блоков мозаики L_d по Мчедлову-Петросяну [3], позволяющие судить о гранулометрической однородности структуры образующихся фаз, степени упорядоченности кристаллов, величине удельной поверхности образующихся фаз и плотности дислокаций в структуре, определяющих в конечном итоге прочность цементного камня как матричной основы бетона повышенной прочности. Однако все эти известные данные не раскрывают влияния СП С-3 на кинетические зависимости модуля упругости и внутреннего трения высокопрочного бетона.

В данной работе представлены результаты изучения влияния добавки С-3 на формирование микро- и макроструктуры бетона повышенной прочности с помощью кинетических зависимостей коэффициента внутреннего трения и динамического модуля упругости.

Как известно, внутренним трением твердого тела называется свойство этого тела необратимо превращать в теплоту механическую энергию, сообщенную ему при деформировании. Метод внутреннего трения является структурно-чувствительным методом изучения тонкого строения твердых тел. Для измерения внутреннего трения и динамического модуля упругости бетона использовали прибор ИКВТ-2. Коэффициент внутреннего трения и модуль упругости определяются с помощью резонансной характеристики, полученной при изгибных колебаниях опытного образца.

Для изготовления опытных образцов использовали портландцемент М400 Старооскольского завода, известняковый щебень фракции 5–10 мм, кварцевый речной песок с модулем крупности 1,57 и СП С-3. Было изготовлено три серии образцов. Бетонная смесь первой серии с $V/C=0,306$ контрольная, без использования СП С-3. Бетонная смесь второй серии также с $V/C=0,306$, но с добавкой СП С-3 в количестве 1% массы цемента. Бетонная смесь третьей серии также с добавкой СП С-3 в количестве 1%, но с $V/C=0,242$.

Расчетный расход цемента, мелкого и крупного заполнителя на 1 м^3 бетона во всех сериях был принят одинаковым и составлял: цемента и песка по 620 кг и щебня 940 кг. Время уплотнения при формировании опытных образцов при стандартных параметрах вибрации составляло: для первой серии—120 с, для второй серии—10 с и для третьей—70 с. Плотность образцов по уплотненной бетонной смеси составляла для первой, второй и третьей серий образцов соответственно 2300; 2360 и 2380 кг/м^3 .

После формирования образцы бетона подвергали термовлажностной обработке в лабораторной пропарочной камере по стандартному режиму, а затем после распалубки их подготавливали к испытаниям в соответствии с требованиями инструкции к прибору ИКВТ-2.

Исследования включали изучение в течение 500 сут на образцах бетона, хранившихся в обычных лабораторных условиях, следующих кинетических зависимостей: коэффициента водоотдачи, коэффициента внутреннего трения, динамического модуля упругости, прочности при осевом сжатии, а также зависимости динамического модуля упругости от коэффициента внутреннего трения. Прочность при сжатии опытных образцов, названных сериями, в возрасте 500 сут составляла соответственно 63,9; 76,1 и 88,4 МПа.

На рис. 1 представлены экспериментальные данные кинетики изменения коэффициента внутреннего трения образцов сравниваемых серий бетона, а также расчетные графические зависимости. Регрессионный анализ экспериментальных данных показывает, что наиболее оптимальная зависимость имеет следующий вид:

$$K_{em} = a + b\tau + \frac{c}{\tau^2}, \quad (1)$$

где a, b, c — эмпирические коэффициенты; τ — время наблюдений. Значения эмпирических коэффициентов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Серия бетона	Значения эмпирических коэффициентов		
	a	b	c
1	0,006989	$-5,86 \cdot 10^{-6}$	0,0949
2	0,0073	$-5 \cdot 10^{-6}$	0,104
3	0,008894	$-6,4 \cdot 10^{-6}$	0,0183

Таблица 2

Серия бетона	Значения эмпирических коэффициентов		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
1	1,0073	$-5,46 \cdot 10^{-6}$	0,168
2	1,0039	$-1,03 \cdot 10^{-5}$	0,119
3	1,0069	$-1,613 \cdot 10^{-5}$	0,0089

Таблица 3

Серия бетона	Значения эмпирических коэффициентов			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
1	32416,85	57,018	52980,64	0,5098
2	29700,564	4,073	41032,56	1,0014
3	40457,713	10,823	45106,26	1,368

Необходимо отметить, что аналогичной математической зависимостью описывается влаготеря опытных образцов, представленных на рис. 2 (значения эмпирических коэффициентов в табл. 2). Номера кривых на рис. 2, 3, 4 соответствуют номерам серий бетона, приведенных на рис. 1.

Анализ экспериментальных данных и расположение теоретических кривых на рис. 1 свидетельствует, что адсорбция молекул СП С-3 на цементных частицах как в серии 2, так и серии 3 приводит к ухудшению, т. е. численному увеличению значения внутреннего трения, что обусловлено ухудшением условий возникновения контактов срастания продуктов гидратации цементного камня. В то же время применение СП С-3 приводит к более тщательному диспергированию агрегированных частиц цемента и более равномерному распределению воды затворения на вскрытых физико-химическим диспергированием поверхностях ультрадисперсных частиц, в результате чего большее количество воды испытывает молекулярное притяжение со стороны поверхности твердого тела. Что, вероятно, подтверждается кинетическими зависимостями влаготеря, приведенными на рис. 2.

На рис. 3 представлены экспериментальные данные и математические зависимости кинетики изменения

динамического модуля упругости сравниваемых серий образцов бетона. Из физики твердого тела известно, что на модуль упругости дисперсных систем первостепенное значение оказывает плотность структуры материала. Введение СП С-3 способствует, как отмечалось выше, повышению плотности цементной композиции и увеличению координационных чисел контактного взаимодействия, особенно на уровне тонкодисперсной составляющей цементной композиции, что и приводит к увеличению численных значений модуля упругости в составах, содержащих СП С-3.

Математическая обработка экспериментальных данных, представленных на рис. 3, позволила получить аналитическую зависимость:

$$E_d = \frac{ab + c\tau^d}{b + \tau^d}, \quad (2)$$

где *a*, *b*, *c*, *d* – эмпирические коэффициенты; τ – время наблюдений. Значения эмпирических коэффициентов приведены в табл. 3.

Из анализа вида и значений эмпирических коэффициентов кинетической зависимости следует, что на формирование структуры и на численные значения модуля упругости оказывают влияние как конструктив-

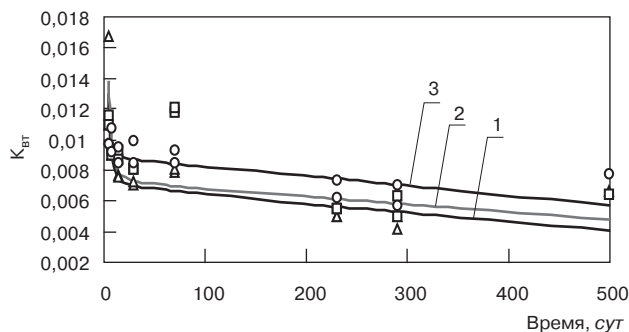


Рис. 1. Зависимость коэффициента внутреннего трения бетона от его возраста: 1 – серия 1 с В/Ц = 0,306; 2 – серия 2 с В/Ц = 0,306, 1% СП С-3; 3 – серия 3 с В/Ц = 0,242, 1% СП С-3

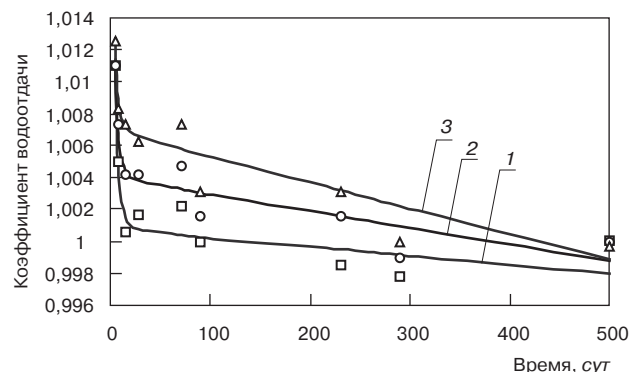


Рис. 2. Зависимость коэффициента водоотдачи от возраста бетона. Номера кривых соответствуют рис. 1

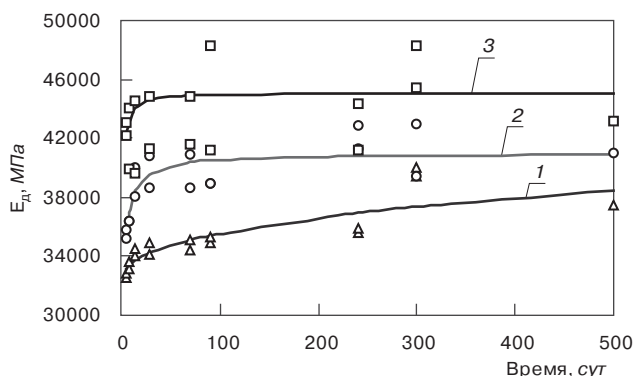


Рис. 3. Зависимость динамического модуля упругости от возраста бетона. Номера кривых соответствуют рис. 1

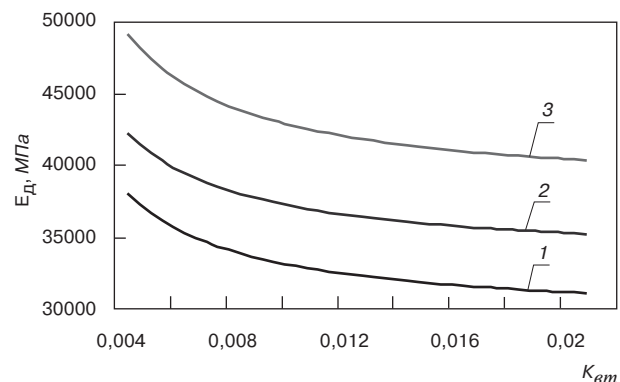


Рис. 4. Корреляционная зависимость динамического модуля упругости от коэффициента внутреннего трения бетона. Номера кривых соответствуют рис. 1

Таблица 4

Серия бетона	Процесс	Скорость процесса в период времени, сут				
		3	28	100	250	500
1	Конструктивный	15762,76	5273,758	2825,641	1803,212	1283,754
	Деструктивный	0,297519	0,099541	0,053333	0,034035	0,024231
2	Конструктивный	41153,25	41282,14	41355,78	41408,87	41449,07
	Деструктивный	1,002941	1,006083	1,007877	1,009171	1,010151
3	Конструктивный	92449,28	210318,3	335987,3	470722,4	607496,6
	Деструктивный	2,049589	4,66273	7,448796	10,43585	13,46812

Таблица 5

Серия бетона	Значения эмпирических коэффициентов	
	a	b
1	1,0073	-5,46 10 ⁻⁶
2	1,0039	-1,03 10 ⁻⁵
3	1,0069	-1,613 10 ⁻⁵

$$E_0 = a + \frac{b}{K_{em}}, \quad (5)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты. Значения эмпирических коэффициентов представлены в табл. 5.

Из графических зависимостей, представленных на рис. 4, и физической сущности формирования механических свойств цементных композитов прослеживается достаточно четкая взаимосвязь между значениями коэффициентов внутреннего трения и динамического модуля упругости на образцах бетона сравниваемых серий. Однако следует отметить, что применение добавки С-3, с одной стороны, приводит к улучшению механической характеристики бетона, а с другой – к увеличению его внутреннего трения.

Для объяснения этих противоположных эффектов действия СП С-3 на рассматриваемые свойства бетона следует исходить из представления о том, что прочность и упругость цементного камня и бетона есть функция пористости, характера надмолекулярной структуры, прочности контактов в тоберморитовом геле, свойств адгезионных контактов, структурного фактора, морфологии гидратных новообразований [5], а внутреннее трение есть функция прежде всего пористости и прочности фазовых контактов как в матричной фазе, так и в композите в целом.

Таким образом, оценка кинетических зависимостей внутреннего трения и динамического модуля упругости бетона неразрушающим методом (получаемых на одних и тех же образцах) является важным прогностическим параметром качества и оптимизации структуры бетонов повышенной прочности.

Ключевые слова: бетон повышенной прочности, коэффициент внутреннего трения, динамический модуль упругости, плотность цементного камня, гелевая составляющая.

Список литературы

1. *Гузев Е.А., Леонович С.Н., Милованов А.Ф.* и др. Разрушение бетона и его долговечность. Минск: Тыздзень, 1997. 170 с.
2. *Макридин Н.И., Прошин А.П., Вернигорова В.Н., Максимова И.Н.* О структурообразовании цементного камня: В кн. Современные проблемы строительного материаловедения. Акад. чтения РААСН: Часть 1: Перспективные направления в теории и практике минеральных вяжущих и материалов на их основе. Материалы Междунар. конф. Самара, 1995. С. 7–10.
3. *Мчедлов-Петросян О.П.* Химия неорганических строительных материалов. 2-е изд., перераб. и допол. М.: Стройиздат, 1988. 304 с.
4. *Ахвердов И.Н.* Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
5. *Сычев М.М.* Некоторые вопросы химии бетона и цементного камня // ЖПХ АН СССР. 1981. Т. LIV. № 9. С. 2036–2043.

ные, так и деструктивные процессы, протекающие при длительном твердении бетона.

Предполагается, что числитель зависимости (2) характеризует конструктивные, а знаменатель – деструктивные процессы, протекающие в бетоне. Конструктивные процессы обусловлены продолжающейся гидратацией цементных зерен, а деструктивные – возникновением собственных внутренних напряжений. При длительном времени наблюдения за структурообразованием твердеющих дисперсных систем можно констатировать взаимовлияние названных процессов, в результате которого преобладает или конструктивное, или деструктивное начало, что выражается в пилообразном характере изменения механических свойств этих систем. Это подтверждается исследованиями других авторов [4].

В начальные сроки твердения преобладающим является конструктивный процесс структурообразования, скорость которого может быть определена:

$$\frac{dy_c}{d\tau} = cd\tau^{d-1}. \quad (3)$$

В более длительные сроки наряду с конструктивными начинают развиваться и деструктивные процессы, скорость которых можно выразить формулой:

$$\frac{dy_d}{d\tau} = d\tau^{d-1}. \quad (4)$$

Анализ зависимостей (3) и (4) свидетельствует, что скорости процессов в сравниваемых сериях бетона имеют существенное как качественное, так и количественное различие. Из данных, приведенных в табл. 4, видно, что скорости конструктивного и деструктивного процессов на образцах бетона серии 1 имеют затухающий характер, который можно описать гиперболической функцией. В то же время на образцах бетона серий 2 и 3, приготовленных с использованием СП С-3, скорости этих процессов характеризуются экспоненциальной зависимостью, что обусловлено возникновением стерического фактора, вносимого в конструктивный процесс синтеза прочности цементного камня с химической добавкой.

На рис. 4 приведены теоретические зависимости динамического модуля упругости от коэффициента внутреннего трения, полученных путем математической обработки экспериментальных данных. Математическая модель этих зависимостей имеет вид:

И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, канд. геол.-мин. наук, В.В. СТРОКОВА, д-р. тех. наук, Е.В. МИРОШНИКОВ, А.Б. БУХАЛО, Н.И. КОЖУХОВА, инженеры, С.С. УВАРОВА, студентка, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Некоторые возможности применения полнопрофильного РФА в задачах строительного материаловедения

Строительное материаловедение является, пожалуй, единственной отраслью наук о материалах, объекты исследования которой отличаются исключительной сложностью для аналитического изучения. К этому следует отнести их существенную полифазность, полидисперсность и различную, вплоть до аморфного состояния, степень кристалличности минеральных компонентов и т. д. Такая специфика объекта исследования налагает определенные требования на методы аналитического инструментария, который должен удовлетворять требованиям структурно-размерно-чувствительности, высокой разрешающей способности, интегральности информации об объекте исследования, экспрессности и аппаратурной доступности.

Из всего арсенала доступных аналитических методов, применяемых в инструментальной практике строительного материаловедения, пожалуй, в наибольшей степени этим требованиям соответствуют порошковые методы рентгеновской дифракции. Размерно-чувствительность заключается в зависимости профильных параметров рентгеновских отражений от размера кристаллитов — областей когерентного рассеяния (ОКГ).

Следует заметить, что до недавнего времени применение этих методов ограничивалось качественным РФА — рентгенофазовой диагностикой, рядом специальных применений и иногда количественным фазовым анализом для относительно простых минеральных композиций. Основная причина этого заключается в том, что рентгенограмма от мелкодисперсного полиминерального вещества является результатом суперпозиции множества дифракционных отражений, из-за чего крайне сложно, а зачастую невозможно получить необходимую количественную информацию о составе и строении исследуемого объекта.

Существенный прогресс в области использования порошковых дифракционных методов произошел благодаря вычислительному методу голландского физика Х. Ритвельда (Hugo Rietveld), основанному на использовании интенсивности дифракционного рассеяния поликристаллическим образцом в каждой точке дифракционного спектра для определения структурных параметров веществ [1, 2]. Метод, называемый также полнопрофильным, основан на минимизации разницы между экспериментальным и расчетным дифракционными спектрами. При этом последний рассчитывают из кристаллоструктурных параметров веществ, составляющих поликомпонентный материал.

В этом методе интенсивность дифракционного спектра $y_{расч}$ в точке i вычисляют по формуле:

$$y_{расч}(i) = \sum_j S_j \sum_{hkl} (LPA)_{hkl} f(2\theta_i - 2\theta_{hkl}) F_{hkl}^2 m_{hkl} Y_{hkl} + B(i), \quad (1)$$

где S_j — масштабный множитель для j -й фазы; L — фактор Лоренца; P — поляризационный фактор; A — фактор поглощения для образца; f — функция формы дифракционного отражения; $2\theta_i$ — угол, соответствующий точке спектра i ; $2\theta_{hkl}$ — угловое положение hkl -отражения; F_{hkl} — структурный фактор; m_{hkl} — фактор повторяемости для

hkl -отражения; Y_{hkl} — фактор преимущественной ориентировки и $B(i)$ — интенсивность фона в точке i . Суммирование производят по всем отражениям hkl всех фаз.

Метод Ритвельда заключается в минимизации функционала:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N w_i \{y_i^{эксп.} - y_i^{расч.}\}^2 \rightarrow \min \quad (\text{где } w_i = 1/\sigma_i^2 = 1/y_i^{эксп.}) \quad (2)$$

нелинейным методом наименьших квадратов путем итерационного уточнения аппаратурных, профильных и структурных параметров, входящих в (1).

Для описания профилей отражений применяют аппроксимирующие функции, представляющие собой суперпозиции колоколообразных функций Гаусса и Лоренца (Коши). Достаточно подробное изложение математических основ метода Ритвельда приведено, например, в [3, 4].

Поскольку метод полнопрофильного анализа включает в себя оптимизацию по нескольким десяткам параметров функции, он очень чувствителен к точности начальных данных. Неудовлетворительное начальное приближе-

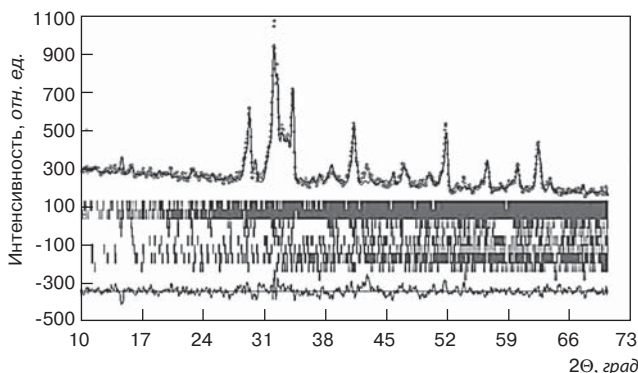


Рис. 1. Ритвельдовская диаграмма цементного клинкера. Вверху: точки — экспериментальная дифракционная кривая, сплошная линия — расчетная; внизу: разностная кривая экспериментального и расчетного дифракционного спектра. Штрихи — брегговские маркеры отражений для всех фаз

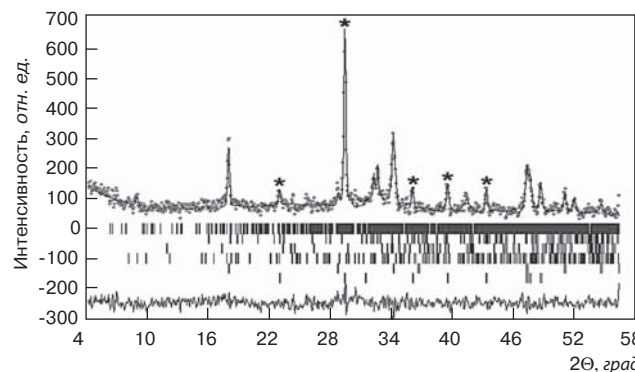


Рис. 2. Ритвельдовская диаграмма цементного камня в возрасте 7 сут. Обозначены отражения внутреннего эталона 20 мас. % кальцита

Таблица 1

Минеральная фаза клинкера*	Содержание минеральной фазы в образцах, %			
	1	2	3	4
C ₃ S R3m	4	5,6	4,7	3,6
C ₃ S Cm	15,8	19,8	23,6	25,6
C ₃ S P1	39,1	35,4	28	25,4
Σ C₃S	58,9	60,8	56,3	54,6
β-C ₂ S	15,5	17	15,5	16,6
γ-C ₂ S	4,9	3,5	9,7	10,4
Σ C₂S	20,4	20,5	25,2	27
C ₃ A Pa3	2,8	7,2	6,4	7
C ₃ A Pbca	3,2	0	0	0,2
Σ C₃A	6	7,2	6,4	7,2
C ₄ AF I2mb	10	7	7,5	7
C ₄ AF Pnma	4,2	4,1	4	4,1
Σ C₄AF	14,2	11,1	11,5	11,1
CaO	0,3	0,2	0,2	0,1

*Для полиморфных модификаций указаны их пространственные группы симметрии.

ние уточняемых при итерации параметров, как правило, приводит функционал (2) в локальный минимум.

Формат данной публикации совершенно не позволяет провести обсуждение частных методических приемов, связанных с практической реализацией полнопрофильного РФА. К обязательным требованиям относятся максимально высокое качество результатов дифракционного эксперимента (желательна монохроматизация излучения, съемка в максимально значимом интервале углов дифракции, достаточная диспергация образца или использование вращения в его плоскости для снятия эффектов крупнокристалличности, обязательное использование щелей Соллера¹; адекватное и максимально полное моделирование минеральной композиции объекта исследования, а также использование вызывающих доверие кристаллоструктурных данных; начальные значения профильных параметров желательна использовать на основе параметров конкретной рентгенооптической системы (их можно получить на основе уточнения профилей в процедуре экстракции интенсивностей по A. LeBail от крупнокристаллического эталонного образца [4]).

Метод Ритвельда позволяет уточнять на основе дифракционных данных структурные параметры исследуемого вещества – параметры элементарной ячейки, координаты атомов, степень заселенности атомных позиций и т. д. Кроме того, для полифазных веществ метод Ритвельда позволяет проводить количественный фазовый анализ без эталона.

В настоящее время имеется достаточно много программных продуктов для реализации метода Ритвельда – свободно распространяемых DBWS, GSAS, FullProf, Rietan, Rietica, DDM, MAUD, BRASS и др. и коммерческих TOPAS, BGMN, SIROQUANT, JADE. Информация по практически всем программным комплексам представлена на сайте [5].

При выборе свободно распространяемого программного обеспечения следует обратить внимание на количество фаз, которое может быть включено в расчетные процедуры, и оно не должно быть меньше, чем количество концентрационно значимых фаз в минеральной композиции исследуемого объекта, например FullProf–16, GSAS и BRASS–10, Rietica и DBWS–8. Некоторые программы, распространяемые вместе с исходным кодом, могут быть перекомпилированы под требуемые значения максимального количества фаз и атомов, например DBWS и DDM.

Обратить внимание на максимальное число атомов в независимых областях элементарных ячеек всех фаз (Rietica–200, FullProf–830). Этот параметр может быть критичным, например при количественном анализе

портландцементного клинкера. Так, количество атомов только в структурной модели моноклинной модификации C₃S по [6] равно 228! Необходимо убедиться в наличии полной документированности программного обеспечения; является ли система поддерживаемой и активно развиваемой автором в настоящее время (к таким относятся FullProf и MAUD).

К недостаткам полнопрофильного РФА следует отнести некоторую сложность начального освоения программного обеспечения и наличие опыта для самостоятельной уверенной работы (обычно 1–2 года).

Количественный рентгенофазовый анализ на основе метода Ритвельда, широко применяющийся в практике зарубежных исследователей, пока не получил распространения в аналитическом арсенале отечественного строительного материаловедения². Поэтому целесообразно проиллюстрировать возможность применения этого метода (с использованием программы FullProf [4]) при решении традиционных аналитических задач.

РФА портландцементного клинкера. Количественный РФА портландцементного клинкера и цементных материалов на его основе, несмотря на более чем полустороннюю историю, до сих пор является одной из сложнейших аналитических задач строительного материаловедения. Ключевым

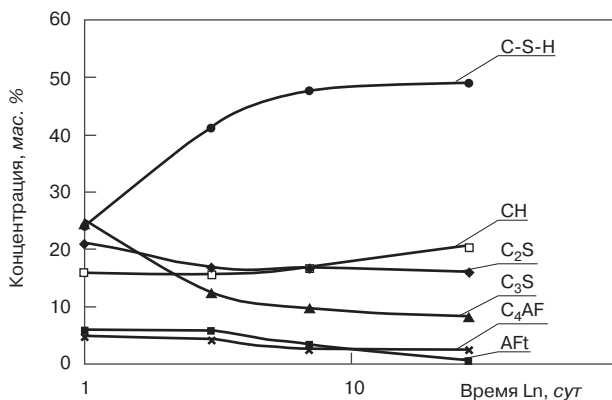


Рис. 3. Диаграмма изменения концентрации минеральных компонентов цементного камня. Маркерами обозначены значения концентраций фаз на 1, 3, 7 и 28-е сут. Временная шкала приведена в логарифмическом масштабе

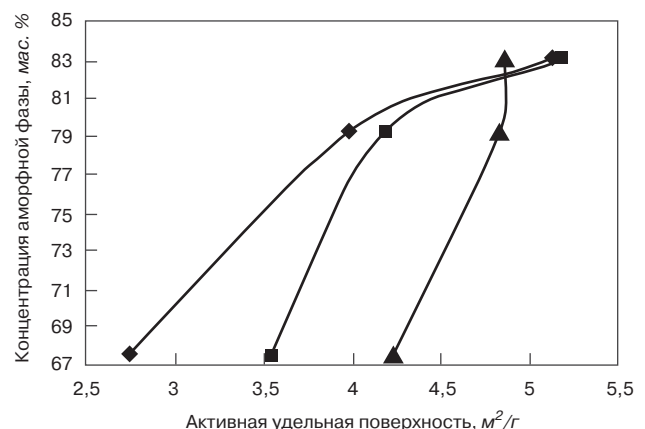


Рис. 4. Зависимость степени аморфизации кварцсодержащего сырья от степени механоактивации. Слева направо: гидротермальный кварц, кварц магматогенно-интрузивный и метаморфогенный

¹ Невыполнение этого условия ведет к появлению заметной асимметрии профилей отражения.

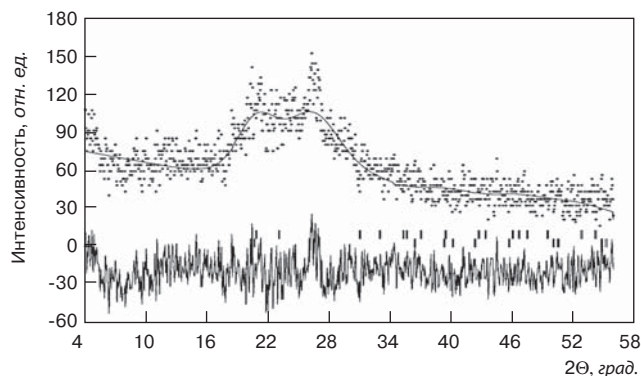


Рис. 5. Ритвельдовская диаграмма перлита Мухорталинского месторождения (Бурятия)

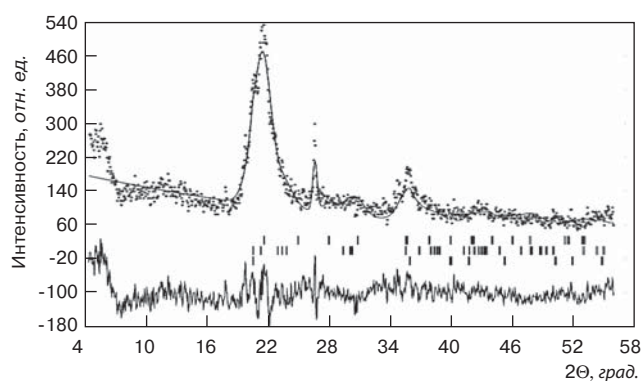


Рис. 6. Ритвельдовская диаграмма трепела Фокинского месторождения (Брянская обл.)

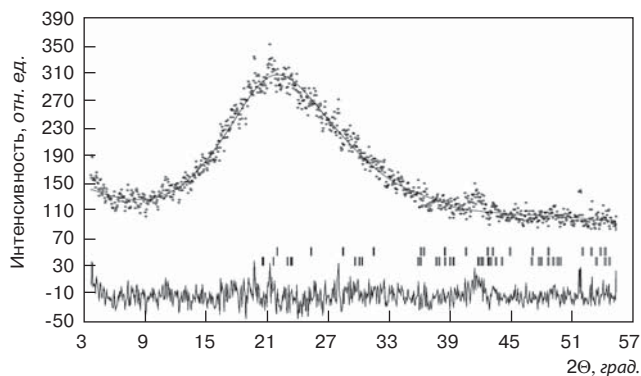


Рис. 7. Ритвельдовская диаграмма вспученного перлита ОАО «Осколснаб»

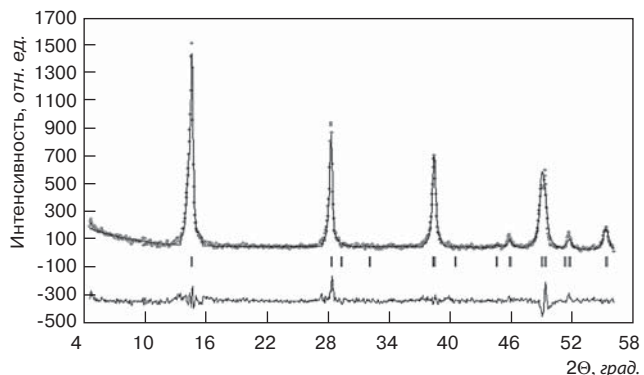


Рис. 8. Ритвельдовская диаграмма бемита. Фактор формы рассчитан методом сферических гармоник

чевым моментом при использовании полнопрофильного метода для количественного рентгенофазового анализа сложных поликомпонентных веществ является полнота данных о структурной модели, положенной в основу ритвельдовского уточнения концентрационных, аппаратурных и структурных параметров. Согласно литературным данным по количественному РФА портландцементного клинкера, как правило, определяют концентрации основных компонентов — C_3S , C_2S , C_3A и C_4AF без учета их полиморфизма [7]. В приложении к цементному производству такой метод позволяет контролировать лишь суммарный минеральный состав, что не очень отличается от традиционно используемого петрохимического пересчета по методу Бога на основе данных рентгенофлуоресцентного спектрального анализа. Исключение составляют, пожалуй, работы австралийских исследователей [8, 9]. Перебором различных вариантов была выбрана модельная композиция минеральных фаз клинкера — C_3S (тригональная + моноклиновая + триклиновая модификация), C_2S (β - C_2S + γ - C_2S), C_3A (кубическая + ромбическая), C_4AF (2 ромбические модификации) и CaO (рис. 1).

Результаты количественного РФА случайной выборки клинкера Белгородского цементного завода представлены в табл. 1.

Таблица 2

Минеральные компоненты	Перлит		Трепел		Вспученный перлит	
	мас.%	ОКГ, нм	вес.%	ОКГ, нм	вес.%	ОКГ, нм
Кристаллит	23	2	54	5	98	0,6
Тридимит	—	—	33	4	2	1,6
α -кварц	77	1,2	13	16	—	—

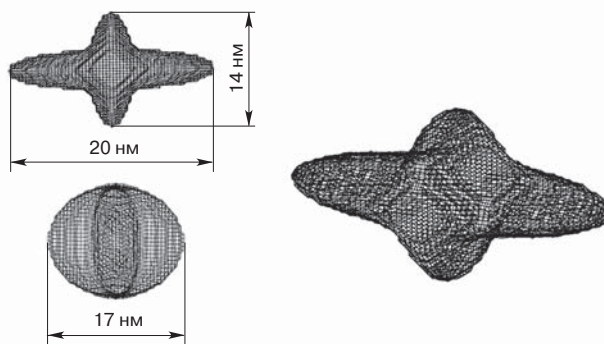


Рис. 9. Визуализация результатов аппроксимации сферическими гармониками обобщенной формы кристаллитов нанодисперсного бемита

² В БГТУ им. В. Г. Шухова в течение нескольких лет проводятся систематические исследования с применением полнопрофильных методов РФА для аналитического обеспечения задач строительного материаловедения.

$$C_{\text{аморф}} = \{100 \cdot (C_{\text{этал}}^{\text{расч}} - C_{\text{этал}}^{\text{истин}})\} \cdot \frac{100 \cdot (C_{\text{этал}}^{\text{расч}} - C_{\text{этал}}^{\text{истин}})}{C_{\text{этал}}^{\text{расч}} \cdot (100 - C_{\text{этал}}^{\text{истин}}) / 100} \cdot (3)$$

В качестве внутреннего эталона использовали кальцит в концентрации 20 мас. %. Модельная минеральная композиция выбрана как C_3S (триклинный) + β - C_2S + C_4AF + CH + эттрингит + кальцит. Окончательные значения концентраций нормировали к составу без эталона. Результаты количественного РФА приведены на рис. 2–3.

Полученные на основе полнопрофильного количественного РФА зависимости находятся в полном соответствии с реальной динамикой фазообразования и набора прочности в гидратирующихся цементных системах.

Изучение динамики механоактивации минерального сырья. Аналогичный подход может быть применен для изучения преобразований в кварцевом и любом другом минеральном сырье при механоактивационной диспергации. На рис. 4 представлена полученная на основе полнопрофильного РФА зависимость концентрации аморфной фазы, возникающей при механоактивации кварцосодержащего сырья различного генезиса, от величины активной удельной поверхности, определенной методом адсорбции азота. Полученные таким образом результаты могут служить основой для разработки методов управления реакционной активностью сырья и доведением некондиционных (малоактивных) сырьевых материалов до требуемого качества.

Изучение фазово-размерной гетерогенности наноструктурированного минерального сырья. Описание фазово-структурного состояния рентгеноаморфных (наноструктурированных) веществ непротиворечиво может быть проведено на основе кристаллических структур-аппроксимантов. При этом кривая рассеяния рентгеновских лучей от аморфного вещества может быть смоделирована как результат рассеяния на наноразмерной совокупности кристаллитов. Размерные эффекты (наномасштабность кристаллитов) будут проявляться в существенном уширении рентгеновских отражений. Так можно получить не только концентрационные параметры наноразмерных фаз, но и определить размеры их кристаллитов в изотропном приближении, т. е. провести рентгеновский микроструктурный анализ. Для этого при полнопрофильных расчетах обязательно используются значения аппаратных профильных параметров.

В качестве примера широко используемых сырьевых материалов, для которых можно применить этот метод, можно привести рентгеноаморфный перлит и почти рентгеноаморфный трепел. В частности, исследовали перлит Мухорталинского месторождения (Бурятия), трепел Фокинского месторождения (Брянская обл.) и вспученный перлит производства ОАО «Осколснаб», используемые для получения композиционных вяжущих и теплоизоляционных материалов на их основе. В качестве предполагаемых минеральных компонентов были выбраны кристобалит, тридимит и α -кварц. Ритвельдовские диаграммы расчетов, полученные с использованием программы, представлены на рис. 5–7.

Количественные значения параметров фазово-наноразмерной гетерогенности изученных материалов приведены в табл. 2.

Таким образом, применение полнопрофильного РФА позволяет получать количественную фазовую и микроструктурную информацию о сырьевых материалах, считающихся аморфными и обычно не исследуемых традиционными методами РФА.

Микроструктурный полнопрофильный дифракционный анализ ультрадисперсных материалов. Кроме проиллюстрированных возможностей полнопрофильного рентгенофазового и микроструктурного анализа относительно недавно появилась возможность расчетного

представления формы кристаллитов на основе ее аппроксимационного описания при помощи сферических гармоник. Такая возможность реализована, в частности, в программе FullProf [4].

Этот методический прием был применен при исследовании синтетического нанодисперсного бёмита, используемого как модификатор цементного вяжущего для производства ячеистого бетона. Результаты расчетов приведены на рис. 8–9.

Таким образом, развитие полнопрофильных микроструктурных дифракционных методов позволяет расчетным путем получать информацию не только о размерных параметрах в анизотропном приближении, но и представлять форму поверхности кристаллитов на основе аппроксимационных приближений.

Следующим шагом в развитии методического инструментария рентгеновских дифракционных методов в строительном материаловедении должно стать широкое применение полнопрофильных методов количественного текстурного анализа [3]. Программные реализации этих методов уже существуют. Применение этих методических приемов позволит получать количественную фазовую, микроструктурную и текстурную информацию от материалов в их естественном состоянии in situ без его деструкции.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. проводимой Федеральным агентством по образованию по теме «Разработка принципов утилизации отходов горнодобывающих предприятий в дорожном строительстве».

Ключевые слова: рентгенофазовый анализ, метод Ритвельда, строительное материаловедение.

Список литературы

1. Rietveld H. M. Line profiles of neutron powder-diffraction peaks for structure refinement // Acta Cryst. 1967. № 22. Pp. 151–152.
2. Rietveld H. M. A Profile Refinement Method for Nuclear and Magnetic Structures // J. Appl. Cryst. 1969. № 2. Pp. 65–71.
3. Chateigner D. Combined Analysis: structure-texture-microstructure-phase-stresses reflectivity determination by X-ray and neutron scattering: CRISMAT-ENSI-CAEN, UMR CNRS n 6508, 6 Bd. M. Juin, F-14050 Caen, France.
4. Rodriguez-Carvajal J. An Introduction to the Program FullProf 2000: Laboratoire Leon Brillouin (CEA-CNRS) CEA / Saclay, 91191 Cif sur Yvette Cedex, France. 2000. 139 p.
5. <http://www.ccp14.ac.uk/ccp/web-mirrors/>
6. Nishi F., Takeuchi Y., Maki I. The tricalcium silicate $Ca_3O[SiO_4]$: the monoclinic superstructure // Zeitschrift für Kristallographie. 1985. № 172. Pp. 297–314.
7. Stutzman P., Leigh S. Phase Composition Analysis of the NIST Reference Clinkers by Optical Microscopy and X-ray Powder Diffraction // National Institute of Standards and Technology Technical Note 1441, Washington, September, 2002. Pp.44.
8. Peterson V. K., Ray A., Hunter B.A. Rietveld phase quantification of cement clinker using powder diffraction data: Department of Chemistry, Materials and Forensic Science, University of Technology Sydney. Australian Nuclear Science and Technology Organisation. Menai: NSW, 2007.
9. Peterson V. K., Ray A., Hunter B.A. Importance of minor phase inclusion in the Rietveld analysis of cement clinkers: Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement. Cement and Concrete Institute. Durban, 2003. Pp. 146–150.



Александр Александрович БАЙКОВ (1870 – 1946)

*Hypotheses non fingo
(гипотез не выдумываю)
И. Ньютон*

Александр Александрович Байков родился 25 июня (6 августа) 1870 г. в г. Фатеж Курской губернии в семье присяжного поверенного (адвоката). Вскоре после его рождения семья переехала в Курск. В 1880–1889 гг. он учился в Курской гимназии, где серьезно увлекся химией. Это увлечение стало делом его жизни. Вспоминая об этом, Байков писал: *«Как-то мне в руки случайно попался в руки учебник химии Ковалевского для реальных училищ. Он меня заинтересовал, возникло желание проделать простейшие опыты, которые в нем описывались»* [1].

В 1893 г. А.А. Байков окончил физико-математический факультет Санкт-Петербургского университета. На физико-математическом факультете было два отделения: естественное, где читался курс химии по всем основным разделам, и математическое, на котором большое внимание было уделено математике и физике. Молодой Байков решил окончить оба отделения одновременно, так как ясно представлял себе, что для глубокого понимания химических явлений необходимо иметь серьезную подготовку по физике и математике [2].

Надо заметить, что во второй половине XIX в. в университете сложились и получили развитие всемирно известные научные школы: П.Л. Чебышева – в математике, Э.Х. Ленца – в физике, Д.И. Менделеева и А.М. Бутлерова – в химии, А.Н. Бекетова – в ботанике, И.И. Мечникова и А.О. Ковалевского – в эмбриологии, И.М. Сеченова – в физиологии, В.В. Докучаева – в почвоведении, А.А. Иностранцева – в геологии, Ф.Ф. Соколова – в антиковедении, К.Н. Бестужева-Рюмина – в отечественной истории, Н.И. Кареева – в истории Европы, В.П. Васильева и В.Р. Розена – в ориенталистике. С конца 60-х гг. XIX в. при университете возникают научные общества. В 1868 г. было образовано Общество естествоиспытателей; в 1869 г. – Русское химическое общество, созданное при деятельном участии Д.И. Менделеева и переименованное по его инициативе в 1878 г. в Русское Физико-Химическое общество. Позднее возникают Филологическое, Антропологическое и

Историческое общества, Ботанический сад и Астрономическая обсерватория. В 1893 г. был создан Химический институт, а в 1901 г. открылся первый в России Физический институт.

Учась в университете, Александр Александрович Байков стал учеником Д. И. Менделеева, который отметил и включил первое студенческое исследование Байкова о явлениях закалки в шлаках меди и сурьмы в свой труд «Основы химии». Сотрудничество с Д.И. Менделеевым продолжалось до самой смерти великого учителя.

Воспитанный на идеях Д.И. Менделеева о тесной связи трех основных наук – математики, физики и химии (особенно в случаях их приложения к промышленности), Байков решил углубленно изучать эти три науки.

Дипломную работу А.А. Байков делал в лаборатории профессора Д.П. Коновалова по физической химии. Университет он окончил досрочно, за четыре года с дипломом 1-й степени и был оставлен при университете для работы в лаборатории.

В 1897 г. по предложению Д.П. Коновалова, который был профессором химии и в Институте инженеров путей сообщения, А.А. Байков перешел в этот институт на должность заведующего химической лабораторией. В учебных планах института химия занимала весьма скромное место. Перед химической лабораторией Ведомством путей сообщения ставились практические задачи оценки качества материалов, применяющихся для железных дорог и подвижного состава, главным образом металлов, сплавов, вяжущих веществ. Это были скромные практические исследования, но и на их основе Байков стремился делать теоретические обобщения.

Александр Александрович ставит решение конкретных научных проблем в прямую связь с теорией познания. Заканчивая статью «Химическое сродство» [3], он пишет: *«Постепенно отрешаясь от метафизических приемов мышления и проникаясь идеями критической философии Канта, человеческий разум все ближе и ближе прибли-*

жаётся к истине. *Всматриваясь в этот переход от абсолютных задач к относительному знанию, нельзя не вспомнить глубокие слова, которые были высказаны 300 лет тому назад и которым должен следовать всякий естествоиспытатель в деле изучения природы: «Hypotheses non fingo» (гипотез не выдумываю)».*

В 1899 г. А.А. Байков был командирован советом института за рубеж для более глубокого изучения свойств металлических сплавов и цементов. В лаборатории Г. Ле Шателье в Париже он углублял свои знания по химии и металлографии, а у Г.Н. Вырубова — по кристаллографии. Там же во Франции Байков непосредственно познакомился с новой экспериментальной техникой, эти знания Александр Александрович активно использовал в своих исследованиях.

В 1902 г. в дачном районе Санкт-Петербурга — Лесном шла подготовка к открытию Политехнического института. По рекомендации известного металлурга А.А. Ржешотарского Байков был приглашен преподавателем по общей металлургии. С 1 ноября 1902 г. его командировали на один год за границу для подготовки к профессорскому званию. А.А. Байков снова едет в Париж в лабораторию профессора Г. Ле Шателье, где занимается металлургией и технической химией. По возвращении в Политехнический институт А.А. Байков блестяще сдал экзамены на звание адъюнкта по металлургии и химии.

В конце 1903 г. в Петербургском политехническом институте состоялась первая публичная защита диссертации А.А. Байкова на тему «Исследование сплавов меди и сурьмы и явлений закалки, в них наблюдаемых». Диссертация была высоко оценена присутствующими. После прочтения двух пробных лекций Александр Александрович был избран советом института адъюнктом, а 1 ноября 1903 г. экстраординарным профессором по кафедре металлургии. С 1904 г. начался новый, полностью политехнический период в жизни А.А. Байкова.

В январе 1904 г. скончался А.А. Ржешотарский, продолжать его работу поручили А.А. Байкову. Лекции по общей металлургии и металлографии, которые ему предстояло читать, впервые вводились в учебный план института. Позже ему был поручен курс металлургии цветных металлов, на инженерно-строительном отделении он читал технологию вяжущих веществ и технологию строительного искусства, а на экономическом отделении — неорганическую химию.

За короткое время А.А. Байков организовал в химическом павильоне металлургическую и металлографическую лаборатории, а также лабораторию технического и горнозаводского анализа. Предполагалось, что лаборатории будут использоваться не только для учебных студенческих работ, но и для научных исследований. Лаборатория металлографии была первой институтской учебной лабораторией не только в России, но и в мире. Лаборатория А.А. Байкова наряду с лабораториями Н.С. Курнакова, Ф.Ю. Левинсон-Лессинга и П.П. Федотьева стала центром научно-исследовательской работы на металлургическом факультете. Многие из работ, выполненные в лаборатории под руководством А.А. Байкова, опередили науку того времени. Одной из таких работ является дипломная работа Б.В. Старка «Кислород в стали». Разработка такой темы в то время свидетельствовала о присущей Александру Александровичу смелости в экспериментировании и о глубоком понимании проблем металлургии. Только спустя много лет в лучших лабораториях мира стали изучать растворимость кислорода в стали.

В 1908 г. А.А. Байков был избран ординарным профессором металлургии и технической химии. К этому времени за ним уже утвердилась слава одного из лучших лекторов Политехнического института. А.А. Байков чи-

тал сразу несколько курсов, почти все из которых преподавались в институте впервые, сам разрабатывал лекции и учебные планы. Одновременно вел обширные научные исследования на базе кафедр института.

В 1909 г. А.А. Байков открыл и доказал существование аустенита путем травления железа и стали сухим хлористым водородом в атмосфере азота при высокой температуре.

В статьях о полиморфизме никеля [4, 5] А.А. Байков впервые с помощью разработанного им дифференциального метода записи кривых охлаждения убедительно доказал существование полиморфных превращений никеля.

Особой смелостью идей и силой логической аргументации отличаются работы А.А. Байкова о природе фаз в системе железо—углерод [6]. Он установил, что цементит, который принято считать химическим соединением Fe_3C , в действительности типичными свойствами химического соединения не обладает и может рассматриваться как твердый раствор железа в алмазе. Такое представление с большей достоверностью позволяет объяснять сущность превращений, наблюдавшихся в железоуглеродистых сплавах.

К 1917 г. ординарный профессор по кафедре металлургии А.А. Байков имел чин статского советника и ордена Св. Владимира 4-й степени и Св. Анны 2-й и 3-й степеней.

Летом 1918 г. в связи с работами по исследованию карадагских трасов А.А. Байков находился в Крыму. События гражданской войны не позволили ему своевременно вернуться в Петроград, и до 1923 г. он оставался в Симферополе, где заведовал кафедрой химии в Таврическом университете, а с 1921 г. был ректором вуза.

Только в 1923 г. А.А. Байкову удалось вернуться в Политехнический институт, который за пять прошедших лет претерпел огромные изменения, как и вся жизнь в стране. Александр Александрович занял в институте свою прежнюю кафедру и возобновил чтение лекций по общей металлургии и металлургии меди, а с 1925 г. и по металлографии. В 1923 г. А.А. Байков был избран профессором по кафедре химии при Петроградском университете, которой ранее заведовали его учителя Д.И. Менделеев и Д.П. Коновалов. Здесь под его руководством была создана первая в стране рентгенографическая лаборатория.

В 1924 г. на съезде деятелей металлургии в Ленинграде А.А. Байков выступил с докладом «Теория и практика пиритной плавки», в котором изложил направления развития теории производства меди. В нем ученый рассмотрел вопросы выбора рационального способа получения меди исходя из качества отечественного сырья. В этом же году он опубликовал статью «Полиморфизм железа и структура стали в связи с рентгенографическими исследованиями», в которой подвел итог новейшим работам в этой области. А.А. Байков много применял в исследованиях спектральные методы и считал их весьма важными и необходимыми в исследованиях.

С февраля 1925 г. А.А. Байков — декан химического факультета, а с июня 1925 г. по октябрь 1928 г. — ректор Ленинградского политехнического института.

В этот период Александра Александровича сильно беспокоил уровень абитуриентов. Он писал: «Подготовленность учащихся к прохождению курса в вузе крайне мала. Это одинаково относится почти ко всем видам среднего образования. Нет хороших знаний по специальным предметам (физика, математика), но особенно чувствуется отсутствие общего образования и умения излагать свои мысли. В связи с этим возникает сомнение в возможности выпуска большого числа инженеров и экономистов с широким кругозором» [7].

Следующая большая группа трудов А.А. Байкова посвящена вяжущим веществам — цементам. Наиболь-

шим достижением является созданная теория твердения вяжущих. Над этой проблемой работали крупнейшие ученые того времени, в том числе Г. Ле Шателье, В. Михаэлис и др. Однако до 20-х гг. XX в. не было теории, которая могла бы объяснить все факты, наблюдаемые при схватывании и твердении вяжущих веществ. Ле Шателье объяснял твердение вяжущих веществ тем, что сами эти вещества более растворимы в воде, чем продукты их гидратации. Поэтому последние, выделяясь из пересыщенного раствора, прорастают своими кристаллами всю массу вещества и превращают ее в связный кристаллический сросток. В качестве яркого примера, подтверждающего эту теорию, всегда указывали на схватывание обыкновенного штукатурного гипса.

Однако точные опыты, поставленные Александром Александровичем, позволили установить, что между концом гидратации полуводного гипса и его действительным затвердением протекает много времени – часы и даже дни, что не вяжется с теорией Ле Шателье. В. Михаэлис объяснял твердение цементов тем, что продукты их гидратации выделяются в виде студенистой массы, которая как бы склеивает крупинки вяжущего вещества в одно целое и потом только медленно прорастает образующимися кристаллами малорастворимых соединений.

А.А. Байков исходил из следующего бесспорного положения: всякое вещество совершенно не растворимо в своем собственном насыщенном растворе, поэтому если какое-нибудь твердое вещество образуется в среде своего собственного насыщенного раствора, то оно должно выделяться в коллоидальном состоянии. Такая система оказывается неустойчивой вследствие того, что растворимость мелкодисперсных частиц больше, чем крупных. Если по отношению к первым раствор оказывается насыщенным, то по отношению к выделяющимся из него кристаллам он пересыщен. Период образования коллоидальных продуктов гидратации отвечает периоду схватывания, а кристаллизация из пересыщенного раствора, определяет твердение цемента [8]. Прочность образующегося кристаллического сростка зависит главным образом от кристаллизации гидрата извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Хотя гидрат извести малорастворим в воде, при умеренном количестве воды в раствор переходит сравнительно небольшая часть извести, а остальная ее часть образует кристаллический сросток.

Это была смелая мысль. Главную причину прочности свежей отвердевшей массы портландцемента связывали с образованием кристаллов гидрата извести. Однако их никто и никогда не наблюдал. А.А. Байков простым и убедительным способом доказал образование гидратов оксида кальция в цементных растворах. В стеклянную колбу наливают 500 мл воды и насыпают 50 г цемента. Содержимое колбы в течение некоторого времени взбалтывают, чтобы не дать цементу осесть на дно. Спустя некоторое время зерна цемента гидратируются во взвешенном состоянии, теряют способность схватываться и остаются в виде рыхлой взмучивающейся массы. Через несколько часов на стенках и дне колбы появляются и растут прозрачные, хорошо образованные кристаллы. А.А. Байков собрал эти кристаллы, оказалось, что они точно соответствуют составу гидрата оксида кальция.

Эти опыты убедительно доказали правильность теоретических представлений. Результаты исследований ученый доложил научной общественности и затем сделал доклад в Парижской Академии наук, где в качестве иллюстрации демонстрировал кристаллы гидрата извести [2]. Таким образом, теория и опыт позволили утверждать, что отвердевший цементный раствор представляет массу $\text{CaOSiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ и $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, прони-

занную кристаллическим сростком гидрата оксида кальция. Поэтому свойства бетонных и цементных сооружений и продолжительность службы их в тех или иных условиях определяются совокупностью свойств этих трех химических соединений.

Большая работа была проведена А.А. Байковым по изучению разрушения сооружений из портландцемента в природных водах, особенно в морской и минерализованной. Им был выяснен характер этих разрушений, заключающийся в том, что разрушение цементных массивов происходит не с поверхности, а изнутри, вследствие образования на поверхностных частях нерастворимого углекислого кальция. Обширный опытный материал был собран Александром Александровичем совместно с инженером В.И. Черномским при обследовании состояния бетонных сооружений в портах Одессы, Севастополя, Ялты, Феодосии, Новороссийска, Поти, Батума, Баку, Махачкалы в 1905 г. Значительно позже (1925 г.) пришлось А.А. Байкову проводить обследование Шолларского водовода (Баку) протяженностью около 185 км. Причины разрушения были неясны, а состояние водовода – угрожающим. Александр Александрович прошел несколько десятков километров, внимательно изучая поврежденные участки водовода и собирая пробы продуктов разрушения бетона и просачивающихся сквозь них грунтовых вод. Собранные при этом образцы разрушенного бетона были подвергнуты точному лабораторному исследованию и позволили установить, что разрушению подверглись те части водовода, которые проходили в зоне минерализованных вод. Фильтруясь сквозь бетонные стенки сооружения, воды разрушали их. А.А. Байков показал, что обыкновенный портландцемент не может работать в таких условиях, и предложил применять для этой цели специальный цемент с гидравлическими добавками. Используемый для восстановления разрушенных мест, этот цемент обнаружил прекрасную стойкость.

А.А. Байков работал чрезвычайно много. Как всякий талантливый экспериментатор, он стремился к простоте, наглядности и доказательности.

Круг научных интересов Александра Александровича был необычайно широк и разнообразен. Но во всех, казалось бы, различных областях научно-технического знания, он пользовался одним и тем же методом, основанным на применении к исследуемому явлению законов физической химии. Это требовало постоянного экспериментирования. В лаборатории А.А. Байкова отличал особый стиль работы и требования, которые он предъявлял к себе и сотрудникам. Прежде всего – систематичность. «Когда приходишь в лабораторию, всегда надо там что-нибудь сделать», – говорил он. Это «что-нибудь» иногда требовало нескольких дней напряженного труда, но сам Байков, если бы в это время к нему зашел какой-нибудь посетитель, принял бы его с своей обычной приветливостью и виду не показал, что в данный момент он очень занят.

Еще одна очень характерная черта. Александр Александрович, даже когда он стал вполне сложившимся ученым, никогда не позволял себе пользоваться непроверенными данными своих молодых сотрудников. Сколько-нибудь ответственные опыты, включая и анализы, он всегда делал лично. Когда он привез материалы по Шолларскому водоводу, то собственноручно анализировал их и, основываясь на полученных результатах, сделал свое окончательное заключение [8].

А.А. Байков в совершенстве владел особым методом изложения материала, который требовал непрерывного труда слушателей. Освещение всякого вопроса он начинал с выдвигания определенной проблемы, затем устанавливал все условия, влияющие на протекания того или иного процесса. Далее он показывал, как, опираясь на законы

природы и логически правильно их применяя, в сложной цепи явлений отделять главное, решающее от второстепенного и, сосредоточив внимание на этом главном, находить пути к решению поставленной задачи. Таким образом, он обучал слушателей методу научного мышления [2].

Много исследований было посвящено каустическому магнезиту (цемент Сореля). В результате А.А. Байков установил, что твердение каустического магнезита при затворении растворами хлорида магния происходит в результате соединения оксида магния с водой. Полученные сведения позже были подтверждены исследованиями, проведенными в Институте цементов (Ленинград). Кроме того, А.А. Байковым были даны точные указания условий обжига природного магнезита (саткинского) для получения каустического магнезита.

До революции значительную часть огнеупорных изделий ввозили из-за рубежа. Развитие металлургии в советском государстве требовало либо увеличение экспорта, либо производства собственных огнеупоров. Нужны были огнеупорные изделия в большом количестве и хорошего качества. Не имея теории, правильно объясняющей процессы, протекающие в огнеупорных изделиях в производственных условиях, решить поставленную задачу было нельзя. А.А. Байков пересмотрел установившиеся теоретические положения в отношении огнеупорных материалов и дал новое глубокое толкование ряда явлений. В своих суждениях он исходил из того, что при твердении цементных растворов и при обжиге огнеупорных изделий происходят в сущности одни и те же явления, поэтому оба этих процесса можно рассматривать на основе одних и тех же законов физической химии. Это дало возможность применить к процессу агломерации огнеупорных изделий основные принципы теории, разработанной им для цементных растворов, и создать теорию процесса агломерации [2].

С 1934 г. А.А. Байков принимает непосредственное участие в работе института огнеупоров.

Напряженную научную и учебную работу А.А. Байков совмещал с активной общественной деятельностью, принимая участие во многих научных обществах. Еще в студенческие годы он был членом малого химического общества — научных семинаров под руководством Д.П. Коновалова. С 1984 г. и до последних дней А.А. Байков был активным членом Русского Химического общества и одним из инициаторов создания Русского Металлургического общества; с 1899 по 1905 г. — членом и секретарем Рельсовой комиссии при Инженерном совете Министерства путей сообщения; с 1904 по 1907 г. — редактором журнала «Цемент». Трудно перечислить все должности, которые занимал А.А. Байков, оставаясь профессором и ректором Политехнического института. С 1923 г. он занимал пост старшего метролога Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии (тогда Главной палаты мер и весов), а с 1925-го — заведующего химической лабораторией, председателя комитета эталонов и стандартов. В 1926 г. его привлекли к работе в ГИПРОМЕЗ (Государственный институт по проектированию металлургических заводов) сначала как консультанта, а затем как председателя технического совета. Одновременно А.А. Байков состоял председателем Ассоциации научно-исследовательских учреждений черной металлургии. Кроме того, Александр Александрович читал курс по металлургии в Военно-технической и Артиллерийской академиях РККА. С 1927 г. он директор Института металлов Академии наук.

Не прерывая своей научной и педагогической деятельности, А.А. Байков входил в состав нескольких научно-административных коллективов в качестве члена президиума Комитета по делам высшей технической школы, члена Высшей аттестационной комиссии Ко-

митета, члена (а затем и председателя) Совета научно-технической экспертизы Госплана.

В 1932 г. он избирается академиком АН СССР (был членом-корреспондентом с 1927 г.). С 1935 по 1941 гг. — заведующий кафедрой неорганической химии и декан химического факультета Ленинградского государственного университета. С 1941 г. А.А. Байков — вице-президент Академии наук СССР. Все первые месяцы войны находился в Ленинграде, был председателем городской комиссии помощи фронту, организовал выполнение срочных работ в интересах фронта и блокадного города.

В своей речи в связи с присуждением Сталинской премии А.А. Байков так подводит итог своей научной деятельности: «Мои научные исследования относятся к области химии и касаются главным образом цементов и металлов. Мое внимание привлекли преимущественно технические проблемы, но к разрешению их я подходил научным путем, пользуясь научными методами и применяя научные законы для решения практических вопросов» [8].

В декабре 1941 г. А.А. Байков по категорическому требованию руководства Академии наук был эвакуирован в Свердловск и интенсивно работал в комиссии по мобилизации ресурсов Сибири, Урала.

Блестяще образованный, имеющий кроме университетского еще и музыкальное образование, А.А. Байков был прекрасным собеседником. Вот как об этом вспоминает писательница Мариэтта Шагинян: «Моложавый стройный старик, юношески свежий в движениях, появился на Урале, — и те, кто не знал его близко, услышали очаровательного собеседника, наизусть помнящего страницы любимых им поэтов, музыканта с глубоким суждением о музыке, человека гальского остроумия и ворчливой русской доброты, о котором прокатчики и сварщики, мартеновцы и электролавиальщики, термисты и печники говорят «наш Байков» [9].

Скончался ученый 6 апреля 1946 г. Похоронен в Москве на Новодевичьем кладбище.

Именем ученого назван Институт металлургии и материаловедения Российской академии наук, улица в Санкт-Петербурге. В Санкт-Петербурге установлены мемориальные доски на доме, где жил академик, и на здании Политехнического университета, где он работал.

*И.В. Козлова,
канд. физ.-мат. наук*

Список литературы

1. Байков А.А. Собрание трудов. Т. 2. М.—Л.: Изд. Академии наук СССР, 1952. С. 496.
2. Тумарев А.С. Александр Александрович Байков — выдающийся металлург и химик. М.: Металлургиздат, 1954. 88 с.
3. Байков А.А. Химическое сродство: В кн. "Сб. статей в помощь самообразованию по математике, физике, химии и астрономии". М.: Тип. Малютова, 1898. С. 263—291.
4. Байков А.А. О полиморфизме никеля // Журнал Русского металлургического общества. 1910. № 5. Ч. 1. С. 227—231.
5. Байков А.А. Полиморфизм никеля // Журнал Русского физико-химического общества, часть химическая. 1910. Т. 42. Вып. 8. С. 1380—1385.
6. Байков А.А. К вопросу о диаграмме превращений сплавов железа с углеродом // Журнал Русского металлургического общества. 1910. № 6. Ч. 1. С. 344—355.
7. Байков А.А. Труды ЛПИ. 1957. № 190.
8. Байков А.А. Собрание трудов. Т. 1. М.—Л.: Изд. Академии наук СССР, 1952. С. 31, 41—44.
9. Шагинян М. Академика на Урале: 2. Портрет академика А.А. Байкова // Новый мир. 1943. № 7—8. С. 114—118.

УДК 662.998-494

Н.Г. ИГОНИН, магистр физики, Г.С. ИГОНИН, д-р техн. наук, ФГУП «ФНПЦ «Алтай» (г. Бийск Алтайского края)

Исследование влагопоглощения базальтоволоконными материалами

Все большее внимание в современном строительстве уделяют тепло- и звукоизоляции строительных конструкций от внешнего воздействия окружающей среды. В строительстве в настоящее время широко применяются плиты на основе ваты, получаемой из минеральных горных пород, и различных типах связующих. Преимуществом таких материалов является наличие больших запасов сырья для их производства.

При эксплуатации в строительных конструкциях теплоизоляционные материалы практически всегда подвергаются внешним воздействиям (температура, влажность, радиация, биологические организмы), которые существенно влияют на их свойства. При этом, как показывает практика, наибольшее значение имеет присутствие влаги.

Изучение закономерностей водо- и влагопоглощения, как известно, может дать большую информацию не только о предельном количестве влаги, сорбированной материалом при той или иной влажности, но и об особенностях первоначального состояния и структурных перестройках, которые протекают во времени.

Цель настоящей работы – изучение закономерностей влагопоглощения базальтовой ватой и плитами на ее основе. Объект исследований – базальтовая вата ВМСТ (ГОСТ 4640–93), полученная индукционным плавлением горных пород, и плиты на ее основе. В качестве связующего в плитах использовали смесь жидкого натриевого стекла, поливинилацетатной дисперсии и технологических добавок. Навески ваты (150–250 мг) предварительно сушили в прокаленном при 150°C в течение 2 ч силикагеле, затем помещали в стеклянные открытые стаканчики и экспонировали в средах с 0; 40; 60; 80 и 90% относительной влажностью, создаваемых в эксикаторах. Периодически взвешивая образцы на аналитических весах (точность 10^{-4} г), получали кинетические кривые сорбции влаги материалом. По достижении термодинамического равновесия навески материала помещали в прокаленный силикагель, методом взвешивания получали кинетические кривые десорбции. Для проведения экспериментов по сорбции влаги базальтовыми плитами материал разрезали на плоские образцы толщиной 10–20 мм и площадью 100×100 мм, дополнительно изолируя с боков алюминиевой фольгой с помощью эпоксидного клея (что вносило некоторую погрешность в измеренную величину предельного влагонасыщения). Затем их также помещали в те же влажные среды и получали кинетические кривые сорбции. Аналогично, десорбируя влагу из насыщенных при различной относительной влажности состояний в прокаленном силикагеле, получали кинетические кривые десорбции.

Кинетические кривые сорбции влаги базальтовой ватой в обычных координатах относительный прирост массы–время представлены на рис. 1. Видно, что влагопоглощение носит неравномерный характер: на кинетических кривых можно выделить участки как возрастания, так и локальной потери массы; первый процесс, однако, превалирует; таким образом, конечное влагосодержание довольно значительно и превышает 0,5 мас. % (для 90 % относительной влажности).

Исследование десорбции показало, что после первоначальной потери некоторого незначительного количества влаги (около 0,05 мас. % и менее) масса навесок остается стабильной на протяжении длительного време-

ни (по меньшей мере более 300 сут), поэтому кинетические кривые десорбции не были получены. Продолжительный эксперимент (более 1 ч) по выпариванию влаги из десорбированных образцов на влагомере 903 при температуре 200°C привел к увеличению значения влагосодержания еще на 0,05 мас. %, что не соответствует общему поглощенному количеству влаги.

Выявленные особенности влагопоглощения базальтовой ватой подтверждают протекание следующих процессов [1]: вынос вещества вследствие нестабильности минеральных волокон в присутствии влаги, обусловленной неоднородностью их строения и присутствием в них оксидов и окислов щелочных и щелочно-земельных металлов, способных к выщелачиванию, растворению и последующему вымыванию. Это объясняет локальные участки потери массы, наблюдаемые на кинетических кривых, а также приводит к тому, что измеренная величина предельного влагопоглощения несколько занижена). Следующий процесс – образование гидратной оболочки на поверхности волокон вследствие взаимодействия молекул воды с силовыми полями активных центров минеральной породы

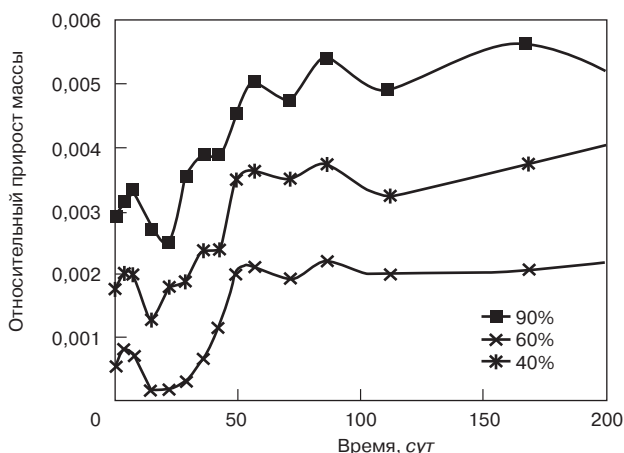


Рис. 1. Кинетические кривые сорбции воды базальтовыми волокнами в различных влажностных средах

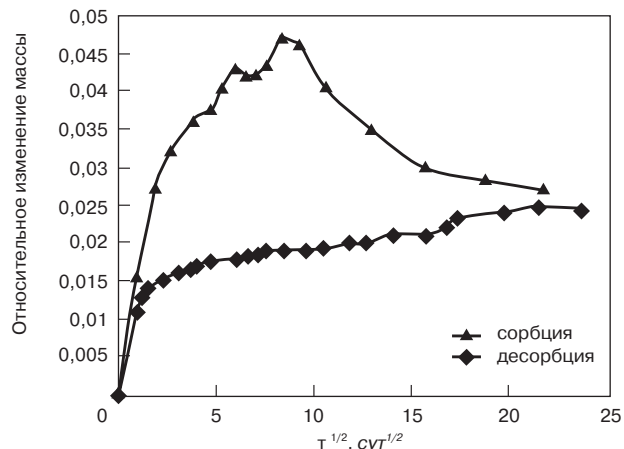


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции воды базальтовыми плитами в среде с 80% относительной влажностью и последующей десорбции из влагонасыщенного состояния

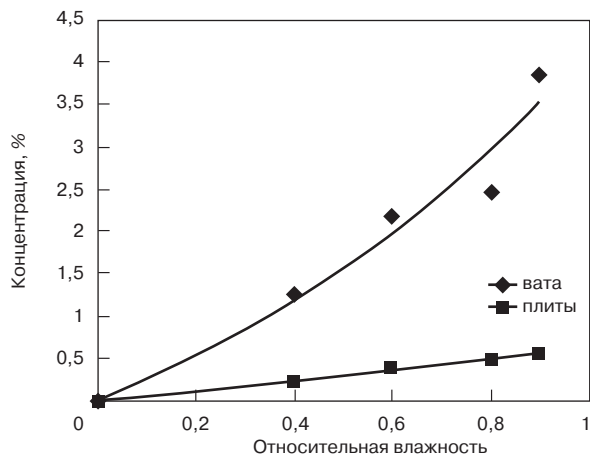


Рис. 3. Экспериментальные изотермы сорбции влаги базальтовой ватой (по сорбционным данным) и плитам на ее основе (по десорбционным данным)

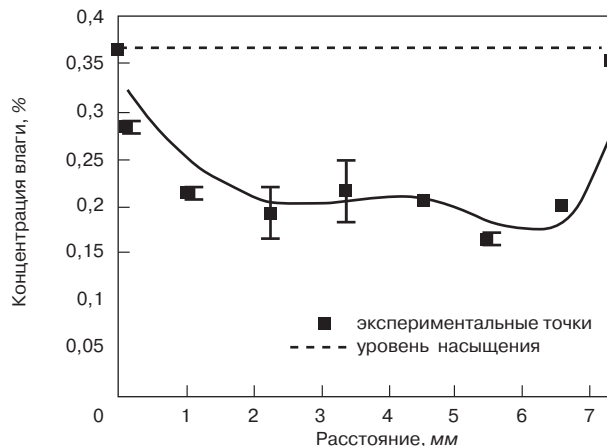


Рис. 4. Профиль распределения воды во влагонасыщенном состоянии в той же среде в условиях всесторонней диффузии (базальтопластик на основе связующего ТС, более 800 сут выдержки в условиях всестороннего поглощения).

(выходы дислокаций, точечные дефекты, комплексы с нескомпенсированным зарядом, включения и др.), что объясняет фактическое отсутствие десорбции влаги.

Типичные кинетические кривые сорбции влаги базальтовыми плитами при 80% относительной влажности и последующей десорбции из влагонасыщенного состояния представлены на рис. 2. На кривых выявляются ряд особенностей. При сорбции общее количество влаги резко возрастает вплоть до значений влагосодержания, превышающих 4,5 мас. %; далее с течением времени происходит постепенная потеря массы. На стадии десорбции первоначально происходит резкое изменение массы, затем процесс идет более медленно.

Экспериментальные изотермы сорбции влаги базальтовой ватой и плитами представлены на рис. 3. Сравнение величин относительного влагопоглощения базальтовой ватой и плитами свидетельствует, что основное количество влаги в плитах сорбируется именно связующим, вклад в поглощение влаги непосредственно базальтовой ватой невелик и не является определяющим. К сожалению, небольшое количество экспериментальных точек не позволяет точно классифицировать изотермы сорбции. По-видимому, изотерму сорбции влаги плитами можно отнести к вогнутому к оси относительной влажности типу, который отвечает слабому взаимодействию влаги со связующим [2].

Как видно из рис. 2, величина максимальной предельной потери массы при десорбции практически совпадает с конечным значением влагосодержания на стадии сорбции, что может быть объяснено только тем, что при влаго-

Материал	Плотность под удельной нагрузкой (98±1,5) Па, кг/м³		Плотность, кг/м³		Теплопроводность при (298±5) К, Вт/(м·К)	
	Исходная	После цикла	Исходная	После цикла	Исходная	После цикла
Вата	40,7	40,6	–	–	0,041	0,042
Плиты	–	–	144,5	142,2	0,039	0,04

поглощении происходит выход воды, связанный скорее всего со структурным переходом связующего из неравновесного в равновесное состояние. Из представленного примера видно, что влагосодержание плит, измеренное по началу потери массы, не всегда соответствует истинному при длительной эксплуатации материала при той же влажности. Первоначальная резкая потеря массы на кинетических кривых десорбции объясняется развитой пористой структурой плит, в результате чего влага десорбируется с поверхности глобул связующего далеко в глубине материала и лишь затем диффундирует из внутренней части, что проявляется на кривой более пологой стадией. Очевидно, что влагопоглощение имеет недиффузионный характер и определяется потоком пара в тонких порах. Для определения точных количественных оценок параметров, необходимых для прогнозирования долгосрочных влагораспределений, необходимо дальнейшее количественное исследование пористой структуры материала. Вследствие сильно развитой пористой структуры материала попытка исследования диффузионного поведения методом послойного определения содержания влаги на влагомере 903 не привела к удовлетворительным результатам.

Выявленные и подтвержденные в настоящем исследовании два основных процесса, протекающие при сорбции влаги базальтоволокнистыми материалами, – вымывание и выщелачивание части веществ из минеральной фазы и образование гидратной оболочки за счет сорбции части молекул воды помогают объяснить происхождение необычной формы профиля, экспериментально обнаруженного в [3] при изучении диффузионного поведения конструкционных материалов (базальтопластиков). Две основные особенности такого профиля – резкое падение концентрации влаги в поверхностных слоях и несоответствие экспериментально определенного интегрального количества поглощенной влаги (рис. 4), предельному уровню насыщения объясняются соответственно образованием кромоного слоя с диффузионными характеристиками, отличными от внутренней части материала, и формированием гидратной оболочки на базальте.

В таблице представлены некоторые характеристики базальтоволокнистых материалов в исходном состоянии и после цикла сорбция–десорбция (сорбция при 90% влажности). Из приведенных данных следует, что протекающие при влагопоглощении процессы (вымывание части минерального вещества, образование гидратной оболочки и переход структуры связующего базальтовых плит в равновесное состояние) достаточно слабо отражаются на таких важнейших параметрах, как плотность и теплопроводность.

Список литературы

1. Татаринцева О.С., Углова Т.К., Игонин Г.С., Игонина Т.Н., Бычин Н.В. Определение сроков эксплуатации базальтоволокнистых теплоизоляционных материалов // Строит. материалы. 2004. № 11. С. 14–15.
2. Рейтлингер С.А. Проницаемость полимерных материалов. М.: Химия, 1974. 272 с.
3. Игонин Н.Г., Татаринцева О.С. Исследование диффузии влаги в базальтопластике на эпоксидном связующем // Пластические массы. 2006. №11. С. 37–39.

УДК [691.3:691.74]: [519.85: 51 - 74]

А.М. ДАНИЛОВ, д-р техн. наук, советник РААСН, И.А. ГАРЬКИНА, О.В.КОРОЛЕВА, В.А. СМИРНОВ, кандидаты техн. наук (korolev_ev@rambler.ru), Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Математические методы при разработке и управлении качеством материалов специального назначения

1. Материалы как сложные системы. При предварительном анализе материал может рассматриваться как слабоструктурированная система [1] с множеством противоречивых целей и критериев. Такая система плохо поддается описанию и трудно формализуема. При исследовании используют когнитивное моделирование [2–5]: предполагают использование когнитивных возможностей (восприятие, представление, познание, понимание, объяснение) субъекта управления для решения управленческих задач.

Основой модели является *когнитивная карта*, представленная как ориентированный граф. Она позволяет в результате междисциплинарных исследований формализовать взаимодействие существующих в системе основных связей, определяющих ее функционирование. Используют неполную, нечеткую и даже противоречивую информацию. Факторы представляют вершинами ориентированного графа; дуги – *каузальные* (причинные) связи между факторами (положительному влиянию приписывается знак «+», отрицательному – знак «-»). Степень влияния определяют весами и указывают на дугах.

Использование традиционных методов поиска оптимального или удовлетворительного решения для слабоструктурированных систем наталкивается на трудности, связанные с выявлением реальных проблем и причин их появления, что сложнее, чем выбор между альтернативными решениями. Поэтому когнитивное моделирование, несмотря на его предварительный характер, является важной задачей наряду с этапом формализации системы. Однако в силу неизбежного и существенного участия человека при формализации первичных представлений не гарантируется достоверность полученных решений. Один из факторов риска – неадекватное применение формализованной модели к конкретной проблемной ситуации как следствие недопонимания математического смысла конструкций специалистами проблемной области.

Построение с использованием когнитивной карты иерархической структуры критериев качества, а на ее основе иерархической структуры собственно системы уже позволяет рассматривать систему как структурированную.

Необходимость привлечения при построении когнитивной карты специалистов, компетентных в различных *узкопредметных* областях знаний, для формализации первичных представлений о слабоструктурированной системе требует использования методов концептуальной структуризации, критериев и частных технологий формирования и согласования коллективных понятий. Для этого использовали рассматриваемые ниже методы ранговой корреляции и основанные на них модифицированные методы экспертных оценок [6].

Когнитивное моделирование авторами использовано при синтезе радиационно-защитного композиционного материала как сложной системы [7–9].

2. Качественная оценка свойств материалов. Она производится для определения связи между свойствами (качественными признаками) $y = x_0, x_1, x_2, \dots, x_p$ выборки образцов $O^{(i)}$, $i = 1, n$ материала на основе относительной оценки лучше–хуже по каждому из $p+1$ свойств без указания численных значений. По результатам измерения порядковых переменных каждому из обследуемых n объектов приписывают некоторую условную числовую метку, определяющую место объекта среди всех анализируемых объектов. Упорядочение производят по убыванию степени проявления в них k -го, $k = 0, p$ изучаемого свойства. Число $x_k^{(i)}$, определяющее место объекта $O^{(i)}$ по k -му признаку, является *рангом i -го объекта по k -му признаку*.

Такую качественную оценку свойств материалов с использованием разработанных в [10, 11] методов *ранговой корреляции* осуществляли при исследовании деформативных свойств эпоксидных композитов (см. таблицу); учитывали 14 показателей (свойств). В клетках в правом верхнем углу жирным шрифтом указаны соответствующие ранги (если одновременно несколько объектов неразличимы по степени проявления в них свойства x_k , то каждому из объектов этой группы приписывается *объединенный, или связанный ранг* – среднее значение рангов). В частности, по ранговому коэффициенту корреляции Спирмена $\tau_{R_{сж}, T}^{(s)}$ определяли связь между пределом прочности при сжатии $R_{сж}$ и твердостью T ; он оказался равным $\approx 0,988$. Это свидетельствует о наличии существенной связи между пределом прочности при сжатии и твердостью $R_{сж} = 20T - 2,3$ и освобождает от необходимости определения одного из этих показателей по экспериментальным данным.

Методы ранговой корреляции использовали для решения следующих основных задач статистического анализа связей между ранжировками.

1. Анализ структуры совокупности упорядочений $X_k = (x_k^{(1)}, x_k^{(2)}, \dots, x_k^{(n)})$ $k = 0, p$. Известно, если точки x_k разбросаны равномерно по всей области их возможных значений, то связь между ранжировками отсутствует. При наличии ядра связь имеется. Наличие нескольких ядер свидетельствует о нескольких подмножествах переменных с высокой степенью взаимосвязей между входящими в ядра переменными.

2. Анализ интегральной согласованности переменных и их условная ранжировка по степени тесноты связи каждой из них с остальными переменными. Его производят по значениям коэффициента *конкордации* (совокупной согласованности) для различных комбинаций переменных. Так, вычисленный по данным таблицы коэффициент конкордации W , определяющий согласованность свойств 1–14, оказался равным 0,006. Проверка статистической значимости полученного выборочного значения коэффициента конкордации по указанной в [12] методике показала отсутствие согласованности между всей совокупностью показателей. При этом существует парная согласованность между отдельными из них, например между прочностью при сжатии и твердостью.

Номер к признаку	Показатели (признаки, свойства)	Составы (объекты)									
		O ⁽¹⁾	O ⁽²⁾	O ⁽³⁾	O ⁽⁴⁾	O ⁽⁵⁾	O ⁽⁶⁾	O ⁽⁷⁾	O ⁽⁸⁾	O ⁽⁹⁾	O ⁽¹⁰⁾
0	Предел прочности при сжатии R _{сж} , МПа	x ₀ ⁽¹⁾ =2 117	x ₀ ⁽²⁾ =4 100	1 120	10 57,3	5 98,6	3 102	7 79	9 63,7	8 73,9	6 86,7
1	Твердость T, МПа	x ₁ ⁽¹⁾ =2 6,01	x ₁ ⁽²⁾ =5 5,05	1 6,15	10 2,94	4 5,06	3 5,23	7 4,05	9 3,4	8 3,79	6 4,44
2	Модуль деформации материала E _{д15} , МПа	9 3,62·10 ⁴	6 4,71·10 ⁴	10 3,51·10 ⁴	1 10,6·10 ⁴	7 4,71·10 ⁴	8 4,48·10 ⁴	4 6,57·10 ⁴	2 8,52·10 ⁴	3 7,25·10 ⁴	5 5,71·10 ⁴
3	Условно-мгновенный модуль упругости E ₀ , МПа	9 6,07·10 ⁴	7 6,85·10 ⁴	8 6,7·10 ⁴	10 4,48·10 ⁴	6 7,82·10 ⁴	5 8,27·10 ⁴	3 10,1·10 ⁴	1 13,9·10 ⁴	2 13,7·10 ⁴	4 9,27·10 ⁴
4	Равновесный модуль упругости E _{ув} , МПа	9 4,41·10 ⁴	7 5,53·10 ⁴	6 6,28·10 ⁴	10 3,94·10 ⁴	8 5,52·10 ⁴	4 8,22·10 ⁴	3 9,86·10 ⁴	2 10,3·10 ⁴	1 11,1·10 ⁴	5 7,94·10 ⁴
5	Модуль высокоэластичности E _{вэ} , МПа	3 18,1·10 ⁴	5 16,7·10 ⁴	6 16,3·10 ⁴	10 12,2·10 ⁴	7 15,9·10 ⁴	8 14,2·10 ⁴	2 19,4·10 ⁴	4 17,5·10 ⁴	1 19,5·10 ⁴	9 13,9·10 ⁴
6	Доля упругой составляющей ε _у	10 0,398	4 0,587	2 0,647	1 0,733	3 0,602	6 0,541	8 0,499	7 0,531	5 0,582	9 0,408
7	Доля высокоэластической составляющей ε _{вэ}	10 0,125	7 0,164	5 0,173	3 0,187	2 0,192	8 0,153	6 0,166	9 0,14	4 0,173	1 0,204
8	Доля пластической составляющей ε _{пл}	1 0,299	2 0,199	4 0,102	6 0,101	8 0,093	5 0,103	3 0,112	9 0,084	7 0,095	10 0,018
9	Коэффициент пластической вязкости у _{пл} , МПа·с	1 2,72·10 ⁵	3 1,56·10 ⁵	9 1,12·10 ⁵	2 2,26·10 ⁵	8 1,23·10 ⁵	5 1,37·10 ⁵	7 1,26·10 ⁵	6 1,34·10 ⁵	4 1,44·10 ⁵	10 1,11·10 ⁵
10	Коэффициент высокоэластической вязкости у _{вэ} , МПа·с	9 2,88·10 ⁷	9 5,14·10 ⁷	9 5,65·10 ⁷	9 2,18·10 ⁷	9 5,06·10 ⁷	9 5,54·10 ⁷	9 6,06·10 ⁷	9 6,06·10 ⁷	9 5,48·10 ⁷	9 6,48·10 ⁷
11	Коэффициент пластичности k _{пл}	1 1,4	3 0,9	5 0,6	4 0,7	9 0,43	6 0,52	7 0,51	8 0,47	2 0,93	10 0,08
12	Коэффициент структуры k _{стр}	10 5,4	4 14,5	5,5 14,2	9 7,8	8 13,2	7 13,8	5,5 14,2	3 14,8	x ₁₂ ⁽⁹⁾ =2 15	x ₁₂ ⁽¹⁰⁾ =1 16,1
13	Коэффициент энергоёмкости k _{эн}	10 0,5	3 0,65	2 0,7	6,5 0,6	6,5 0,6	9 0,57	4 0,62	5 0,61	x ₁₃ ⁽⁹⁾ =8 0,59	x ₁₃ ⁽¹⁰⁾ =1 0,85

3. Восстановление наилучшей ранжировки X₀ = (x₀⁽¹⁾, x₀⁽²⁾, ..., x₀⁽ⁿ⁾) связанной с результирующей переменной y=x₀, по ранжировкам X₁, X₂, ..., X_p, соответствующим объясняющим переменным x₁, x₂, ..., x_p (задача регрессии на порядковых (ординальных) переменных) [12]. В качестве результирующей переменной рассматривали предел прочности при сжатии (см. таблицу).

3. Формализация кинетических процессов. Кинетические процессы как временные ряды. Определение устойчивости материала к длительному радиационному воздействию, установление остаточной прочности строительных материалов по годам эксплуатации, параметров разрушения декоративного покрытия и др. легко сводится к построению авторегрессионной модели кинетического процесса со скользящим средним на основе теории временных рядов [13,14]:

$$x_t = a_1 x_{t-1} + \dots + a_p x_{t-p} + b_0 e_t + b_1 e_{t-1} + \dots + b_q e_{t-q} \quad (1)$$

Из (1) после умножения на x_{t-k} и последующего усреднения получим:

$$r_k = \sum_{i=1}^p a_i r_{k-i}, \quad k \geq q + 1, \quad (2)$$

где r_k = E(x_{t-k}, x_t); k = 0, 1, Таким образом, имеется только q различных коэффициентов автокорреляции (r₁, ..., r_q), значения которых непосредственно зависят от параметров скользящего среднего. Последнее разностное уравнение представляется в виде так называемого модифицированного уравнения Юла–Уолкера [13]:

$$r_{q+k} = \sum_{j=1}^p a_j r_{q+k-j}, \quad k = \overline{1, p} \quad (3)$$

Оценки параметров авторегрессии \hat{a}_j легко определить из (3) по вычисленным выборочным корреляционным функциям \hat{r}_j (оценки не являются эффективными).

Чтобы оценить параметры скользящего среднего b_j, сведем авторегрессионную модель (1) со скользящим средним к модели со скользящим средним вида:

$$x_t = b_0 e_t + \sum_{j=1}^q b_j e_{t-j} \quad (4)$$

Для этого достаточно ввести переменную:

$$\tilde{x}_t = x_t - \sum_{i=1}^p \hat{a}_i x_{t-i}$$

Здесь при определении \hat{a}_j из модифицированного уравнения Юла–Уолкера вместо теоретической корреляционной функции r_k подставлена эмпирическая корреляционная функция \hat{r}_k .

Для автокорреляционной функции \tilde{r}_k для \tilde{x}_t справедливо:

$$\tilde{r}_k = \begin{cases} (1 + b_1^2 + \dots + b_q^2) \sigma_e^2; & k = 0, \\ (b_0 + b_1 b_{k+1} + \dots + b_{q-k} b_q) \sigma_e^2; & k = \overline{1, q}, \\ 0; & k > q; \end{cases} \quad (5)$$

$$E(\tilde{x}_k, \tilde{x}_{t-k}) = \begin{cases} 0, & k \neq 0, \\ \sigma_e^2, & k = 0. \end{cases}$$

Оценки параметров скользящего среднего и дисперсии оценок определяют из (5). В соответствии с предыдущим справедливо:

$$\tilde{r}_k = \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^p \hat{a}_i \hat{a}_j E(x_{t-i} x_{t-j-k}) = \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^p \hat{a}_i \hat{a}_j r_{k+j-i}, \hat{a}_0 = 1.$$

Приведем ряд частных случаев авторегрессионных процессов порядка k с постоянными коэффициентами вида $x_t = a_p x_{t-1} + \dots + a_1 x_{t-p} + \varepsilon_t$.

Последнее выражение можно рассматривать как регрессию x_t на $x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-p}$ со случайным остатком ε_t .

В простейшем случае получим *марковский процесс*:

$$x_t = a_1 x_{t-1} + \varepsilon_t.$$

Обобщением является авторегрессионный процесс Юла:

$$x_t = a_1 x_{t-1} + a_2 x_{t-2} + \varepsilon_t.$$

Предполагается независимость ε_t от x_{t-1} и x_{t-2} . Оценку коэффициента a_{h+1} для модели порядка $h+1$ определяли по оценкам $a_i(h)$ общего линейного авторегрессионного процесса порядка h с использованием рекуррентной формулы (алгоритм Левинсона–Дурбина).

Правильность выбранного порядка модели определяли из условия:

$$\alpha_m(h) = \begin{cases} \neq 0, & \text{если } \leq h; \\ = 0, & \text{если } > h. \end{cases}$$

Оценку порядка p осуществляли из установленного предельного порядка модели, равного четырем. Определение коэффициентов модели осуществляли по процедурам, приведенным в [13–15].

Кинетические процессы как решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Формализацию процессов формирования физико-механических характеристик материала осуществляли на основе решения сначала общей, а затем частной задач идентификации в классе обыкновенных дифференциальных уравнений. Оказалось, что для радиационно-защитных композитов формирование основных физико-механических характеристик материалов с достаточной точностью описывается в классе дифференциальных уравнений в отклонениях от равновесного состояния $x = x_m$ второго порядка:

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + \omega_0^2 z = 0, \quad (n > 0, \quad z = x - x_m). \quad (6)$$

Параметрическую идентификацию [16] осуществляли по виду кинетических процессов и их характерных точек (начальные условия, установившиеся значения, точки перегиба, экстремума). Применение такого подхода во многом определялось возможностью формализации множества частных критериев для управления качеством материала на основе решения задач многокритериальной оптимизации.

4. Управление качеством материалов. Ниже приведен алгоритм синтеза материалов со специальными свойствами на основе системного подхода и математического моделирования кинетики формирования структуры и основных физико-механических характеристик (см. рисунок). Оптимизацию рецептурно-технологических параметров при выбранной иерархии критериев осуществляли итерацией. Возникает задача определения требуемого числа частных критериев. Оценка полноты этого множества носит субъективный характер; частные критерии часто являются противоречивыми и зависимыми. Очевидна целесообразность снижения размерности критериального пространства при одновременном определении совокупности независимых частных критериев.

Минимизация размерности критериального пространства на основе экспериментальных данных. Принципиально задача может быть решена методами регрессионного анализа, однако возможные подходы ими не исчерпываются. Так, эффективным оказался предложенный

К. Пирсоном метод главных компонент (метод собственного ортогонального разложения или дискретное КЛ-преобразование). Он состоит в отыскании многомерного эллипсоида рассеяния эмпирических данных в факторном пространстве (определяется расположением и длинами полусей – главными направлениями и стандартными отклонениями в пространстве главных направлений).

Пусть $\{x_{iu}\}$ – выборка значений первичных признаков ($i = 1, k, u = 1, N, k$ – число признаков, N – число измерений). Вычислительный аппарат метода включает последовательное выполнение следующих процедур:

Центрирование признаков (частных критериев):

$$\xi_{ui} = x_{ui} - \bar{x}_i,$$

где $\xi_{ui} = x_{ui} - \bar{x}_i$ – выборочное среднее i -го признака.

Определение матрицы ковариаций:

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

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

Определение собственных значений λ_i и собственных векторов матрицы ковариаций.

Сортировка собственных векторов в порядке убывания собственных значений. Единичные собственные векторы, определяющие главные направления, составляют строки матрицы L k -го порядка. Линейный однородный оператор с матрицей L осуществляет преобразование исходных центрированных данных в некоординатные с убывающими дисперсиями [17, 18].

Важно отметить, что в отличие от метода наименьших квадратов в методе главных компонент предположение о нормальном распределении эмпирической информации не используется.

Понижение размерности (разделение исходных данных на содержательную часть и шумы) в рамках метода главных компонент достигается отбрасыванием направлений, соответствующих малым собственным значениям. По-видимому, общих правил выбора числа значимых главных компонент не существует. Для оценки необходимого числа главных компонент использовали эвристический вероятностный метод – правило сломанной трости. Он состоит в сравнении упорядоченных по убыванию k собственных значений матрицы ковариаций с длинами l_j обломков трости единичной длины, сломанной в $(k-1)$ -й точке. Координаты изломов распределены равномерно на отрезке $[0; 1]$.

Очередное i -е главное направление считается значимым, если:

$$\frac{\lambda_j}{trC} > l_j, \quad j = \overline{1, i},$$

где trC – след матрицы ковариаций.

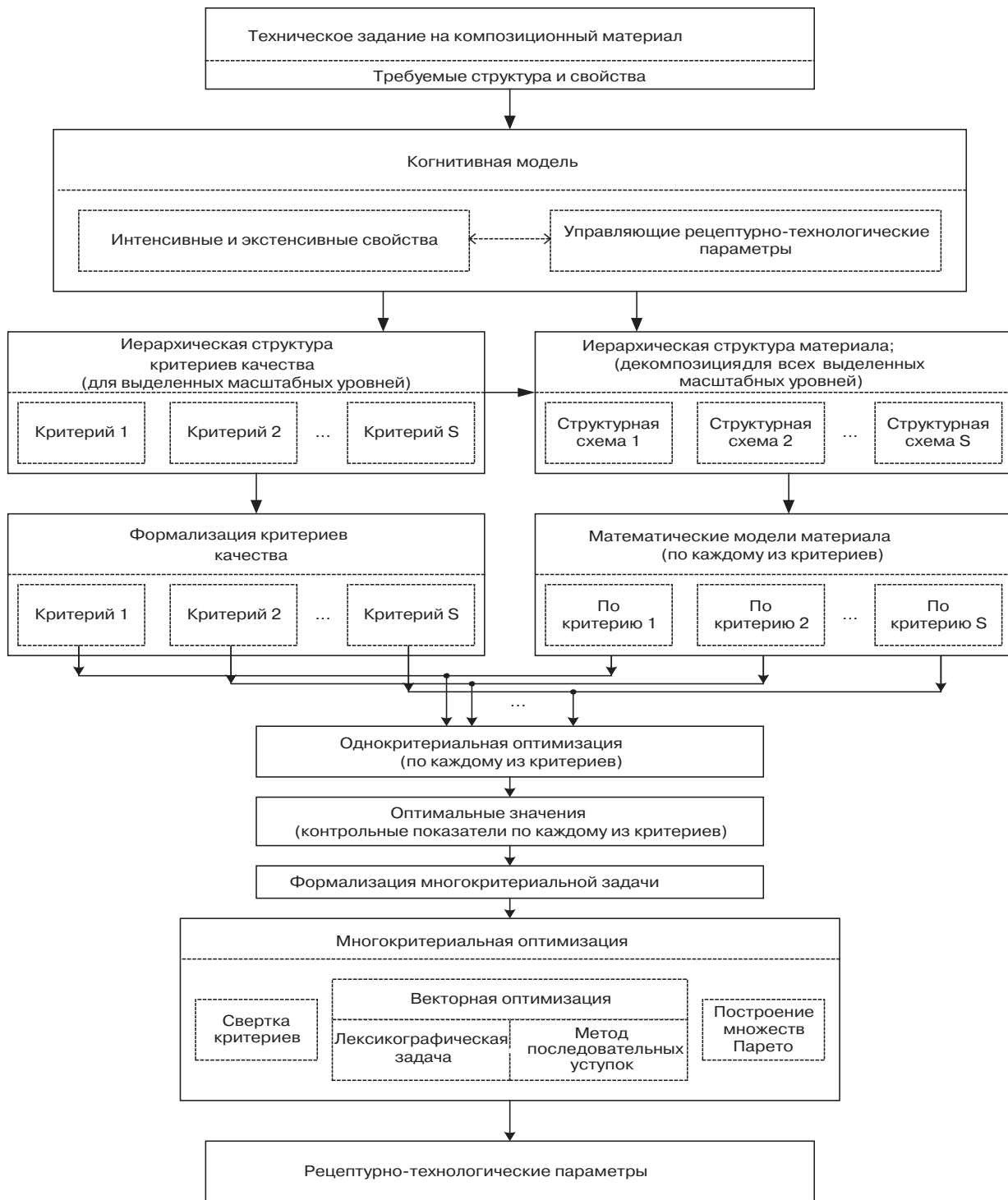
Метод главных компонент использован для оценки качества композиционных материалов со специальными свойствами. В числе приоритетных критериев выделяли прочность, плотность и пористость материала. Использовали полученные методами математического планирования эксперимента зависимости пористости $q_1(x_1, x_2)$, %, прочности при сжатии $q_2(x_1, x_2)$, МПа, и плотности $q_3(x_1, x_2)$, кг/м³, от кодированных объемных долей наполнителя (свинцовая дробь с диаметром 4–5 мм) $x_1 \in [0, 5; 0, 6]$ и наполнителя (барит, $S_{30} = 250 \text{ м}^2/\text{кг}$) $x_2 \in [0, 35; 0, 4]$:

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

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

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

Определенная по экспериментальным значениям перечисленных показателей ξ_{ui} матрица ковариаций имеет вид:



Алгоритм синтеза композиционного материала

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

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

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 0,226, \quad \mathbf{v}_1 = (0,221; 0,975; 0), \\ \lambda_2 &= 0,077, \quad \mathbf{v}_2 = (0,973; -0,221; 0,063), \\ \lambda_3 &= 21,6, \quad \mathbf{v}_3 = (-0,063; 0; 0,998). \end{aligned}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \Gamma_1 &= -0,063q_1 + 0,990q_3, \\ \Gamma_2 &= 0,221q_1 - 0,975q_2, \end{aligned}$$

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

В силу того что $\lambda_3 \gg \lambda_1$ и $\lambda_3 \gg \lambda_2$, значимая главная компонента единственна и соответствует главному направлению v_3 ; вектор первого главного направления образует малый угол с осью третьей исходной переменной. Доминирующим является третий показатель (средняя плотность).

Эффективность метода главных компонент подтвердилась и при решении задач управления качеством лакокрасочных покрытий [19].

Однокритериальная оптимизация. Однокритериальную оптимизацию структуры и свойств материала по параметрам каждого из основных кинетических процессов формирования его физико-механических характеристик (радиационной стойкости, набора прочности, тепловыделения, усадки и др.) осуществляли на основе специально разработанного функционала качества вида [20]:

$$\Phi(S) = f\lambda_m + a\frac{1}{\lambda_m} + br + c\frac{1}{r}, \quad \lambda_m = \min_i \{\lambda_i\}, \quad r = \max_i \left\{ \frac{\lambda_i}{\lambda_m} \right\},$$

где $(-\lambda_i)$ – корни характеристического полинома для соответствующего кинетического процесса, $\lambda_i > 0$, $i = 1, k$; f, a, b, c – веса.

Качество материала тем выше, чем меньше $\Phi(S)$. При решении задачи использовали области равных оценок качества материала $d_{k-1} \leq \Phi(S) < d_k$, где k – класс системы; $k = 1, N$; N – балльность шкалы.

Границы областей равных оценок определяли в виде $\Phi(S) = d = const$. Идентификацию областей равных оценок производили выбором числовых значений d для границ каждого класса на основе сравнения расчетных границ с экспериментальными.

Связь характеристик материала с параметрами модели определили по экспериментальным данным. При выборе характеристик ингредиентов и материала в целом использовали градиентные методы.

Многокритериальная оптимизация. Наибольшая трудность синтеза композиционных материалов связана со сложной иерархической структурой их критериев качества, которая приводит к необходимости решения задачи многокритериальной оптимизации для управления характеристиками материала как сложной системы с использованием системного (целостного) подхода.

Важен вопрос, как сформулировать единую цель, если критериев много:

$$q_1(x) \rightarrow \max, q_2(x) \rightarrow \max, \dots, q_m(x) \rightarrow \max,$$

а ресурс для их достижения находится только в одних руках. Здесь математика не может дать однозначного ответа на этот вопрос, но может помочь принять решение и сделать правильный выбор. Это есть проблема неопределенности целей. Добиться оптимизации всех критериев одновременно невозможно в принципе. Реально возможно достичь только некоторого компромисса (сочетания требуемых качеств). В этом и заключается основная проблема многокритериальности.

В случае выделенного единственного (основного) критерия качества оптимизация структуры и свойств материала в общем случае сводится к решению задачи нелинейного программирования. Преодоление неопределенности цели возможно на основе скаляризации введением метрики в пространстве целевых функций, построении глобальной целевой функции с использованием контрольных показателей, линейной свертки критериев [21].

Многокритериальную оптимизацию осуществляли в соответствии с приведенным выше алгоритмом.

При строго упорядоченных по важности критериях q_1, q_2, \dots, q_m синтез сводился к лексикографической задаче оптимизации. Однако в силу их противоречивости прибегли к методу последовательных уступок [22]. При векторной оптимизации использовали методы скаляризации. В качестве контрольных показателей \hat{q}_j принимали результаты однокритериальных оптимизаций, а именно осуществляли минимизацию обобщенного критерия:

$$h(x) = \sqrt{\sum_j (q_j(x) - \hat{q}_j)^2}.$$

На основе полученных методами математического планирования эксперимента зависимостей частных критериев от объемных долей $x_1 \in [0, 5; 0, 6]$, $x_2 \in [0, 35; 0, 4]$ заполнителя и наполнителя был осуществлен многокритериальный синтез радиационно-защитных композитов состава: техническая сера; наполнитель – барит, $S_{y\partial} = 250$ м²/кг; модифицирующая добавка – смесь асбестовых волокон, парафина и сажи в соотношении 12,5:1:2,5; наполнитель – свинцовая дробь, диаметр 4–5 мм. Методом главных компонент были выделены приоритетные критерии $q_1(x_1, x_2)$, % $x_{1,2}$ – пористость, $q_2(x_1, x_2)$, МПа – прочность при сжатии, $q_3(x_1, x_2)$, кг/м³ – плотность [18]. Там же рассматривали возможность использования полученных на основе последовательного решения соответствующих задач нелинейного программирования (методом штрафных функций Эрроу–Гурвица) множеств Парето для оптимизации структуры и свойств эпоксидных композитов повышенной плотности для защиты от радиации. Использовали экспериментально-статистические модели средней плотности ρ , кг/м³, и предела прочности $R_{сжс}$, МПа, при сжатии от концентрации x_1 пластификатора и степени наполнения x_2 . Оптимальные значения $\rho = 3950$ кг/м³, $R_{сжс} = 145$ МПа достигали при $x_1 = 2,5$; $x_2 = 10,2$.

Таким образом, на основе опыта управления качеством определен подход и методологические принципы создания материалов специального назначения с использованием методов системного анализа и на основе моделирования кинетических процессов.

Эффективность и перспективность использования предлагаемых математических методов при разработке и управлении качеством материалов подтверждены результатами многокритериального синтеза радиационно-защитных материалов, не имеющих мировых аналогов и конкурентоспособных на мировом рынке.

Ключевые слова: математические методы, материалы специального назначения, управление качеством.

Список литературы

1. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. М.: СИНТЕГ, 2000. 528 с.
2. Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Строительные материалы как системы // Строит. материалы. 2006. № 7. С. 55–58.
3. Кузнецов О.П., Кулинич, А.А., Марковский А.В. Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт: В кн.: Человеческий фактор в управлении М.: КомКнига, 2006. С. 313–344.
4. Абрамова Н.А., Коврига С.В. Некоторые критерии достоверности моделей на основе когнитивных карт // Проблемы управления. 2008. № 6. С. 23–33.
5. Прангишвили И.В., Абрамова Н.А., Спиридонов В.Ф. и др. Поиск подходов к решению проблем. М.: СИНТЕГ, 1999. 192 с.
6. Дорофеюк Ю.А. Структурно-классификационные методы анализа и прогнозирования в крупномас-

штабных системах управления // Проблемы управления. 2008. № 4. С.78–84.

7. *Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В.* Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем // Известия вузов. Строительство. 2009. № 3–4. С. 30–37.
8. *Королев Е.В., Соколова Ю.А., Королева О.В.* Радиационно-защитные серые бетоны каркасной структуры. М.: Палеотип, 2009. 192 с.
9. *Баженов Ю.М., Королев Е.В., Евстифеева И.Ю., Васильева О.Г.* Наномодифицированные коррозионно-стойкие серые строительные материалы М.: Изд-во РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2008. 167 с.
10. *Кендалл М. Дж.* Ранговые корреляции. М.: Статистика, 1975. 212 с.
11. *Кендалл М., Стьюарт А.* Статистические выводы и связи. М.: Наука, 1973. 899 с.
12. *Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика. Исследование зависимостей: Справочное издание. М.: Финансы и статистика. 1985. 480 с.
13. *Бокс Дж., Дженкинс Г.* Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М., 1974. 405 с.
14. *Отнес Р., Эноксон Л.* Прикладной анализ временных рядов. М., 1982. 383 с.
15. Современные методы идентификации систем / Под ред. П. Эйкхоффа. М.: Мир, 1983. 400 с.
16. *Гарькина И.А.* Формализация оценки структуры и свойств композиционных материалов специального назначения // Строит. материалы. 2007. № 1 С. 69–71.
17. *Айвазян С. А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
18. *Эсбенсен К.* Анализ многомерных данных. Избранные главы. Казань: Изд-во КГАСУ, 2008. 158 с.
19. *Данилов А.М., Логанина В.И., Смирнов В.А.* Анализ показателей лакокрасочных покрытий методом главных компонент // Известия КГАСУ. 2009. № 1 (11). С. 243–246.
20. *Гарькина И.А., Данилов А.М.* Управление качеством материалов со специальными свойствами // Проблемы управления. 2008. № 6. С. 67–73.
21. *Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В., Смирнов В.А.* Преодоление неопределенностей целей в задачах многокритериальной оптимизации на примере разработки сверхтяжелых бетонов для защиты от радиации // Строит. материалы. 2006. № 9 / Наука. № 8. С. 23–26.
22. *Подиновский В.В., Гаврилов В.М.* Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Сов. радио, 1975. 192 с.

**ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
журнала «Строительные материалы»®**



<http://ejournal.rifsm.ru/>

**XV Академические чтения РААСН
Международная научно-техническая конференция**

**ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
И МОДЕРНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

14-17 апреля 2010 г.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

В рамках конференции состоятся:

- выставка современного отечественного и зарубежного технологического, испытательного и исследовательского оборудования для строительной индустрии;
- выступления докторантов;
- конкурс молодых ученых;
- мастер-классы известных ученых для аспирантов, студентов и молодых ученых.

Основные научные направления:

- Минеральные вяжущие вещества
- Бетоны
- Строительные материалы на основе и с применением полимеров
- Керамические материалы
- Наноматериалы и нанотехнологии в строительстве
- Долговечность и оценка срока службы строительных материалов
- Экология в производстве строительных материалов и изделий
- Использование техногенных отходов в производстве строительных материалов, рециклинг
- Ресурсо- и энергосбережение в производстве строительных материалов и изделий
- Минеральное строительное сырье
- Компьютерное моделирование в строительном материаловедении
- Экономика производства строительных материалов
- Методы и приборы для исследований и испытаний строительных материалов
- Модернизация стройиндустрии
- Процессы, аппараты и технологическое оборудование производства строительных материалов

С условиями участия можно ознакомиться на сайте конференции - www.RAASN15.kgasu.ru
 Оргкомитет: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1, КазГАСУ, УНИД, к.1-78, 1-80
 Контактные тел.: (843) 510-46-37, 510-46-36, 238-37-91, 510-46-04, факс: (843) 236-26-88
 e-mail: nauka-info@kgasu.ru, nauka.kgasu@gmail.com

Информационная поддержка: **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ** **ТЕХНОЛОГИИ** **СТРОИТЕЛЬСТВА** **ИЗВЕСТИЯ КазГАСУ** **СТРОИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРТ**

УДК 666.9.017

Д.И. ШТАКЕЛЬБЕРГ, д-р техн. наук, Б.И. ВИЛЬГЕ, С.В. БОЙКО, Ф.А. ГОЛЬДМАН,
кандидаты техн. наук, Компания Concretex Ltd (Израиль)

Физическая сущность линейных корреляций прочность – электрическое сопротивление при контроле упрочнения цементно-бетонных композиций

Введение. Неразрушающий контроль является неотъемлемой частью технологии производства товарного бетона и сборного железобетона. Современные стандарты [1, 2 и др.] устанавливают обязательное использование неразрушающих методов для определения прочности бетона по предварительно установленным градуировочным зависимостям [2].

Однако во многих случаях применение таких градуировочных зависимостей не позволяет оперативно выявить причины наблюдаемых колебаний прочности. Это обусловлено прежде всего тем, что сами по себе корреляционные уравнения указывают лишь на возможность функциональной, статистической, но не физической связи между прочностью твердеющих цементных паст, строительных растворов и бетонов различных видов и измеряемыми параметрами: скоростью ультразвуковых волн, величина упругого отскока, электропроводность/электросопротивление и др.

Кроме того, необходимо учитывать принципиальные различия между контролем нормируемой или фактической прочности по результатам стандартных испытаний образцов с фиксированными структурно-механическими свойствами и более сложным случаем мониторинга упрочнения цементно-бетонных композиций при их твердении, в том числе в условиях ТВО.

Именно поэтому целью данной работы является выявление физической природы корреляционных взаимосвязей прочность–электрическое сопротивление, получаемых при контроле упрочнения бетона с помощью технологии, разработанной в израильской компании Concretex Ltd.

Прочность и пористость. Существование линейных (или близких к линейным) корреляционных зависимостей между прочностью цементно-бетонных композиций S и их электропроводностью ρ (сопротивлением \mathfrak{R}) отмечено в работах [3–5 и др.].

Полученные результаты мониторинга упрочнения различных бетонов* (рис. 1, 2 и табл. 1), проводившегося как в лабораторных, так и в производственных условиях** с помощью измерительной системы Contest-8 [6], свидетельствуют о том, что линейность функции $S = f(\mathfrak{R})$ – закономерное явление [7, 8].

Предположительно основой этих корреляций является взаимосвязь пористость \rightarrow сопротивление \rightarrow прочность формирующейся структуры, однако физическое обоснование линейности функции $S = f(\mathfrak{R})$ до сих пор отсутствует.

Поэтому формальное использование корреляционных уравнений вида:

$$S = A \cdot \mathfrak{R} + B, \quad (1)$$

не позволяет объяснить характер сложного и зачастую противоречивого процесса упрочнения цементно-бетонных композиций. Для решения этой задачи необходимо выявить физическую природу линейной взаимосвязи между развивающейся макроскопической прочностью материала и изменением электрического сопротивления проводящей дисперсионной среды, структурированной в формирующейся системе пор и капилляров.

Очевидно, что физическая природа линейности определяется первым слагаемым уравнения (1), т. е. произведением $S^* = A \cdot \mathfrak{R}$. Наряду с этим существенным фактором, определяющим характер упрочнения, является и величина B .

В частности, постоянная B – это величина прочности, формально определяемая условием $\mathfrak{R} = 0$. Однако приближение к нулю величины электрического сопротивления жидкой проводящей фазы может быть достигнуто только в идеальной системе: в растворе чистого электролита, находящегося в специальных условиях, близких к условиям сверхпроводимости. Поэтому фактически корреляционная прямая $S = f(\mathfrak{R})$ не может быть экстраполирована на ось прочности.

В реальных цементно-бетонных композициях, в предельно концентрированных химически активных дисперсных системах начальная величина удельного электрического сопротивления \mathfrak{R}_{IN} всегда существенно не равна нулю. Подобные системы уже в начальном состоянии структуры уплотнения обладают некоторой прочностью S_{IN} , которую определяет постоянная $B(\mathfrak{R}_{IN} \neq 0)$.

Введение понятия структуры уплотнения, обладающей конкретными физико-механическими свойствами, имеет принципиальное значение. Реальные процессы структурообразования и упрочнения цементных паст, строительных растворов и бетонов могут развиваться исключительно из состояния структуры уплотнения. Только после этого приобретает смысл измерение любых свойств бетона, включая определение его прочности. Следовательно, фактическая (экспериментально определенная) величина прочности (1) всегда включает в себя начальную прочность структуры уплотнения S_{IN} :

$$S = S_{IN} + \Delta S, \quad (2)$$

*) Приведенные данные иллюстрируют весьма небольшую часть проведенных испытаний, подтвердивших линейный характер функции $S = f(\mathfrak{R})$.

**) Необходимо подчеркнуть, что в подавляющем большинстве опубликованных работ, посвященных измерению электропроводности или электросопротивления химически активных водно-силикатных дисперсных систем, изучали цементные пасты или растворы; практически отсутствуют результаты испытаний бетонных композиций; абсолютное большинство измерений выполнено в лабораторных условиях, т. е. измерительные системы неприменимы для работы на строительных объектах или в цехах предприятий строительной индустрии.

Место испытаний	Марка бетона	Цемент (кг/м³)		Вода (л/м³)	Щебень (кг/м³)		Песок (кг/м³)	Добавка	
		Тип	Кол-во		Фр. 14/19	Фр. 5/9		Название	%Ц
«Технион» (Хайфа)	В-20	СЕМ I 52.5N	223	196	803	402	730	Supermix-300	0–0,7
	В-40		348	198	811	406	629	Supermix-300	0–0,7
	В-60		492	197	807	404	492	Supermix-300	0–0,7
	В-30		279	200	796	397	679	Supermix-300	0–3
Завод товарного бетона «Люблино» (Москва)	В30		381	173	969		833	СП-180	0,6
	В25	400Д20 (Воскресенский)	410	148	1008	788			1,39
		500Д0 (Серебряковский)		144					
500Д0 (Вольский)		156							

где ΔS – величина упрочнения бетона в результате твердения.

Другая постоянная уравнения (1) A – это коэффициент пропорциональности, определяющий интенсивность упрочнения твердеющего материала при соответствующих изменениях его электрического сопротивления. В свою очередь, изменение электропроводящих свойств твердеющих цементно-бетонных композиций есть результат развития структурно-влажностного состояния, и прежде всего формирования пористости.

Известно, что соотношение прочность (S)–пористость (Π) для капиллярно-пористых тел определяется степенной зависимостью вида:

$$S = S_0(1 - \Pi)^n \quad (3)$$

как для цементно-бетонных [9–13], так и для керамических [14], в том числе и для металлокерамических [10, 15] материалов. Здесь S_0 – прочность материала при $\Pi=0$; n – показатель степени, который не должен быть постоянным [16].

Теоретическая прочность цементного камня (при нулевой пористости), по данным [9], составляет $S_0 \approx 1350$ МПа; эта величина представляется вполне логичной. Так, Д. Рой и Д. Гоуда [17] при пористости ~ 2% экспериментально достигли прочности 660 МПа. Однако, подставляя эти величины в формулу (3), получаем абсолютно нереальное значение показателя степени $n=35,4$.

Авторы [17 и др.] предложили другую зависимость для соотношения прочность–пористость:

$$S_{c0} = \frac{1}{k} \ln \frac{\Pi}{\Pi_0}, \quad (4)$$

где Π – общая пористость; Π_0 – пористость при нулевой прочности, близкая по величине к 0,6; k – константа, равная $2,6 \cdot 10^{-5}$ 1/МПа.

Следует отметить, что оценка величины прочности с помощью формул (3) и (4) возможна лишь для капиллярно-пористых тел с фиксированными структурно-механическими свойствами. Здесь величина Π – это общая пористость материала, т. е. чем больше пористость, тем ниже прочность и наоборот.

При этом необходимо понимать, что достижение условия $\Pi = 0$ даже для цементного камня весьма проблематично. Что же касается бетонов (любых!), то применение к ним понятия «нулевая пористость» вообще некорректно.

Поэтому изучение динамического процесса упрочнения цементно-бетонных композиций как результата развития структурно-влажностного состояния химической активной дисперсной системы требует принципиально другого подхода. При этом прежде всего необходимо четко представлять, о какой пористости идет речь.

На рис. 3 [11] представлены изменения общей пористости Π твердеющего цементного камня с $V/C = 0,7$, а также ее капиллярной $\Pi_{\text{кап}}$ и гелевой $\Pi_{\text{гел}}$ составляющих. Видно, что при твердении пористость Π уменьшается; соответственно в (3) величина $(1 - \Pi)$ стремится к максимуму, следовательно, прочность возрастает.

Очевидно, что использование только одного понятия «общая пористость» явно недостаточно для описания такого сложного процесса, как упрочнение цементно-бетонных композиций. Поэтому при анализе зависимостей для минеральных вяжущих и бетонов всегда необходимо помнить, что пористость – это результат

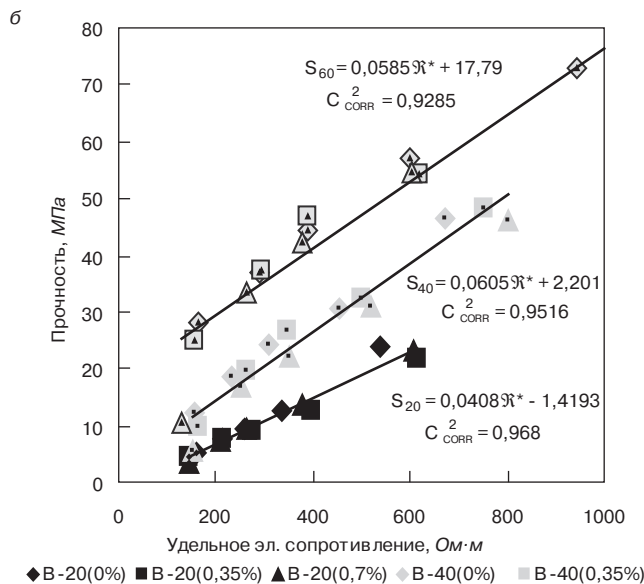
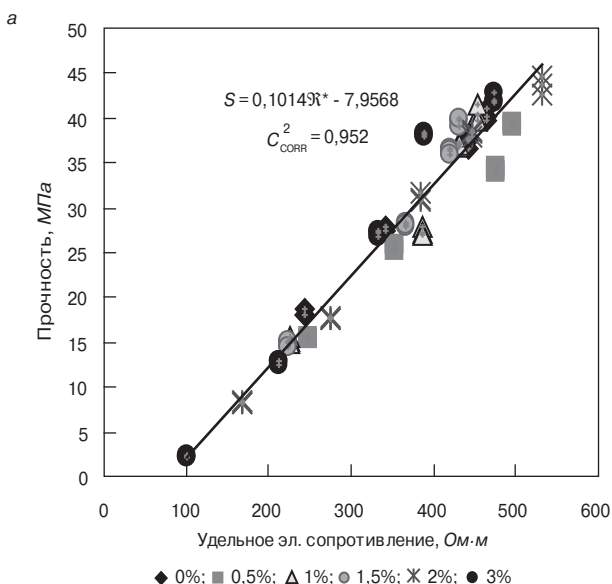


Рис. 1. Корреляции $S - R^*$ для бетонов с различными концентрациями добавки – замедлителя твердения. Результаты получены в лаборатории НИИ Строительства «Техниона» (Хайфа, Израиль)

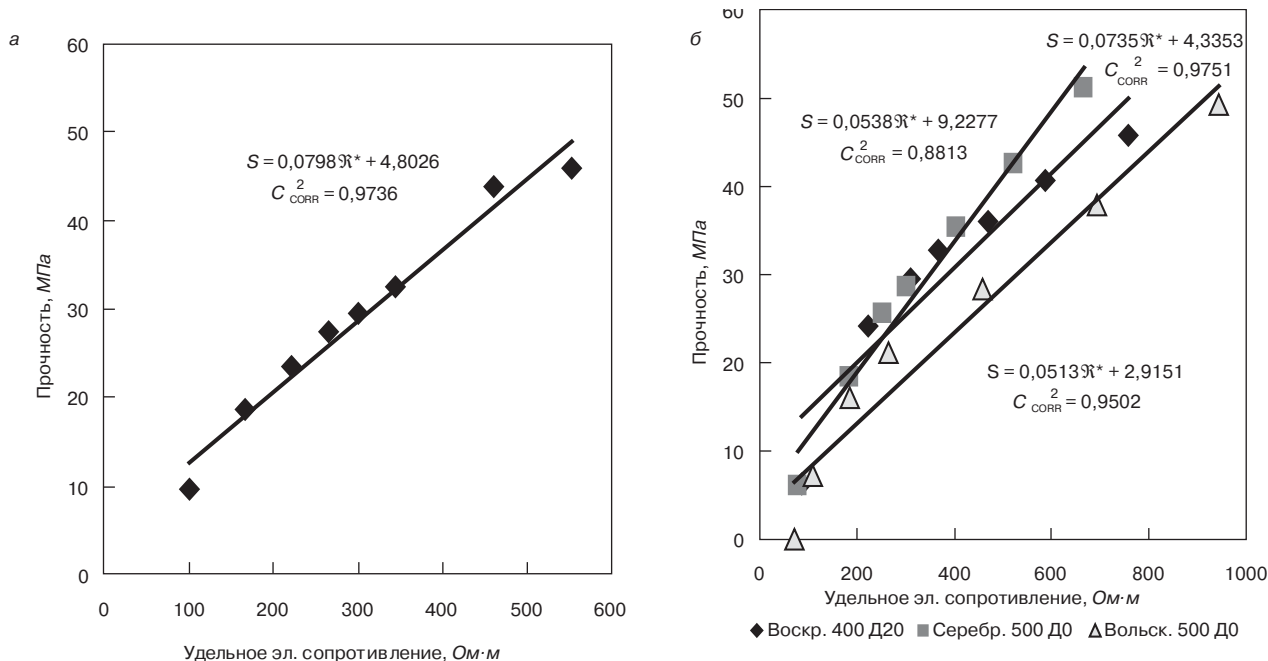


Рис. 2. Корреляции $S - R$, полученные на заводе товарного бетона «Люблино» (Москва): а – бетон марки В30, б – бетон марки В25 на цементах различных заводов

развития структурно-влажностного состояния материала, определяемого всей совокупностью коллоидно-химических процессов твердения.

Определение прочности как функции пористости цементного камня (бетона) начинается с введенного в 1897 г. Р. Фере соотношения цемент–пространство [18]; именно критерий прочности Фере:

$$S = k \left(\frac{V_c}{V_c + V_w + V_a} \right)^2, \quad (5)$$

явился основой для получения большинства формул определения прочности (здесь V_c, V_w, V_s, V_a – абсолютные объемы цемента, воды, песка и воздуха соответственно; k – коэффициент, зависящий от вида цемента и режима твердения).

Так, А.Е. Шейкин [11] модифицировал формулу Г. Вишера [19] и использовал вместо пористости величину относительной плотности; в его интерпретации зависимость прочность–пористость для цементного камня выглядит следующим образом:

$$S = S_0 \left(\frac{1 + 0,23\xi\gamma}{1 + \frac{B}{C}\gamma} \right)^n, \quad (6)$$

где ξ – степень завершенности реакций гидратации цемента; γ – плотность гидратированного цемента (при расчетах прочности использованы следующие значения: константа $S = 3100$ МПа, показатель степени $n = 2,7$).

Наиболее существенные результаты при исследовании упрочнения цементно-бетонных композиций были получены Т. Пауэрсом. Согласно развитой им [12, 13 и др.] концепции гель-пространство, фактор, определяющий упрочнение цементного камня – это отношение объема гидратированного цемента (цементного геля) V_G к сумме объемов геля и капиллярных пространств V_{SC} :

$$S_c = S_{c0} \left(\frac{V_G}{V_G + V_{SC}} \right)^n, \quad (7)$$

где S_{c0} – максимальная прочность данного цемента, соответствующая идеальному состоянию, в котором все поры и капилляры заполнены гелем, т. е. при $V_{кап} = 0$ (в

расчетах [13] использованы значения S_{c0} , равные ~ 90 и ~ 110 МПа); n – константа, величина которой зависит от свойств данного цемента.

В дальнейшем при проведении испытаний бетонов Т. Пауэрс установил экспериментально, что предел прочности при сжатии определяется зависимостью вида [20]:

$$S = 234 \left(\frac{0,647\alpha}{0,319\alpha + \frac{w_0}{C}} \right)^3, \quad (8)$$

где α – доля гидратированного цемента; w_0 – объем воды затворения; C – масса цемента, а значение константы $S_0 = 234$ МПа не зависит от возраста и состава бетона.

Принципиальное различие между величинами максимальной прочности $S_{0II} \approx 1350$ МПа, рассчитанной теоретически для упругого тела [9], и $S_0 \approx 90 \div 234$ МПа, полученной при использовании концепции гель–пространство [12, 13, 20], предопределено абсолютно разными структурными свойствами сред, рассматриваемых в обоих случаях:

– в модели Н.А. Крылова [9] – это упругая сплошная среда с нулевой пористостью;

– Т. Пауэрс [12, 13, 20] анализирует реальные твердеющие системы, упрочнение которых определяется развитием двух видов пористости: убывающей капиллярной $\Pi_{кап} \rightarrow \min$ и возрастающей гелевой $\Pi_{гел} \rightarrow \max$, причем всегда $\Pi_{кап} + \Pi_{гел} \rightarrow 0$.

Пористость и электрическое сопротивление. Взаимосвязь между электропроводностью/электросопротивлением и пористостью устанавливается законом Д. Арчи [21], который изучая электрофизические свойства скальных пород, насыщенных проводящей жидкостью, получил следующее соотношение:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\Pi^m}{a}, \quad (9)$$

или

$$\frac{R_0}{R} = \frac{\Pi^m}{a}, \quad (10)$$

здесь ρ_0 – проводимость чистой поровой жидкости – электролита, которым насыщался образец; a – констан-

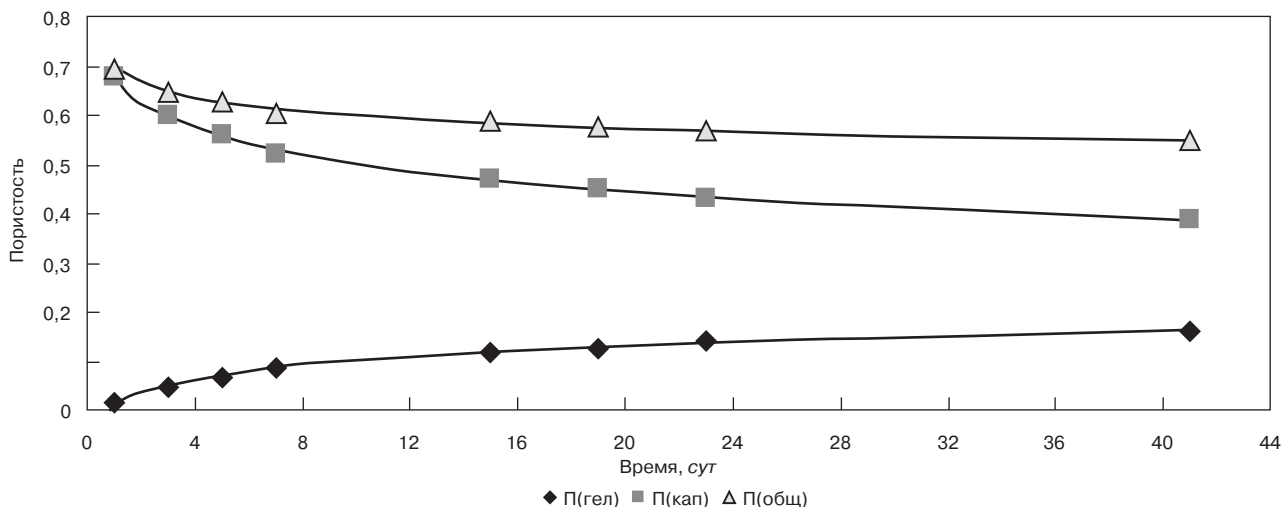


Рис. 3. Изменение общей пористости и ее составляющих в процессе твердения цементного камня

та насыщения (равна единице при 100% пористости материала, когда отношение $\rho/\rho_0=1$); m — константа, определяемая характером пористости, например извилистостью капилляров и др. факторами.

Д. Арчи установил, что для плотных песчаников значения показателя степени $m \sim 1,8-2$, а для неуплотненного песка $m = 1,3$.

Формула Арчи достаточно широко применяется для изучения твердения цементных паст и растворов. Так, в [22] приведены следующие значения константы m для цементного раствора: в возрасте 28 сут $m = 2,1$, а в возрасте ~ 29 лет $m = 3,21$.

При кондуктометрическом контроле твердения бетона в раннем (0,5–1,5 ч) возрасте [23] было получено значение $m = 1,42$. В то же время обобщение и анализ данных [4, 24, 25] привел к сильно отличающимся значениям констант $a = 1,26$ и $m = 5,77$.

Выше уже отмечалось, что во влажных капиллярно-пористых телах только жидкая фаза является проводящей. Поэтому отношения ρ/ρ_0 в (9) или $\mathfrak{R}_0/\mathfrak{R}$ в (10) определяют уровень влияния структуры на величину электропроводности/электрического сопротивления физической связанной влаги, или степень структурирования жидкой фазы. При этом необходимо иметь в виду, что в отличие от пористости твердеющих цементно-бетонных материалов пористость скальных пород — это система пор и капилляров некоторой фиксированной конфигурации и степени связности при полном отсутствии гелевой составляющей.

Прочность и электрическое сопротивление. Объединение концепции Т. Пауэрса и закона Д. Арчи позволяет установить взаимосвязь между пористостью и электрическим сопротивлением твердеющих цементно-бетонных композиций.

Для этого воспользуемся определением прочности согласно Т. Пауэрсу (7), в котором объемы структурных составляющих $V_{гел}$ и $V_{кап}$ заменены на соответствующие пористости (при этом $\Pi_{гел} + \Pi_{кап} = \Pi$); кроме того, в соответствии с (2) учтем величину начальной прочности системы — прочность структуры уплотнения S_{IN} :

$$S_C = S_{C0} \left(\frac{\Pi_{гел}}{\Pi_{гел} + \Pi_{кап}} \right)^n + S_{IN} \quad (11)$$

Определим величину общей пористости в (11) с помощью формулы Арчи (10) как:

$$\Pi = \left(\frac{a\mathfrak{R}_0}{\mathfrak{R}} \right)^{1/m} \quad (12)$$

и после соответствующих преобразований получим выражение, устанавливающее непосредственную взаимосвязь между S и \mathfrak{R} в виде:

$$S = \frac{S_0}{\mathfrak{R}_0} \Pi_{гел}^m \left(\frac{1}{a} \right)^{n/m} \left(\frac{\mathfrak{R}^*}{\mathfrak{R}_0} \right)^{n/m-1} + S_I \quad (13)$$

Здесь величина $S_0/\mathfrak{R}_0 = const$, а величина \mathfrak{R}^* отлична от измеряемой величины электрического сопротивления \mathfrak{R} (см. ниже).

Полученное выражение (13) по своей форме полностью соответствует исходному линейному корреляционному уравнению (1). Отсюда следует, что величина $const$ — это коэффициент пропорциональности A в уравнении (1):

$$A = \frac{S_0}{\mathfrak{R}_0} \quad (14)$$

лимитирующий соотношения между силой (прочностью бетона S) и координатой (электрическим сопротивлением \mathfrak{R}); произведение:

$$\Pi_G^m \left(\frac{1}{a} \right)^{n/m} \left(\frac{\mathfrak{R}^*}{\mathfrak{R}_0} \right)^{n/m-1}$$

определяет величину измеряемого сопротивления:

$$\mathfrak{R} = \Pi_G^m \left(\frac{1}{a} \right)^{n/m} \left(\frac{\mathfrak{R}^*}{\mathfrak{R}_0} \right)^{n/m-1} \quad (15)$$

Здесь необходимо вернуться к константам базовых формул (7) и (10).

Показатель степени n в формуле Пауэрса (7) — это действительно константа, величина которой зависит от свойств конкретного цемента согласно [12, 13, 20 и др.], интервал изменения $2,6 \leq n \leq 3,4$.

В то же время постоянство величин a и m , входящих в формулу Арчи (9, 10), справедливо лишь применительно к материалам с фиксированными структурными характеристиками — скальным породам, затвердевшим цементным пастам, растворам и т. п. Для структурообразующих систем — твердеющих цементно-бетонных композиций эти величины изменяются во времени, т. е. $a=f_1(\tau)$ и $m=f_2(\tau)$. Действительно, так как при твердении пористость в (10) $\Pi \neq const$ и всегда $\mathfrak{R} \neq \mathfrak{R}_0$, то и величина, определяющая степень насыщения структуры проводящей фазой, $a \neq const$. В свою очередь, непрерывное заполнение капилляров образующимся цементным гелем изменяет не только объем капиллярного пространства, но и форму самих капилляров, в том числе их извилистость, и $m \neq const$.

Кроме того, базовая величина в формуле (10) — это значение сопротивления чистого электролита, находящегося вне зоны действия каких-либо силовых полей (капиллярных, поверхностных и др.). Как отмечалось выше, изменение электрического сопротивления отсчитывается от начального состояния структуры уплотнения, т. е. $R_0 = R_{IN}$.

Таким образом, общее возрастание измеряемого электрического сопротивления в (15), с одной стороны, пропорционально увеличению гелевой пористости $P_{гел}$ твердеющей системы, а с другой — зависит от ее (гелевой пористости) собственного удельного сопротивления R^* . И хотя величина $R_0 / R_{IN} = const$, изменения структурных свойств a и m также оказывают влияние на общее сопротивление материала.

С учетом вышеизложенного уравнение (13) окончательно записывается в виде:

$$S(\tau) = \frac{S_0}{R_{IN}} \cdot P_{гел}(\tau)^{m(\tau)} \left(\frac{1}{a} \right)^{n/m(\tau)} \left(\frac{R^*}{R_{IN}} \right)^{n/m(\tau)-1} + S_{IN}, \quad (16)$$

соответствующем динамическому характеру процессов структурообразования и упрочнения.

Таким образом, зависимость (16) устанавливает прямую взаимосвязь между формирующейся прочностью твердеющей цементно-бетонной композиции $S(\tau)$ и изменением ее электрического сопротивления $R(\tau)$. При этом линейный характер зависимости $S(\tau) = f[R(\tau)]$ есть результат суммарного взаимодействия всей совокупности коллоидно-химических и структурных превращений, обуславливающих упрочнение материала.

Выводы

1. Результаты мониторинга упрочнения различных бетонов, проведенного как в лабораторных, так и в производственных условиях, свидетельствуют о том, что линейная зависимость между прочностью и электрическим сопротивлением — это закономерное явление.

2. На основании объединения концепции Пауэрса и закона Арчи физически обосновано существование линейных зависимостей прочность — электрическое сопротивление при твердении цементных паст, строительных растворов и бетонов. При этом формула Арчи адаптирована к динамическому характеру процессов структурообразования и упрочнения.

3. Показано, что возрастание электрического сопротивления в процессах твердения обусловлено увеличением гелевой составляющей формирующейся пористости, а также изменением ее собственных электропроводящих свойств.

Список литературы

- EN 206-1: 2000 «Concrete: Specification, performance, production and conformity». CU, 2001.
- ГОСТ Р 53231-2008 «Бетоны. Правила оценки и контроля прочности». М.: Стандартинформ, 2009. 12 с.
- Beek A. van, Breugel K. van, Hilhorst M.A. Monitoring system for hardening concrete based on dielectric properties. Creating with concrete. Utilizing ready-mixed concrete and mortar. Dundee, 1999. Pp. 303–312.
- Backe K.R., Lile O.B., Lomov S.K. Characterizing curing cement slurries by electrical conductivity // SPE Drilling & Completion. 2001. December. Pp. 201–207.
- Trimbak P.V., Jolicoeur C., Khayat K.H. Multi-probe conductivity method for monitoring time-dependet processes in fresh cementitious and other slurry systems // Canada Patent: CA 2322931, 2002.
- Shtakelberg D.I., Wilge B.I., Boiko S.V., Milman O. Methods, apparatus and system for monitoring hardening

- and forecasting strength of cementitious material // US Patent No. 7,225,682 on 5 June 2007.
- Shtakelberg D.I., Wilge B.I., Boiko S.V. Мониторинг твердения и упрочнения цементных композиций // Строит. материалы. 2008. № 3. С. 30–33.
- Shtakelberg D.I. Новые принципы мониторинга твердения и упрочнения цементно-бетонных композиций: В тр. Междунар. конф. по бетону «Россия-2008». Санкт-Петербург, декабрь 2008. С. 20–22.
- Крылов Н.А., Калашиников В.А., Полищук А.М. Радиотехнические методы контроля качества железобетона. Л.: Стройиздат, 1966. 379 с.
- Neville A.M. Properties of concrete. Longman Scientific & Technical. 3-rd Edition. N-Y: John Wiley & Sons Inc., 1988.
- Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.
- Powers T.C. The non-evaporable water content of hardened Portland-cement paste: Its significance for concrete research and its methods of determination // ASTM Bulletin. 1949. № 158. Pp. 68–76.
- Powers T.C. Structure and physical properties of hardened Portland cement paste // J.Amer.Cermic. Soc. 1958. 41. Pp. 1–6.
- Kingeri W.D. The physics and chemistry of ceramics: Proc. Symp. Penn. State univ., N.-Y.: Gordon and Breach Science Publ., 1963. Pp. 286–305.
- Бальшин М.Ю. Зависимость механических характеристик порошкообразных материалов от их пористости и свойства пористых металлокерамических материалов // ДАН СССР. 1949. Т. 34. № 5. 831–834.
- Grudemo A. Development of strength properties of hydrating strength pastes and their relation to structural features: Proc. Symp. on Some Recent Research on Cement Hydration. Denmark, 1975. Pp. 8 (Cembureau 1975).
- Roy D.M., Gouda G.R. Porosity-Strength relation in cementitious materials with very high strength // J. American Ceramics Soc. 1973. Vol. 53/ № 10. Pp. 513–522.
- Feret R. Etudes Sur la Constitution Intime des Mortiers Hydrauliques // Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale. 5-th series. 1987. Vol. 2. Pp. 1591–1625.
- Wischers G. Einflup einer Temperaturänderung auf die Festigkeit von Zementstein und Zementmörtel mit Zuschlagstoffen verschiedener Wärmedehnung // Schriftenreihe der Zementindustrie, Verein deutscher Zementwerke. 1961. № 28.
- Powers T.C. The physical structure and engineering properties of concrete // Portl. Cem. Assoc. Res. Dept. Bul. 90. July. 1958.
- Archie G.E. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics // Petroleum Transactions of AIME. 1942. № 146. Pp. 54–62.
- Tumidajski P.J. et al. On the relationship between porosity and electrical resistivity in cementitious systems // Cement and Concrete Resarch. 1996. 26. № 4. P. 539.
- McCarter W.J., Puyrigaud P. Water content assessment of fresh concrete // Proc. of the Inst. of Civil Engineers — Structure and Buildings. 1995. 110. № 4. P. 417.
- Christensen B.J. et al. Impedance spectroscopy of hydrating cement-based materials: measurement, interpretation and application // J. Amer. Ceramic. Soc. 1994. Vol. 77. № 11. P. 2789.
- Coverdale R.T. et al. Interpretation of impedance spectroscopy of cement paste via computer modeling. Part.1: Bulk conductivity and offset resistance // J. of Materials Science. 1995. 30. № 3. P. 712.