

**Учредитель журнала:**  
 ООО Рекламно-издательская  
 фирма «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»  
 Журнал зарегистрирован  
 Министерством РФ по делам  
 печати, телерадиовещания  
 и средств массовой информации  
 ПИ №77-1989  
**Входит в Перечень ВАК**  
 и государственный  
 проект РИНЦ

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

№3

Основан в 1955 г.

(711) март 2014 г.

**Главный редактор:**

**ЮМАШЕВА Е. И.**,  
 инженер химик-технолог,  
 Почетный строитель России

**Редакционный совет:**

**РЕСИН В. И.**,  
 председатель, д-р эконом. наук,  
 профессор (Москва)

**БАРИНОВА Л. С.**,  
 канд. хим. наук, вице-президент  
 Российского союза строителей (Москва)

**БУРЬЯНОВ А. Ф.**,  
 д-р техн. наук, директор Российской  
 гипсовой ассоциации (Москва)

**БУТКЕВИЧ Г. Р.**,  
 канд. техн. наук, член правления  
 Ассоциации «Недра» (Москва)

**ВАЙСБЕРГ Л. А.**,  
 д-р техн. наук, профессор,  
 член-корреспондент РАН  
 (Санкт-Петербург)

**ВЕРЕЩАГИН В. И.**,  
 д-р техн. наук, профессор (Томск)

**ГОРИН В. М.**,  
 канд. техн. наук, Президент Союза  
 производителей керамзита и  
 керамзитобетона (Самара)

**ЖУРАВЛЕВ А. А.**,  
 Президент ассоциации «Недра» (Москва)

**КОРОЛЕВ Е. В.**,  
 д-р техн. наук, профессор (Москва)

**КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.**,  
 д-р техн. наук, профессор (Воронеж)

**КРИВЕНКО П. В.**,  
 д-р техн. наук, профессор, (Украина, Киев)

**ЛЕСОВИК В. С.**,  
 д-р техн. наук, профессор,  
 член-корреспондент РААСН (Белгород)

**ОРЕШКИН Д. В.**,  
 д-р техн. наук, профессор (Москва)

**ПИЧУГИН А. П.**,  
 д-р техн. наук, профессор  
 (Новосибирск)

**ПУХАРЕНКО Ю. В.**,  
 д-р техн. наук, профессор  
 (Санкт-Петербург)

**ФЕДОСОВ С. В.**,  
 д-р техн. наук, профессор,  
 академик РААСН (Иваново)

**ФИШЕР Х.-Б.**,  
 доктор-инженер (Германия)

**ХЕЛМИ Ш. С.**,  
 канд. техн. наук (Египет)

**ХОЗИН В. Г.**,  
 д-р техн. наук, профессор (Казань)

**ЧЕРНЫШОВ Е. М.**,  
 д-р техн. наук, профессор,  
 академик РААСН, (Воронеж)

**ШЛЕГЕЛЬ И. Ф.**,  
 канд. техн. наук (Омск)

**ЯКОВЛЕВ Г. И.**,  
 д-р техн. наук, профессор (Ижевск)

**Современные бетоны: наука и практика / Modern concretes: science and practice**

**А. В. УШЕРОВ-МАРШАК**  
**Взгляд в будущее бетона** ..... 4

A.V. UCHEROV-MARSAK  
 Looking into the future concrete

**Ю. М. БАЖЕНОВ, Е. М. ЧЕРНЫШОВ, Д. Н. КОРОТКИХ**  
**Конструирование структур современных бетонов:**  
**определяющие принципы и технологические платформы** ..... 6

J.M. BAZHENOV, E.M. CHERNYSHOV, D.N. KOROTKIKH  
 Designing of modern concrete structures: determining principles and technological platforms

**В. В. БАБКОВ, С. Н. СЕЛИВЕРСТОВ, Р. А. ЮМАГУЛОВ**  
**Опыт производства и применения железобетонных**  
**преднапряженных плит серии ПДН Холдинговой компании «БАШБЕТОН»**  
**в строительстве дорог Западной Сибири** ..... 15

V.V. BABKOV, S.N. SELIVERSTOV, R.A. YUMAGULOV  
 Experience in production and use of reinforced concrete pre-stressed slabs of PND series of «BASHBETON» Holding Company for construction of roads in Western Siberia

**В. Г. СОЛОВЬЕВ, А. Ф. БУРЬЯНОВ, М. С. ЕЛСУФЬЕВА**  
**Особенности производства сталефибробетонных изделий и конструкций** ..... 18

V.G. SOLOVYEV, A.F. BURYANOV, M.S. YELSUFEVA  
 Features of the production of steel fibre concrete products and designs

**С. Н. ЛЕОНОВИЧ, Н. Л. ПОЛЕЙКО**  
**Прочность сцепления арматуры с бетоном, содержащим добавку С-3 и ее модификации** ... 22

S.N. LEONOVICH, N.L. POLEIKO  
 Bonded strength of reinforcement with concrete modified by superplasticizer "S-3"

**М. И. КОЖУХОВА, И. ФЛОРЕС-ВИВИАН, С. РАО, В. В. СТРОКОВА, К. Г. СОБОЛЕВ**  
**Комплексное силоксановое покрытие для супергидрофобизации**  
**бетонных поверхностей** ..... 26

M.I. KOZHUKHOVA, I. FLORES-VIVIAN, S. RAO, V.V. STROKOVA, K.G. SOBOLEV  
 Complex siloxane coating for super-hydrophobicity of concrete surfaces

**Г. В. НЕСВЕТАЕВ, Г. С. КАРДУМЯН**  
**О применении цементных бетонов для дорожных и аэродромных покрытий** ..... 31

G.V. NESVETAEV, G.S. KARDUMYAN  
 On the application of cement concrete for road and airfield pavements

**Выставке «Отечественные строительные материалы» 15 лет (Информация)** ..... 36

**Н. Н. ЧЕРНОУСОВ, Р. Н. ЧЕРНОУСОВ, А. В. СУХАНОВ**  
**Моделирование механики работы мелкозернистого цементно-песчаного бетона**  
**при осевом растяжении** ..... 40

N.N. CHERNOUSOV, R.N. CHERNOUSOV, A.V. SUKHANOV  
 Simulation of Operation Mechanics of Fine Graded Cement-Sand Concrete at Axial Tension

**Материалы и конструкции / Materials and structures**

**И. М. БАРАНОВ**  
**Проблемы нормирования свойств магниезиальных вяжущих**  
**строительного назначения и их решение** ..... 45

I.M. BARANOV  
 Problems of Standardization of Properties of Magnesia Binders for Construction Purposes and Their Resolution

**А. А. ОРЛОВ, Т. Н. ЧЕРНЫХ, Л. Я. КРАМАР**  
**Стекломагниезиальные листы: проблемы производства, применения и перспективы развития** .. 48

A.A. ORLOV, T.N. CHERNYKH, L.Ya. KRAMAR  
 Magnesium oxychloride boards: Problems of Production, Use and Prospects of Development

Уважаемые читатели!

В № 1-2 2014 г. допущена опечатка.

Заголовок статьи А. В. Корочкина следует читать «Сдвигоустойчивость асфальтобетонных слоев жесткой дорожной одежды» (стр. 2 – содержание, стр. 65)

Приносим извинения автору и читателям.

**Editor-in-chief**

**YUMASHEVA E.**,  
chemical process engineer,  
Honorary Builder of Russia

**Editorial Board**

**RESIN V.**,  
Chairman, Doctor of Economic Sciences,  
Professor (Moscow)

**BARINOVA L.**,  
Candidate of Chemical Sciences, Vice-  
President of the Russian Union of Builders  
(Moscow)

**BUR'YANOV A.**,  
Doctor of Technical Sciences, Director of  
the Russian Association of gypsum  
(Moscow)

**BUTKEVICH G.**,  
Candidate of Technical Sciences, member  
of the Board of Association «Nedra»  
(Moscow)

**VAYSBERG L.**,  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Corresponding Member of RAS  
(St. Petersburg)

**GORIN V.**,  
Candidate of Technical Sciences, President  
of the Union of Haydite and Haydite  
Concrete Producers (Samara)

**VERESHCHAGIN V.**,  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor (Tomsk)

**ZHURAVLEV A.**,  
President of the Association «Nedra»  
(Moscow);

**KOROLEV E.**,  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor (Moscow)

**KRASOVITSKY Yu.**,  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor, (Voronezh)

**KRIVENKO P.**,  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor (Ukraine, Kiev)

**LESOVIK V.**,  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Corresponding Member of RAACS  
(Belgorod)

**ORESHKIN D.**,  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor (Moscow)

**PICHUGIN A.**,  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor (Novosibirsk),

**PUKHARENKO Yu.**,  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor (St. Petersburg)

**FISHER H.-B.**,  
Doctor-Engineer (Germany)

**KHELMI Sh.S.**,  
Candidate of Technical Sciences (Egypt)

**KHOZIN V.**,  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor (Kazan)

**CHERNYSHOV E.**,  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Academician of RAACS (Voronezh)

**SHLEGEL I.**,  
Candidate of Technical Sciences,  
ООО «INTA-Stroy» (Omsk)

**YAKOVLEV G.**,  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor (Izhevsk)

Н.Д. СЕРЕБРЕННИКОВА, С.И. БОЯРИНОВ, С.И. ФЕДОТОВ, Г.В. АФАНАСЬЕВА  
**Влияние воздействия ультрафиолетового облучения и циклических воздействий температуры на долговечность полимерных микропористых материалов для строительства кровельных и стеновых конструкций** ..... 53

N.D. SEREBRENNIKOVA, S.I. BOYARINOV, S.I. FEDOTOV, G.V. AFANASIEVA  
**The impact of exposure to ultraviolet radiation and cyclical influences of temperature on the durability of microporous polymeric materials for construction of roofing and wall structures**

**Информация / Information**

**Сушка и обжиг керамических изделий при прямой погрузке на печные вагонетки** ..... 60

**Первая в России линия по производству клинкерного кирпича готова к промышленной эксплуатации** ..... 68

**Керамические строительные материалы / Ceramic building materials**

А.Ю. СТОЛБОУШКИН, Г.И. БЕРДОВ, В.Н. ЗОРЯ, О.А. СТОЛБОУШКИНА, А.А. ПЕРМЯКОВ  
**Влияние добавки ванадиевого шлака на процессы структурообразования стеновой керамики из техногенного сырья** ..... 73

A.Yu. STOLBOUSHKIN, G.I. BERDOV, V.N. ZORYA, O.A. STOLBOUSHKINA, A.A. PERMIKOV  
**The impact of vanadium slag addition on structure forming processes in wall ceramics made of technogenic material**

**Отрасль в современных экономических условиях / Industry under present economic conditions**

А.А. СЕМЕНОВ  
**Итоги развития строительного комплекса и промышленности строительных материалов в 2013 г. Прогноз на 2014 г.** ..... 81

A.A. SEMENOV  
**Results of development of the construction complex and building materials industry in 2013, the forecast for 2014**

**Постоянно действующий семинар «Физико-химические и математические аспекты строительного материаловедения и технологий» академика РААСН Сергея Викторовича Федосова – достойное продолжение традиции (Информация)** ..... 86

**Результаты научных исследований / Results of scientific research**

В.Т. ЕРОФЕЕВ, С.А. КОРОТАЕВ  
**Каркасная технология обжигового материала с наполнителем на стеклообразном связующем** ..... 88

V.T. EROFEEV, S.A. KOROTAEV  
**Frame technology calcined material with a filler on the glassy binder**

А.Д. КОРНЕЕВ, М.А. ГОНЧАРОВА, Г.А. ШАТАЛОВ  
**Технология композитной черепицы с теплоизоляцией из наполненного пенополиуретана** ..... 92

A.D. KORNEEV, M.A. GONCHAROVA, G.A. SHATALOV  
**Technology of composite tiles with heat insulation made of filled polyurethane foam**

В.А. УШКОВ, Д.И. НЕВЗОРОВ, Б.И. БУЛГАКОВ, В.М. ЛАЛАЯН  
**Влияние пластификаторов на пожарную опасность полимерных строительных материалов** ..... 96

V.A. USHKOV, D.I. NEVZOROV, B.I. BULGAKOV, V.M. LALAYAN  
**On Influence of Plasticizers on Fire Hazard of Polymeric Construction Materials**

И.В. СТЕПИНА, В.И. СИДОРОВ, О.А. КЛЯЧЕНКОВА  
**Биостойкость древесины в присутствии фенолборатов** ..... 102

I.V. STEPINA, V.I. SIDOROV, O.A. KLYACHENKOVA  
**Biostability of Wood in the Presence of Phenyl Borates**

А.И. БУРНАШЕВ, А.Х. АШРАПОВ, Л.А. АБДРАХМАНОВА, Р.К. НИЗАМОВ  
**Структура и свойства модифицированного древесно-полимерного композита на основе поливинилхлорида** ..... 104

A.I. BURNASHEV, A.H. ASHRAPOV, L.A. ABDRAHMANOVA, R.K. NIZAMOV  
**Structure and properties of a modified wood-polymeric composite on the basis of polyvinylchloride**

А.А. САНДУЛЯК, В.А. ЕРШОВА, А.В. САНДУЛЯК, Д.А. САНДУЛЯК  
**Магнитоконтроль ферропримесей полевого шпата: оценка фактора попутного вовлечения частиц** ..... 107

A.A. SANDULYAK, V.A. ERSHOVA, A.V. SANDULYAK, D.A. SANDULYAK  
**Magnetic inspection of ferro-admixtures of feldspar: assessment of a factor of following involvement of particles**

# 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/м<sup>2</sup> ("Удар")  
5...300 МН/м<sup>2</sup> ("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...20 (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/м<sup>2</sup>  
-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.



# Взгляд в будущее бетона\*

Нас окружает множество примеров уникальных и обычных объектов, сооруженных из бетона и железобетона. Главный строительный материал человечества — бетон в недалеком прошлом был простым, получаемым из четырех заурядных компонентов.

Современный бетон — это сложный композит с недостижимыми ранее технологичностью, прочностью, плотностью, долговечностью, эстетичностью и инвестиционной привлекательностью.

Бетоны, еще вчера называемые бетонами нового поколения, — сегодня реальность. Реальность — высокая наукоемкость бетоноведения, впитавшая законы и положения фундаментальных наук. Реальность — полифракционность крупного и мелкого заполнителей, высокие показатели содержания, дисперсности и реакционной способности минерального компонента, высокая эффективность химических добавок, прежде всего на основе ПАВ. Реальность — высокая функциональность бетонных смесей и бетонов.

**Фундаментальные принципы бетоноведения.** Эволюционный характер развития науки о бетоне к концу XX в. пережил революционный скачок. Бетоноведение из относительно простой, преимущественно описательной дисциплины становится междисциплинарной наукой.

Несмотря на очевидные достижения, существует ряд неразрешенных теоретических проблем и методологических задач. Не разработана единая теория твердения. Не всегда достаточны знания механизмов влияния добавок. Сложности в этом плане кроются в невозможности выделить и количественно оценить вклад элементарных процессов и реакций в общий баланс гидратационных взаимодействий.

Термодинамически обусловленные эффекты самопроизвольных элементарных актов — адсорбции, смачивания, химических реакций, растворения, кристаллизации и пр. накладываются друг на друга в одну совокупную функцию, затрудняя познание. Многолетние попытки создания теорий гидратации цемента не перешли грань гипотез и не повлияли на технологический прогресс.

Ситуация характерна для любых объектов гетерогенной кинетики, где давно сделан вывод о целесообразности «не анализа отдельных реакций, а принципиальных исследований для установления общих закономерностей». Справедливо в этом плане обращение к феноменологическому подходу на базе общей теории взаимодействий и ее принципов.

**Принцип непрерывности** времени, энергии (температуры) и информации о параметрах взаимосвязанных

самопроизвольных процессов. Непрерывность предусматривает, что предыдущее состояние системы, характеризующееся параметрами полноты и скорости их изменения, является причиной ее последующих непрерывных изменений. Важно, что все превращения системы описываются непрерывными, а не дискретными физико-химическими и физико-математическими функциями.

Всеобщий принцип непрерывности, бесспорно, распространяется на непрерывные процессы и реакции гидратационных взаимодействий в твердеющих цементных системах, которые формируют свойства бетонных смесей и бетонов.

**Принцип суперпозиций (наложения)** определяет значения некоей совокупной функции как результата суммы эффектов, вызываемых изменением отдельных состояний целостной системы. В общем этот принцип коррелируется с известными синергетическими или аддитивными явлениями, присущими твердеющим цементным системам, четко проявляющимися при действии индивидуальных или комплексных добавок.

**Принцип соответствия** фундаментальных знаний макроуровня и технологических решений. Очевидна приложимость этого принципа на примерах бетонов последнего поколения, когда фундаментальные знания коллоидной химии и химии полимеров обусловили высокие реальные достижения.

Реализация приведенных принципов проистекает как бы естественно с приложением новых знаний исследователей строительных материалов. А вот их адаптация с учетом специфики объектов бетоноведения требует масштабного и кропотливого труда. Это относится к корректной постановке и решению методологических задач. Ведь многие методы обязательных технологических испытаний морально устарели и малоинформативны. Образно сформировал подобную ситуацию один российский исследователь: «Сколько можно сидеть на игле Вика?» В этом смысле продуктивны переживающие в настоящее время своеобразный «бум» методы калориметрии. Некоторые из них обсуждены в нашем докладе на предстоящей конференции.

**«Добавки — ключ к решению технологических проблем»** — удачная трактовка В.Г. Батракова. В ней отражается значимость добавок в современных бетонах.

Действительно, за последнюю четверть века вспомогательная роль добавок переросла в определяющую на всех этапах получения и эксплуатации бетона за счет высокой эффективности и экологичности.

Секрет прост. Высокая эффективность индивидуальных и комплексных добавок различной природы

\* К проведению II Международной, III Всероссийской конференции по бетону и железобетону «Бетон и железобетон — взгляд в будущее», которая состоится в Москве 12–16 мая 2014 г.

достигается за счет роста их функциональности. Термин «функция» трактуется двояко – назначение и, с физико-химических позиций, явление, которое изменяется при взаимодействии компонентов. Функциональность – это способность выполнять свои функции. Зачастую добавки, в основном многокомпонентные, неверно относят к полифункциональным. Любая, даже индивидуальная добавка полифункциональна. Например, известный порообразователь – порошок алюминия кроме основной несет дополнительную функцию ускорителя гидратации, т. е. также полифункционален.

Функциональность добавок, определяющая их технологическую эффективность, носит ярко выраженный кинетический характер. Концепция функциональности заложена в основу создания высокофункциональных бетонов (High Performance Concrete – HPC). Формируется новая стратегическая концепция технологии бетонов с заданной функциональностью (Defined Performance Concrete – DPC).

Один из важнейших факторов, определяющих функциональность и эффективность добавок, – их совместимость с цементами. Проблема сложна и многогранна. Задача количественной оценки совместимости с целью оперативной корректировки составов бетона в условиях перманентной недостаточности информации технологического плана пока не решена. Рост номенклатуры добавок одновременно с увеличением их стоимости обуславливает актуальность решения указанной задачи.

**Саморегулируемые, «умные» бетоны (Smart Materials and Composites).** Звучит красиво и перспективно! Но если присмотреться, то не так уж и ново. Ведь суть направления касается реализации заранее заложенной технологической функции путем регулирования самопроизвольных элементарных процессов твердения. К этой же категории относятся обычные и специальные вяжущие вещества, включая быстротвердеющие, расширяющиеся и напрягающие, сульфатостойкие и глиноземистые, огнеупорные и жаростойкие.

Гениальность в простоте. Саморегулирование – технологическое свойство, закладываемое еще на стадии создания материала, проектирования составов с учетом длительного функционирования.

**Саморегулируемые бетоны (Self-regulated Concretes)** как бы открывают эру так называемых интеллектуальных стройматериалов.

**Самоуплотняющиеся бетоны (Self-compacting Concretes)** прочно заняли свою просторную нишу за счет хорошо регулируемых, высоких, длительно сохраняемых реологических и технологических функций на стадиях перемешивания, транспортирования, формования и твердения.

**Самозалечивающиеся бетоны (Self-healing concretes)** основаны на концепции восстановления и поддержания заданных свойств с помощью размещения в зонах ожидаемых напряжений и деформаций бетона микрокапсул со специальными реагентами, способными к самопроизвольным реакциям полимеризации (смолы, силикаты натрия), осмотического набухания (глины), биотического формирования карбоната кальция (бактерии) и др.

**Самоочищающиеся бетоны (Self-cleaning Concrete)** наделены уникальной функцией защиты от возможных загрязнений путем осуществления фотокаталитической реакции диоксида титана ( $TiO_2$ ) в составе цемента или на поверхности бетона под действием ультрафиолета.



«Бурдж Халифа» небоскреб высотой 828 м – самое высокое сооружение в мире (Дубай, ОАЭ). Строительство началось в 2004 г., открытие состоялось 4 января 2010 г. Для строительства «Бурдж Халифа» была разработана особая марка бетона, который выдерживает температуру до +50 °С. Бетонную смесь укладывали только ночью (1–2 этажа в неделю), а в раствор добавляли лед. Для возведения башни потребовалось около 320 тыс. м<sup>2</sup> бетона и более 60 тыс. т стальной арматуры. Настоящее торжество технологии бетона!

**Самодиагностирующиеся композиции (Self-sensing Composites)** – цементы и бетоны с нанотрубками и наноксидами железа способны реагировать на проявление снимающих усилий в дорожных конструкциях.

Подчинение «умных» материалов законам фундаментальных наук не предполагает наличия разума у бетона и его компонентов. А вот технологи, зная эти законы, адаптируют поведение бетона к условиям функционирования.

**Конференции по бетону и железобетону** – регулярные встречи ученых и практиков для обсуждения проблем отрасли. История конференций в СССР, а затем в странах СНГ (автор лично участвует в них, начиная с Рижской 1966 г.) есть история развития отечественных технологий ЖБИ и монолитного железобетона.

Здесь уместно отдать должное памяти наших учителей и предшественников, корифеев науки о бетоне, неременных участников этих конференций: Б.Г. Скрятаев – общая теория бетона; С.А. Мионов – температурный фактор твердения; В.М. Москвин – коррозия и защита бетона; В.Б. Ратинов и В.Г. Батраков – добавки в бетон; С.В. Шестоперов – долговечность бетона; О.П. Мчедлов-Петросян – физикохимия бетона; И.Б. Заседателев – теплообмен при твердении специального бетона. И этот список далеко не полон.

В мировой науке о бетоне произошли глобальные изменения, которые революционировали строительные технологии. О них пойдет речь на нынешней конференции. Приятно отметить масштабность участия ведущих зарубежных ученых. Значит, несмотря на кризисные обстоятельства, авторитет и уровень отечественной науки достаточно высок и может обеспечить дальнейшие перспективы технологии. Следовательно, надо и дальше результативно трудиться на благодарной профессиональной ниве!

**А.В. Ушеров-Маршак, д-р техн. наук, профессор,**  
член международного научного комитета  
II Международной,  
III Всероссийской конференции  
по бетону и железобетону  
«Бетон и железобетон – взгляд в будущее»  
Москва

Ю.М. БАЖЕНОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, академик РААСН; Е.М. ЧЕРНЫШОВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук, академик РААСН; Д.Н. КОРОТКИХ<sup>2</sup>, канд. техн. наук (korotkih.dmitry@gmail.com)

<sup>1</sup> Московский государственный строительный университет (129337, Москва, Ярославское ш., 26)

<sup>2</sup> Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84)

## Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы

Комплексно рассмотрены проблемы формирования структуры современных высокотехнологичных бетонов. Обсуждаются вопросы технологических платформ производства бетонов и их фундаментальной научной базы. Раскрываются возможности системно-структурного методологического подхода при управлении потенциалом сопротивления бетонов разрушению. Систематизируются и обобщаются параметры строения типичных структурных групп современных бетонов с анализом их эффективности по конструкционным и экономическим показателям.

**Ключевые слова:** современные высокотехнологичные бетоны, парадигмы и принципы конструирования структур, технологические платформы, сопротивление разрушению, технико-экономическая эффективность бетонов.

J.M. BAZHENOV<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Academician of RAACS, E.M. CHERNYSHOV<sup>2</sup>, Doctor of Technical Sciences, Academician of RAACS, D.N. KOROTKIKH<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences

<sup>1</sup> Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavlshoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

<sup>2</sup> Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (84, 20-letija Oktjabrja street, Voronezh, 394006, Russian Federation)

### Designing of modern concrete structures: determining principles and technological platforms

Problems of the formation of structures of modern high-technology concretes are complexly considered. Issues of technological platforms of concretes manufacture and their fundamental scientific base are discussed. Possibilities of the system-structural methodological approach when controlling the potential of concretes resistance to destruction are revealed. Parameters of compositions of typical structural groups of modern concretes with an analysis of their efficiency according to structural and economic indicators are systematized and generalized.

**Keywords:** modern high-technology concretes, paradigms and principles of structures designing, technological platforms, resistance to destruction, technical and economical efficiency of concretes.

К настоящему времени технология цементных бетонов в своих основных положениях практически сложилась. Преодолев в 1990-е гг. определенный «кризис жанра», технология бетонов претерпела ряд концептуально-методологических и технических прорывов.

Предшествующее этим прорывам материаловедение и технология бетонов соотносились прежде всего с решением вопросов, опирающихся на принципы и механизмы механики формирования структуры. Такой подход предусматривал получение максимально плотных упаковок систем сложения заполнителей и обеспечивал образование макро- и мезоконгломератной структуры бетонов прочностью от 20–30 МПа и в лучших решениях с использованием высококачественных заполнителей рациональной гранулометрии, прогрессивной технологии уплотнения – до 70 МПа. Переход к физико-химическим принципам и механизмам формирования структуры, нацеленным на управление микроструктурой, позволил получить бетоны прочностью до 120–150 МПа. При этом предшествующая сумма знания в технологии бетонов не отбрасывалась, а развивалась и дополнялась новыми научными положениями. Последнее десятилетие развития технологии бетонов характеризуется становлением и применением нанотехнологических подходов и их принципов.

Основные концептуальные установки, системы формирующихся представлений, характерные для определенного этапа развития научных знаний по проблеме формирования структуры и прочности цементных бетонов, рассматриваются как парадигмы соответствующих технологических платформ. Эволюционное развитие понимания структуры как определяющего концептуально-методологического фактора в разработке высокоэффективных строительных композитов с совершенствованием методов качественной и количественной ее идентификации, со сменой парадигм конструирования происходило, таким образом, в направлении от макро-

через мезо- к микроструктуре и неизбежно дошло до наноструктурного уровня [1].

На современном этапе развития материаловедения и технологии бетонов определяющим оказываются уже не только и не столько проблемы собственно прочности, сколько проблемы эффективности технологии бетона и самого бетона по критериям ресурсоемкости в расчете на единицу измерения его конструкционного и функционального качества. В этой связи принципиально важно включить в действие сумму накопленных знаний и системно опереться на арсенал парадигм и соответствующих им технологических платформ формирования и получения оптимальных структур бетонов – механофизической, физико-химической, нанотехнологической.

В научном смысле указанные платформы выстраиваются из суммы соответствующих фундаментальных знаний, обеспечивающих научно обоснованное рассмотрение проблем конструирования и синтеза структур в их закономерной связи со свойствами получаемого материала. В *механофизической платформе*, отвечающей задачам формирования оптимальной макро- и мезо-структуры, это прежде всего механика и реология зернистых сред. В *физико-химической платформе*, нацеленной на решение задач управления формированием микроструктуры, это химическая кинетика гетерогенных процессов, коллоидная химия, физическая химия поверхностных явлений, кристаллохимия и др. В *нанотехнологической платформе*, затрагивающей проблемы структурообразования матричной субстанции бетонов на самом тонком уровне ее строения, это нанохимия, интегрировавшая современные достижения физики и химии твердого состояния.

Совокупность фундаментального знания этих наук в отношении бетонов образует современную технологическую платформу (рис. 1).

И механофизические, и физико-химические, и нанотехнологические принципы и механизмы, отвечаю-

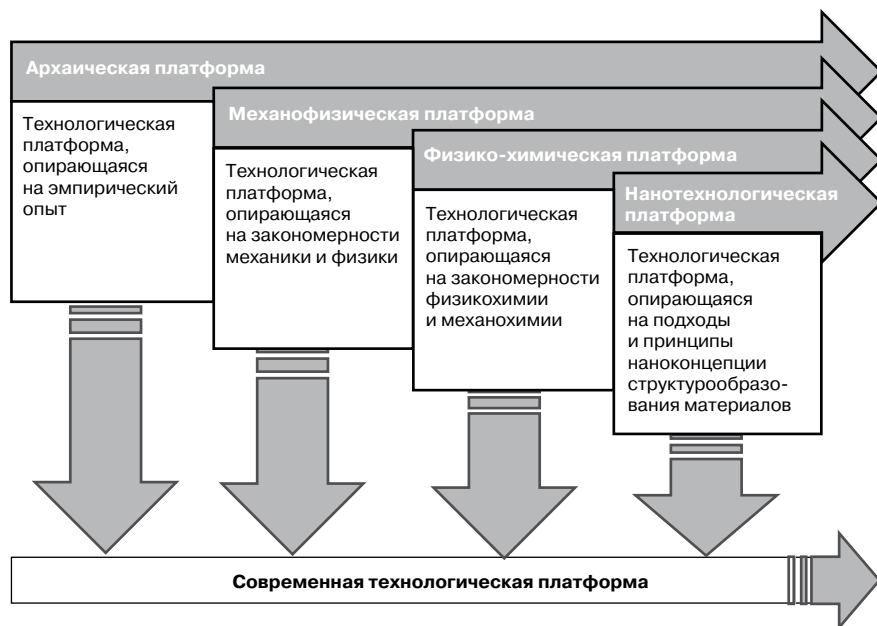


Рис. 1. Технологические платформы получения бетонов

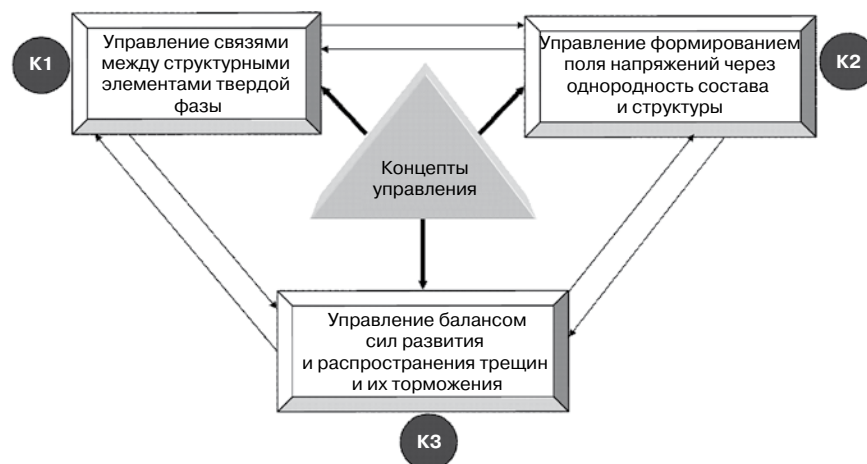


Рис. 2. Концепты управления сопротивлением материалов разрушению [6]

щие существо технологических платформ, по содержанию соответствуют определяющим парадигмам формирования структур:

- обеспечения повышенной плотности, т. е. увеличения массы бетона в единице объема;
- достижения оптимальной однородности-неоднородности размещения субстанции массы в объеме структуры;
- оптимизации содержания компонент структуры, предопределяющих меру проявления свойств упругости, вязкости, пластичности бетона при деформировании и сопротивлении его разрушению.

Эти принципы, парадигмы, как видно, отвечают методологии структурного подхода. Во-первых, существо механизма включения в работу, в сопротивление силовым воздействиям создаваемых структурных связей материала – структурных связей матричного материала, структурных связей субстанции наполнителей материала, структурных связей их контактной зоны. При этом потенциал сопротивления совокупности структурных связей постулируется как интегральная характеристика, определяемая количеством этих связей в единице массы материала и их качеством.

Во-вторых, парадигмы структурообразования отвечают условиям управления процессом диссипации, ло-

кализации и концентрации напряжений при формировании поля напряженно-деформированного состояния материала под влиянием внешних воздействий. Параметры поля напряжений и деформаций при прочих равных условиях оказываются производной пространственно-геометрических характеристик структуры – однородности размещения, площади поверхности раздела структурных составляющих в единице объема материала и зависят в общем случае от закономерностей проявления однородности-неоднородности структуры бетона.

В-третьих, парадигмы формирования структуры бетонов соотносятся с возможностями влияния на развитие разрушения – на возможность зарождения, распространения и торможения процесса роста трещин в материале, поскольку бетон относится к типу хрупких конструктивных композитов [2–5].

Итак, определяющие принципы формирования, конструирования структуры бетонов рассматриваются и постулируются через призму механизмов ее участия в процессах сопротивления разрушению. Именно такая трактовка приводит к необходимости введения [6] *трех концептов управления сопротивлением разрушению* (рис. 2). *Первый концепт* учитывает, что потенциал сопротивления разрушению, помимо условий трансформации внешней нагрузки во внутренние напряжения, определяется количеством и качеством физических и физико-химических связей между омоноличивающим веществом и частями наполнителя, а также внутренними связями структурных составляющих самого омоноличивающего вещества и наполняющих частиц.

*Второй концепт* отражает влияние меры однородности-неоднородности конгломератной структуры на формирование в материале поля внутренних напряжений, определяемого кинетикой диссипации, локализации и концентрации, величиной таких внутренних напряжений.

*Третий концепт* отражает возможности торможения трещин за счет различий проявления реологической роли структурных составляющих материала как фактора изменения параметров энергетического баланса в зоне фронта развивающихся трещин при хрупком разрушении его конгломератной структуры.

Указанные три концепта имеют определяющее отношение к обоснованию системы структурных факторов управления сопротивлением разрушению при механическом, а также при любом другом (термическом, влажностном, химическом и т. п.) нагружении бетона.

Рассмотрим суть обозначенных принципов и парадигм формирования структуры бетонов.

Главным решением для обеспечения высокой прочности бетонов всегда и для предыдущих поколений также были принцип и действие «хорошо перемешать и хорошо уплотнить». То есть центральной, определяющей и наиболее очевидной являлась парадигма обеспечения повышения однородности и плотности бетона. Уже на заре

развития научных знаний о бетоне эта парадигма связывалась с качественным перемешиванием, с формированием максимально плотных упаковок систем сложения крупного и мелкого заполнителей и опиралась на закономерности механики зернистых сред [7–9]. Технологически максимально плотные упаковки реализуются как результат обоснования и назначения рационального гранулометрического состава фракций крупного и мелкого заполнителей в конгломератной структуре [10, 11]. Важным технологическим фактором при этом оказывается характер и параметры внешнего силового воздействия на бетонную смесь при формировании в целях достижения наиболее высокой плотности бетона [12].

Взаимосвязанной с проблемой максимально плотных упаковок являлась проблема типа цементации структуры композита. Эта проблема состоит в оптимизации характеристик омоноличивания системы сложения зернистых включений связующим (матричным) веществом. Обобщенными, интегральными количественными оценками типа цементации (контактной, пленочной, поровой, базальной в терминах петрологии) является, как известно, коэффициент раздвижки зерен заполнителей, определяемый соотношением объемов наполняющего и связующего веществ.

Дальнейшее развитие парадигмы повышения плотности структуры бетона состояло в переходе от задач управления плотностью на уровне макро- и мезоструктур к уровню микроструктур, и выразилось это в появлении концепции структуры цементного камня как своего рода микробетона [13], когда в качестве его заполнителя рассматриваются и принимаются непрореагировавшие зерна цемента и (или) специально вводимые в структуру зерна микронаполнителя, соразмерные с первыми. Основная структурная роль микронаполнителя как раз и состоит в уплотнении системы твердеющего цемента.

На структурном уровне цементирующих веществ микробетона функцию уплотнения его структуры могут выполнять и специально вводимые ультрадисперсные (на один-два порядка более мелкие) частицы, например микрокремнезема, которые кроме этой прямой функции начинают играть и физико-химическую структурообразующую роль.

В целом в настоящее время парадигма повышения плотности бетона посредством формирования упаковки систем зернистых включений (управление системой их сложения) находит технологическую реализацию на всех структурных уровнях материала, последовательно переходя от макро- к мезо-, микро-, ультрамикроструктуре бетона [1].

В рамках повышения плотности бетона через оптимизацию упаковки твердофазной зернистой составляющей, естественно, происходит уменьшение объема порового пространства. Такое уменьшение существенно дополняется возможностями при снижении величины водоцементного отношения. Реализация последнего связана с двумя магистральными технологическими направлениями: одним из них является применение интенсивно уплотняемых жестких бетонных смесей (именно интенсивно, поскольку снижение величины водоцементного отношения сопровождается заметным ростом величины внутреннего трения, оцениваемого предельным напряжением сдвига и эффективной вязкостью бетонной смеси) [14–16]. Другим более эффективным направлением является применение для получения высокоподвижных (и даже самоуплотняющихся) систем химических добавок пластифицирующего действия, снижающего внутреннее трение, с водоредуцирующим эффектом [17–20]. В рамках первого из направлений технологическая реализация принципа «хорошо уплотнить» применительно к жестким бетонным смесям опиралась на разработанные сложные аппараты формова-

ния бетонных и железобетонных изделий. Такие аппараты и установки реализовывали механизмы уплотнения вибрацией, прессованием, вакуумированием, прокатом и многообразными их сочетаниями [21]. Переход же ко второму направлению обуславливался развитием научного знания в рамках парадигмы, опирающейся на законы физико-химической механики дисперсных систем и коллоидной химии.

С точки зрения уменьшения объема порового пространства в системе новообразований может, в рамках обсуждаемой парадигмы повышения плотности бетона, рассматриваться и механизм заполнения межкристаллитного пространства дополнительно создаваемым объемом кристаллогидратов. Такой эффект обеспечивается применением расширяющихся цементов, самонапряженных бетонов, вяжущих с компенсированной усадкой [22–30]. Сформированное поровое пространство цементного бетона можно заполнить и продуктами альтернативной системы твердения, что лежит в основе идеи технологии гибридных бетонов и основных их разновидностей – бетонополимеров [30–32].

Необходимо отметить, что все средства повышения плотности бетона в рамках рассматриваемой парадигмы формирования структуры бетонов дают эффективный (в геометрической прогрессии их действия) вклад в рост прочности бетона.

Принцип «хорошо перемешать» во влиянии на прочность находит свое отражение через концепт управления неоднородностью строения материала в масштабном диапазоне его структуры от макро- до микроуровня [6, 33]. Однородность-неоднородность строения композита как фундаментальная материаловедческая категория предопределяет, как отмечает, связь с условиями и закономерностями процессов диссипации энергии внешнего воздействия в структуре бетона, характером локализации и концентрации в ней напряжений. И именно это в определяющей мере влияет на потенциал сопротивления разрушению в совокупности с другими концептами и факторами синтеза прочности бетона.

Важно подчеркнуть неоднозначность вопроса о роли однородности-неоднородности в обеспечении прочности бетона. Эта противоречивая неоднозначность, определяемая законами механики разрушения материала, выдвигает задачу нахождения гармонии характеристик однородности-неоднородности структуры при ее синтезе и конструировании [33].

Третьей парадигмой формирования структур бетонов с регулируемой прочностью и деформативностью следует считать управление минерало-морфологическим дисперсным состоянием систем твердения, т. е. матричной субстанции, посредством регулирования соотношения аморфной (скрытокристаллической) и кристаллической (пластинчатой-призматической, волокнисто-игльчатой и др.) фаз новообразований [25]. Это может быть результатом объективной эволюции и / или субъективного модифицирования химического, минералогического, дисперсного и морфологического состава цементного камня [34]. С точки зрения повышенных значений прочности преимущество имеют нано- и микрозернистая структуры с заметным преобладанием кристаллической фазы. Однако в этом случае более существенным оказывается проявление противоречия, связанного с изменением типа разрушения бетона, выражающегося в том, что достигаемый рост прочности бетона не сопровождается аналогичным ростом его предельной растяжимости и трещиностойкости. Бетоны с преобладанием кристаллической фазы новообразований оказываются относительно более хрупкими и менее трещиностойкими.

Управление формированием структуры в рамках рассматриваемой парадигмы состоит, таким образом,



Таблица 1  
**Определяющие принципы и технологические платформы конструирования структур бетонов и управления их сопротивлением разрушению**

Концепты управления сопротивлением разрушению	Парадигмы формирования структуры	Принципы формирования структуры	Технологические решения по управлению механизмами структурообразования	Решения для структурных групп бетонов					Соответствие решения концепту управления сопротивлением разрушению	
				I	II	III	IV	V		
К1 – управление связями между структурными элементами твердой фазы; К2 – управление формированием поля напряжений в материале через однородность состава и структуры; К3 – управление развитием и распространением трещин посредством их торможения	Управление обеспечением повышенной плотности	Сокращение объема порового пространства	Управление зерновым составом заполнителей	+	+	+	+	+	K1, K2	
				–	–/+	–	–	–	K1	
	Управление процессом кристаллизации новообразований	Создание плотнейших упаковок системы сложения заполнителей	Управление условиями твердения	Применение микрозаполнителей	–	–	–	–	–	K1
					–	–	–	–	–	K1
	Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Применение величины водоцементного отношения	–	–	–/+	–	–	K1
					–	–	–/+	–	–	K1
	Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Применение специальных вяжущих (с компенсированной усадкой, расширяющихся, расширяющих)	–	–	–/+	–	–	K1, K2
					–	–	–/+	–	–	K1, K2
	Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Применение объема пор продуктами альтернативной системы твердения	–	–	–/+	–	–	K1, K2, K3
					–	–	–/+	–	–	K1, K2
Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Реализация вводимых структурных элементов как центров кристаллизации	–	–	–/+	–	–	K1, K2	
				–	–	–/+	–	–	K1, K2	
Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Управление условиями твердения	–	–	–/+	–	–	K1, K2	
				–	–	–/+	–	–	K1, K2	
Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Применение модификаторов структуры, в том числе наномодификаторов	–	–	–/+	–	–	K1, K2	
				–	–	–/+	–	–	K1, K2	
Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Энергетическое зонирование структуры ультра- и нанодисперсными структурными элементами – формирование «дробных» структур	–	–	–/+	–	–	K1, K2	
				–	–	–/+	–	–	K1, K2	
Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Применение химически активных минеральных компонентов	–	–	–/+	–	–	K1, K2	
				–	–	–/+	–	–	K1, K2	
Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Переход от макрозернистой структуры бетона к мелко- и микрозернистой	–	–	–/+	–	–	K2	
				–	–	–/+	–	–	K2	
Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Выполнение условий квазиоднородности и конгруэнтности на каждом структурном уровне и качественное осуществление процесса перемешивания	–	–	–/+	–	–	K1, K2	
				–	–	–/+	–	–	K1, K2	
Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Формирование системы сложения и системы роста с учетом сходственных физико-механических характеристик и химической природы	–/+	–/+	–	–	–	K1, K2	
				–	–	–/+	–	–	K1, K2	
Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Применение заполнителей с привитой поверхностью	–	–	–/+	–	–	K1, K2	
				–	–	–/+	–	–	K2	
Управление формированием кристаллитной структуры новообразований в матрице	Сокращение объема порового пространства	Управление процессом кристаллизации новообразований	Применение включений с «чистой» поверхностью	–	–	–/+	–	–	K2	
				–	–	–/+	–	–	K2	

Основные отличительные параметры состава и структуры современных цементных бетонов (структурные группы бетонов)

Характеристики структуры	Значения для групп бетонов				
	I	II	III	IV	V
Количество компонентов смеси	4–5	4–5	6–7	6–8	8–10
Наибольшая крупность зернистых частиц, мм	20–70	20–40	5–20	1–5	1–5
Коэффициент конгруэнтности зернистых частиц	5–1,5	5–2,5	20–5	100–20	100–20
Суммарное количество зернистых частиц в единице объема, шт./м <sup>3</sup>	До 2,2·10 <sup>6</sup>	До 2,1·10 <sup>10</sup>	До 1,2·10 <sup>17</sup>	До 0,8·10 <sup>21</sup>	До 0,8·10 <sup>21</sup>
Суммарное количество вносимой зернистыми частицами поверхностной энергии, кДж/м <sup>3</sup>	18–20	36–40	900–1000	2000–2500	2000–2500
Расход цемента на 1 м <sup>3</sup>	300–400	300–400	400–500	400–800	400–800
Величина водоцементного отношения (В/Ц)	0,4–0,5	0,35–0,45	0,3–0,4	0,18–0,3	0,18–0,3
Критерий цементации – отношение объемов связующего и наполняющего материала как количественная его характеристика, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,25–0,35	0,3–0,4	0,3–0,4	0,5–0,7	0,5–0,7
Степень гидратации цемента в технологическом цикле, СГ, %	85–95	80–85	70–75	60–65	60–65
Средняя плотность связующего вещества (цементного камня – микробетона), кг/м <sup>3</sup>	1650–1800	1800–1950	1950–2050	2300–2350	2300–2350
Объем твердой фазы связующего вещества, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,57–0,65	0,65–0,7	0,7–0,75	0,75–0,79	0,75–0,79
Минералогический состав цементирующего вещества	CSH (I) ≅40%	CSH (I) ≅40%	CSH (I) м55%	CSH (I) ≅65%	CSH (I) ≅65%
Объем микропор связующего вещества, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,35–0,43	0,3–0,35	0,25–0,3	0,21–0,25	0,21–0,25
Относительное содержание пор радиусом менее 20 нм, %	25–30	25–30	35–40	>40	>40

в поиске рационального сочетания объемов кристаллической и аморфной фаз новообразований, сочетания, способного обеспечить высокую прочность и необходимую трещиностойкость материала.

Рассмотренные парадигмы формирования структуры бетонов логично сопрягаются с предложенными тремя концептами управления сопротивлением разрушению материалов. С учетом этого можно составить обобщенную систему, своего рода матрицу принципов, механизмов и технологических решений (технологических платформ) по конструированию и синтезу структур бетонов с задаваемым, в том числе и самым высоким, уровнем сопротивления разрушению (табл. 1).

И можно обозначить необходимые и достаточные условия получения бетонов различного уровня качества, например, подразделив их [35] на пять групп: I – группа рядовых бетонов (с прочностью до 40 МПа), имеющих самый массовый спрос и потребление на строительном рынке; II – группа бетонов повышенной прочности (40–80 МПа), широко применяемых в строительстве высотных зданий и сооружений; III – группа высокопрочных бетонов (80–120 МПа) целевого применения для конструкций зданий и сооружений повышенной ответственности и большого эксплуатационного ресурса; IV – группа особовысокопрочных бетонов (более 120 МПа) специального назначения; V – группа сверхвысокопрочных и высокотрещиностойких бетонов уникального назначения.

Если иметь в виду различие конструкции структур этих групп бетонов, то с полным основанием можно говорить и о пяти соответствующих структурных группах бетонов, идентифицируемых посредством оценки определяющих характеристик и параметров их строения (табл. 2). Обобщенными характеристиками структуры при таком подходе могут являться: параметры квазиоднородности структуры на каждом ее масштабном уровне; тип цементации; интегральные качественные характеристики твердой фазы и порового пространства.

Важным для бетонов рядовой прочности и наиболее актуальным и принципиальным для высокопрочных бетонов вопросом является проблема формирования структуры, способной обеспечить не только требуемый уровень предела прочности при сжатии, но и новый уровень предельной растяжимости, трещиностойкости и в целом высокий уровень конструкционной прочности. Отметим, что этот вопрос является главнейшим, особенно для бетонов мелко- и микроконгломератной структуры, поэтому он заслуживает отдельного рассмотрения, выходящего за рамки данной статьи [35].

Формирование высокой трещиностойкости структуры современных бетонов нами соотносится прежде всего с третьим концептом сопротивления разрушения. В связи с этим укажем лишь общие принципы торможения процесса роста и распространения трещин в материале [6], состоящие:

- в изменении условий концентрации напряжений и снижении их уровня путем пластического течения включений в материале, оказывающихся на пути растущей трещины [30, 36] (некоторая доля энергии, предназначенной для раскрытия трещины, будет в данном случае поглощаться на пластическое деформирование материала);
- в образовании в материале дополнительных границ раздела фаз, которые будут изменять и удлинять траектории фронта распространения трещин (роль границ раздела могут выполнять зерна заполнителя и поры, включения флокул полимерного материала и т. п.);
- в реализации механизмов торможения процесса роста и распространения трещин в материале в рамках возможностей многоуровневого дисперсного армирования структуры бетонов [37–41].

Ставя во главу угла сопротивление разрушению как интегральную конструкционную характеристику бетона, следует давать комплексную оценку не только системы показателей разрушения, характеризующих разрушение как конечный акт, но и анализировать параме-

тры деформирования и разрушения бетона и как развернутый во времени кинетический процесс. В этом случае кроме традиционных методов определения пределов прочности бетонов (при изгибе, растяжении, сжатии), модуля упругости, коэффициента Пуассона требуется использовать и методы и методики испытаний, которые позволяют раскрывать картину деформирования и сопротивление разрушению бетонов в динамике. В их ряду приоритетное место принадлежит методам получения полных равновесных диаграмм деформирования в координатах сила–деформации (ПРДД), методу оценки критического коэффициента интенсивности напряжений при нормальном отрыве, методу акустической эмиссии и особенно методу лазерной голографической интерферометрии (ЛГИ) [35, 38]. Каждый из названных методов вносит свой вклад в получение системной информации по комплексу показателей сопротивления разрушению бетонов. В составе этого комплекса: модуль упругости, коэффициент хрупкости, предельная растяжимость, полная энергия разрушения и ее составляющие (работа упругого деформирования, работа микро- и макротрещинообразования), вязкость разрушения, пределы прочности при изгибе и сжатии, кинетика накопления повреждений и др.

Именно при комплексном анализе характеристик сопротивления разрушению рассматриваемых структурных групп бетонов выявляется нарастающее противоречие между увеличением предела прочности при сжатии и относительным снижением трещиностойкости [24–25] (табл. 3). Последовательный переход по группам бетонов характерных структур от I к IV наряду с повышением предела прочности при сжатии обеспечивает рост начального модуля упругости, увеличение полной работы разрушения, что обусловлено возрастанием как количества физико-химических связей в структуре материала, так и их качества. При этом пределы прочности при растяжении, изгибе не имеют аналогичной динамики роста, вязкость разрушения находится на практически постоянном уровне; составляющие же полной работы разрушения имеют принципиально различные удельные значения. Для бетонов III и особенно IV групп характерно относительно малое накопление повреждений структуры к моменту последующего катастрофического разрушения. Иными словами, имеет место заметное повышение степени хрупкости бетона. Это отмечается на фоне повышения степени однородности структуры (увеличения коэффициента конгруэнтности), увеличения площади границ раздела фаз, изменения минералогического и морфологического состава цементирующих веществ в сторону низкоосновных гидратных соединений, сокращения общего объема пор при существенном увеличении доли нанопор в распределении их по размерам (табл. 2).

В целом переход от структур бетонов I группы к структурам бетонов II и III групп общую картину, феноменологию диссипации и деформирования, как уста-

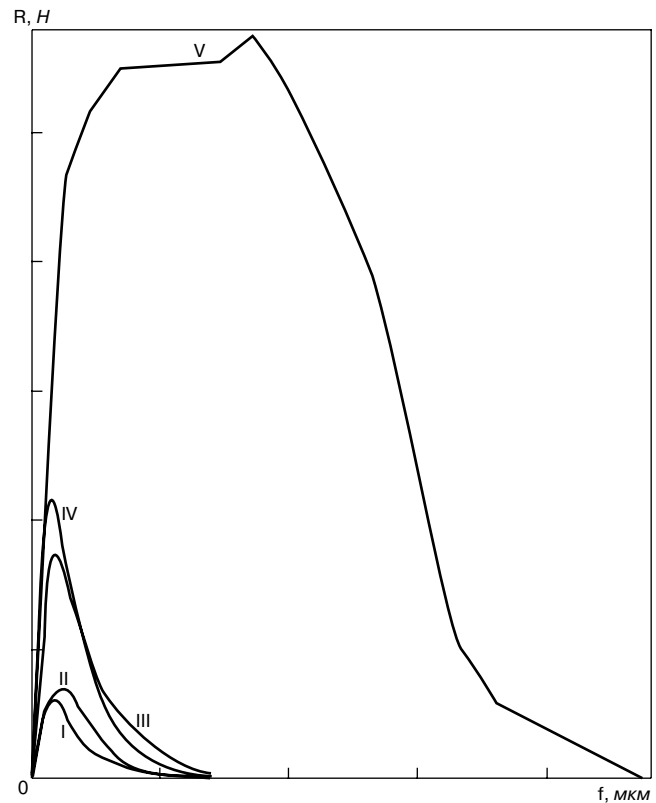


Рис. 3. Полные равновесные диаграммы деформирования бетонов I–V структурных групп

новлено методом лазерной голографической интерферометрии [38], принципиально не меняет. Крупноконгломератная структура этих групп бетонов с ростом прочности при сжатии обеспечивает также и рост трещиностойкости, что объясняется заметным увеличением удельного объема зон активной диссипации энергии [38]. Так, переход от I к III группе структур бетонов сопровождается увеличением вовлеченных в работу хрупкого разрушения силовых связей материала более чем в 2,5 раза. Переход к мелко- и микроконгломератной структуре особовысокопрочных бетонов IV группы предопределяет совершенно иной механизм их разрушения. До уровня напряжений  $\sigma/R$  порядка 0,9 трещин в образце не фиксируется (погрешность метода лазерной голографической интерферометрии на описанном оборудовании не превышает 300 нм; кроме того, для получения более полной картины фиксировались поля перемещений не только фронтальной, но и нижней поверхности образца). Разрушение таких бетонов носит ярко выраженный катастрофический характер. Удельный объем области псевдопластических деформаций оказывается меньше в 15 раз в сравнении с показателями для бетонов III группы. То есть переход от

Таблица 3

Показатели сопротивления разрушению бетонов

Свойства и характеристики процесса разрушения	Значения свойств и характеристик для групп бетонов				
	I	II	III	IV	V
Предел прочности при сжатии, МПа	33–38	48–54	80–90	120–130	130–150
Предел прочности при изгибе, МПа	4,7–4,9	5,7–6,2	9,2–10,1	10,5–11,2	35–40
Модуль упругости, МПа · 10 <sup>3</sup>	32–35	39–41	43–46	48–52	До 60
Вязкость разрушения, МН/м <sup>3/2</sup>	0,85–0,95	1–1,1	1–1,1	0,7–0,8	Более 2,5
Коэффициент Пуассона	0,2–0,21	0,18–0,19	0,16–0,17	0,14–0,15	0,22–0,29
Предельная растяжимость, мм/м	1,1–1,2	1,2–1,3	0,85–0,9	0,7–0,8	До 10
Удельная энергия разрушения, Дж/м <sup>2</sup>	75	105	270	280	Более 9000

Показатели эффективности структур бетонов I–V групп по критериям сопротивления разрушению

Удельные показатели	Значения показателей для групп бетонов				
	I	II	III	IV	V
$R_{изг}/R_{сж}$	0,13–0,14	0,11–0,12	0,09–0,11	0,07–0,09	0,25–0,32
$R_{сж}/кгЦ$	0,1–0,11	0,11–0,12	0,15–0,16	0,21–0,28	0,21–0,28
$W_n/G_{Ic}$	0,16	0,32	0,11	0,12	0,5
$K_{Ic}/кгЦ$	2,5–2,6	2,4–2,5	2,2–2,4	1,6–2	4,5–5,6
$V_t/V$	0,05	0,06	0,12	0,02	0,31
$G_{Ic}/кг$	0,21	0,21	0,53	0,46	13–17

структур бетонов III группы к структурам бетонов IV группы картину деформирования меняет принципиально. При этом уместно отметить, что потенциал прочности структурных связей бетонов IV группы реализуется весьма слабо, составляя не более пятой части от потенциала работы структурных связей бетона III группы. Это следует из сопоставления объемов зон псевдопластических деформаций.

Высокотрещиностойкие бетоны V группы с многоуровневым дисперсным армированием структуры [35, 39–41] имеют существенно отличающийся механизм разрушения: наблюдается многоциклическое перераспределение напряжений с матрицы на армирующие волокна с участием контактной зоны как на стадии микротрещинообразования, так и на стадии макротрещинообразования; формируется не одна магистральная трещина, а сеть мезо- и микротрещин; начало образования такой сети приходится на уровень напряжений  $\sigma/R = 0,4–0,43$ ; область предразрушения не ограничивается узкой локализованной зоной в месте наибольших деформаций, а распространяется практически на весь деформируемый объем материала между опор. В итоге достижение предела прочности не является моментом потери целостности объема материала и не сопровождается его фрагментацией, поскольку совокупность армирующих элементов позволяет сохраниться материалу как единому целому. При дальнейшем деформировании происходит расширение уже образовавшихся трещин, на что затрачивается дополнительная работа. Применительно к таким высокотрещиностойким бетонам можно говорить о принципиально ином типе разрушения и о переходе от хрупкого типа разрушения к псевдопластическому. Такой переход обусловлен существенным изменением геометрии локализованных зон диссипации энергии при разрушении. В результате полные равновесные диаграммы деформирования сверхвысокопрочных бетонов с многоуровневым дисперсным армированием (бетоны V группы) существенно отличаются от таковых для неармированных бетонов (рис. 3) [38].

Переход к структурам бетонов V группы обеспечивает значительный рост всех показателей сопротивления разрушения: при сопоставимом уровне показателей прочности при сжатии (на уровне 140 МПа) может быть обеспечен рост трещиностойкости (вязкости разруше-

ния) в три-четыре раза, предельной растяжимости – на порядок, а полной работы разрушения – более чем в 30 раз. И это все является следствием изменения условий диссипации энергии внешнего воздействия в целенаправленно сконструированной структуре композита [38].

Реализуя технологические платформы, их принципы и механизмы формирования структур бетонов, предлагаемые варианты технологических решений, важно иметь в виду характеристики технико-экономической эффективности для бетонов различных структурных групп и различного потенциала сопротивления разрушению.

Такую эффективность целесообразно оценивать следующими удельными показателями:

- $R_{изг}/R_{сж}$  – отношение предела прочности при изгибе к пределу прочности при сжатии;
- $R_{сж}/кгЦ$  – удельная прочность при сжатии, отнесенная к расходу цемента, МПа/кг;
- $W_n/G_{Ic}$  – доля работы микротрещинообразования в общей работе разрушения;
- $K_{Ic}/кгЦ$  – удельная вязкость разрушения, отнесенная к расходу цемента, кН/м<sup>3/2</sup>/кг;
- $V_t/V$  – удельный объем материала в зоне локализации псевдопластических деформаций;
- $G_{Ic}/кг$  – удельная работа разрушения, отнесенная к расходу цемента, Дж/м<sup>2</sup>.

Изменение характера деформирования и разрушения бетонов, достигаемое целенаправленным конструированием структуры, предопределяет эффективность его работы по критериям сопротивления разрушению (табл. 4).

Изложенным комплексным рассмотрением проблемы формирования структуры современных бетонов обеспечивается реализация возможностей системно-структурного методологического подхода к управлению потенциалом их сопротивления разрушению, их конструкционным потенциалом, расширяются основы компьютерного [42] конструирования структур композитов.

Авторам представлялось важным изложить это в формате единой публикации, определяющей предпосылки обсуждения вопросов технологических платформ производства бетонов, фундаментальной научной базы этих платформ, технических параметров их реализации и экономической эффективности.

#### Список литературы

1. Баженов Ю.М., Фаликман В.Р., Булгаков Б.И. Наноматериалы и нанотехнологии в современной технологии бетонов // *Вестник МГСУ*. 2012. № 12. С. 125–133.
2. Берг О.Я. *Физические основы теории прочности бетона и железобетона*. М.: Госстройиздат, 1962. 96 с.
3. Зайцев Ю.В. *Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушений*. М.: Стройиздат, 1982. 196 с.

#### References

1. Bazhenov Yu.M., Falikman V.R., Bulgakov B.I. Nanomaterials and nanotechnology in modern concrete technology. *Vestnik MGSU*. 2012. № 12, pp. 125–133 (In Russian).
2. Berg O.Ya. *Fizicheskie osnovy teorii prochnosti betona i zhelezobetona* [Physical basis of the theory of strength of concrete and reinforced concrete]. M.: Gosstroizdat, 1962. 96 p. (In Russian).
3. Zaitsev Yu.V. *Modelirovanie deformatsii i prochnosti betona metodami mekhaniki razrushenii* [Simulation of defor-

4. Карпенко Н.И. *Общие модели механики бетона*. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
5. Лермит Р. *Проблемы технологии бетона*. М.: Стройиздат, 1959. 294 с.
6. Чернышов Е.М. Управление сопротивлением конгломератных строительных композитов разрушению (основные концепции и вопросы теории) // *Вестник гражданских инженеров*. 2009. № 3 (20). С. 148–159.
7. Дересевич Г. Механика зернистой среды. В сб. «Проблемы механики». Вып. 3. М., 1961.
8. Кандауров И.И. *Механика зернистых сред и ее применение в строительстве*. М.: Стройиздат, 1966. 320 с.
9. Москвин В.Н., Тринкер Б.Д. Подбор состава бетона с учетом поверхности и пустотности заполнителей. В кн. *Исследования. Бетоны и вяжущие*. М.: Госстройиздат, 1955.
10. Макридин Н.И., Королев Е.В., Максимова И.Н. *Структурообразование и конструкционная прочность цементных композитов*. Москва: МГСУ, 2013. 152 с.
11. Белов В.В., Смирнов М.А. Формирование оптимальной макроструктуры строительной смеси // *Строительные материалы*. 2009. № 9. С. 88–90.
12. Куннос Г.Я. *Вибрационная технология бетона*. Л.: Стройиздат, 1967. 168 с.
13. Юнг В.Н. *Основы технологии вяжущих веществ*. М.: Промстройиздат, 1951. 547 с.
14. Скрамтаев Б.Г. *Теория прочности бетона. Новые виды бетонов*. Харьков: Гостехнаучиздат Украины, 1934. 56 с.
15. Abrams D.A. *Design of concrete mixtures*. Bulletin 1: Structural Materials Research Laboratory. Chicago: Lewis Institute, 1918.
16. Bolomey J. Deformation elastiques, plastiques et de retrait de guelguesbetons // *Bulleten technique de la Suisse Romande*. 1942. № 15. ann. 68.
17. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. *Добавки в бетон*. М.: Стройиздат, 1989. 188 с.
18. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Коротких Д.Н. и др. Приложения нанохимии в технологии твердофазных строительных материалов: научно-инженерная проблема, направления и примеры реализации // *Строительные материалы*. 2008. № 2. С. 32–36.
19. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. *Модифицированные высококачественные бетоны*. М.: АСВ, 2006. 368 с.
20. Батраков В.Г., Батраков В.Г., Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Силина А.В. Модифицированные бетоны в практике современного строительства // *Промышленное и гражданское строительство*. 2002. № 9. С. 23–25.
21. Гусев Б.В., Зазимко В.Г. *Вибрационная технология бетона*. Киев: Будівельник, 1991. 158 с.
22. Кузнецова Т.В. *Алюминатные и сульфоалюминатные цементы*. М.: Стройиздат, 1986. 208 с.
23. Ларионова З.М. *Образование гидросульфоалюмината кальция и его влияние на основные свойства быстротвердеющего цемента*. М.: НИИЖБ, 1959. 64 с.
24. Пинус Э.Р. Контактные слои цементного камня в бетоне и их значение. В кн. *Структура, прочность и деформации бетонов* / Под ред. А.Е. Десова. М.: Стройиздат, 1966. С. 290–293.
25. Шейкин А.Е. *Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня*. М.: Стройиздат, 1974. 192 с.
26. Бейлина М.И. Напрягающий цемент на основе сульфоалюминатного клинкера // *Исследование и применение напрягающего бетона и самонапряженных железобетонных конструкций*: Сб. научных трудов НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1984. С. 15–23.
27. Михайлов В.В., Звездин О.А. Влияние дисперсного армирования минеральными волокнами на свойства и прочность бетона [методы трещинообразования и методы трещинообразования]. М.: Стройиздат, 1982. 196 p. (In Russian).
4. Karpenko N.I. *Obshchie modeli mekhaniki betona* [General mechanics model of concrete]. M.: Stroiizdat, 1996. 416 p. (In Russian).
5. Lermit R. *Problemy tekhnologii betona* [Problems of Concrete Technology]. M.: Stroiizdat, 1959. 294 p. (In Russian).
6. Chernyshov E.M. Manage resistance conglomerate construction composites destruction (basic concepts and problems of the theory). *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2009. No. 3 (20), pp. 148–159 (In Russian).
7. Deresevich G. Mechanics of a granular medium. *V sb. «Problemy mekhaniki»*. MY. 3. M. 1961 (In Russian).
8. Kandaurov I.I. *Mekhanika zernistykh sred i ee primeneniye v stroitel'stve*. M.: Stroiizdat, 1966. 320 p. (In Russian).
9. Moskvina V.N., Trinker B.D. Concrete mix, taking into account surface and emptiness aggregates. *V kn. Issledovaniya. Betony i vyazhushchie*. M. Gosstroizdat, 1962. (In Russian).
10. Makridin N.I., Korolev E.V., Maksimova I.N. *Strukturoobrazovanie i konstruktionsnaya prochnost' tsementnykh kompozitov* [Structure formation and structural strength cementitious composites], M: MGSU, 2013. 152 p. (In Russian).
11. Belov V.V., Smirnov M.A. Formation of optimal macrostructure mortar. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 9, pp. 88–90 (In Russian).
12. Kunnos G.Ya. *Vibratsionnaya tekhnologiya betona*. L.: Stroiizdat, 1967. 168 p. (In Russian).
13. Yung V.N. *Osnovy tekhnologii vyazhushchikh veshchestv*. M.: Promstroizdat. 1951. 547 p. (In Russian).
14. Skramtaev B.G. *Teoriya prochnosti betona. Novye vidy betonov*. Khar'kov: Gostekhnauchizdat Ukrainy, 1934. 56 p. (In Russian).
15. Abrams D.A. *Design of concrete mixtures*. Bulletin 1: Structural Materials Research Laboratory. Chicago: Lewis Institute, 1918.
16. Bolomey J. Deformation elastiques, plastiques et de retrait de guelguesbetons. *Bulleten technique de la Suisse Romande*. 1942. No. 15. ann. 68.
17. Ratino V.B., Rozenberg T.I. *Dobavki v beton*. M.: Stroiizdat, 1989. 188 p. (In Russian).
18. Chernyshov E.M., Artamonova O.V., Korotkikh D.N. i dr. anochemistry applications in solid-state technology of building materials science and engineering challenge, direction and implementation examples. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 2, pp. 32–36 (In Russian).
19. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. *Modifitsirovannyye vysokokachestvennyye betony*. M.: ASV, 2006. 368 p. (In Russian).
20. Batrakov V.G., Batrakov V.G., Kaprielov S.S., Sheinfel'd A.V., Silina A.V. Modified concrete in the practice of modern construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2002. No. 9, pp. 23–25 (In Russian).
21. Gusev B.V., Zazimko V.G. *Vibratsionnaya tekhnologiya betona*. Kiev: Budivel'nik, 1991. 158 p. (In Russian).
22. Kuznetsova T.V. *Alyuminatnyye i sul'foalyuminatnyye tsementy*. M.: Stroiizdat, 1986. 208 p. (In Russian).
23. Larionova Z.M. *Obrazovanie gidrosul'foalyuminata kal'tsiya i ego vliyanie na osnovnyye svoystva bystroverdeyushchego tsementa*. M.: NIIZhB, 1959. 64 p. (In Russian).
24. Pinus E.R. Contact layers of cement paste in concrete and their meaning. *V. kn. Struktura, prochnost' i deformatsii betonov* / Edit. Desova A.E. M.: Stroiizdat, 1966, pp. 290–293 (In Russian).
25. Sheikin A.E. *Struktura, prochnost' i treshchinostoykost' tsementnogo kamnya*. M.: Stroiizdat, 1974. 192 p. (In Russian).
26. Beilina M.I. Straining based cement sulphoaluminate clinker. *Issledovanie i primeneniye napryagayushchego betona i samonapryazhennykh zhelezobetonnykh konstruksitsii*. *Sbornik nauchnykh trudov NIIZhB*. M.: Stroiizdat, 1984, pp. 15–23 (In Russian).



- напрягающего бетона // *Исследование и применение напрягающего бетона и самонапряженных железобетонных конструкций*: Сб. научных трудов НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1984. С. 39–47.
28. Звездин О.А., Мирошниченко К.К., Пунагин В.Н. Составы, компенсирующие усадку, на основе напрягающего цемента // *Бетон и железобетон*. 1989. № 4. С. 33–34.
  29. Лейрих В.Э., Прохоров В.Х., Смирнов Б.И. Влияние условий образования и кинетики кристаллизации гидросульфатоалюмината кальция на процессы расширения при твердении расширяющихся цементов // *Труды ВНИИСТ*. 1969. Вып. 22. С. 57–70.
  30. Несветаев Г.В., Потапова Ю.И. Составы для инъектирования с двухстадийным расширением // *Наукоедение. Интернет-журнал*. 2013. № 3. С. 128. <http://naukovedenie.ru/PDF/28trgsu313.pdf>
  31. Баженов Ю.М. *Бетонополимеры*. М.: Стройиздат, 1983. 472 с.
  32. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П.Г. *Структурообразование и разрушение цементных бетонов*. Уфа: [б. и.], 2002. 371 с.
  33. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И., Makeev A.I. *Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов: вопросы материаловедческого обобщения и развития теории* / Под общ. ред. Е.М. Чернышова. Воронеж: ВГАСУ, 2012. 98 с.
  34. Шуров А. Ф., Ершова Т. А. Природа хрупкого разрушения цементного камня. В сб. *Физика хрупкого разрушения*. Ч. 2. Киев, 1976. С. 99–102.
  35. Коротких Д.Н. Закономерности разрушения структуры высокопрочных цементных бетонов на основе анализа полных равновесных диаграмм их деформирования. Ч. 1 // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 26. С. 56–67.
  36. Комохов П.Г., Пухаренко Ю.В., Беленцов Ю.А., Харитонов А.М. Повышение трещиностойкости бетонных и железобетонных конструкций за счет армодемпфирования // *Промышленное и гражданское строительство*. 2008. № 4. С. 24–26.
  37. Пухаренко Ю.В., Голубев В.Ю. Высокопрочный сталефибробетон // *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. № 9. С. 40–41.
  38. Чернышов Е. М., Коротких Д. Н. Феноменология локализованных зон активной диссипации энергии при деформировании и разрушении современных бетонов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31. Ч. 2. С. 212–222.
  39. Коротких Д.Н. Многоуровневое дисперсное армирование структуры бетонов для повышения их вязкости разрушения // *Вестник гражданских инженеров*. 2009. № 3. С. 126–128.
  40. Коротких Д.Н., Чернышов Е.М. Наноармирование структуры цементного камня кристаллами этрингита как средство повышения трещиностойкости бетонов // *Научный вестник Ворон. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура*. 2008. № 1. С. 67–75.
  41. Коротких Д.Н. Дисперсное армирование структуры бетона при многоуровневом трещинообразовании // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 96–99.
  42. Баженов Ю.М., Воробьев В.А. Задачи компьютерного материаловедения строительных композитов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2000. № 12. С. 25.
  27. Mikhailov V.V., Zvezdin O.A. Effect of particulate reinforcement on the properties of mineral fibers exerting concrete. *Issledovanie i primeneniye napryagayushchego betona i samonapryazhennykh zhelezobetonnnykh konstrukt-sii. Sbornik nauchnykh trudov NIIZhB*. М.: Stroiiizdat, 1984, pp. 39–47 (In Russian).
  28. Zvezdin O.A., Miroshnichenko K.K., Punagin V.N. Formulations compensating shrinkage of cement-based straining. *Beton i zhelezobeton*. 1989. No. 4, pp. 33–34 (In Russian).
  29. Leirikh V.E., Prokhorov V.Kh., Smirnov B.I. Influence of the conditions of formation and crystallization kinetics of hydro-sulfoaluminate calcium expansion during solidification processes of expanding cements. *Trudy VNIIST*. 1969. No. 22, pp. 57–70 (In Russian).
  30. Nesvetaev G.V., Potapova Yu.I. Formulations for injection with two-stage expansion. *Naukovedenie. Internet-zhurnal*. 2013. No. 3, pp. 128. <http://naukovedenie.ru/PDF/28trgsu313.pdf> (In Russian).
  31. Bazhenov Yu.M. *Betonopolimery*. М.: Stroyizdat, 1983. 472 p. (In Russian).
  32. Babkov V.V., Mokhov V.N., Kapitonov S.M., Komokhov P.G. *Strukturoobrazovanie i razrushenie tsementnykh betonov*. Ufa: 2002. 371 p. (In Russian).
  33. Chernyshov E.M., D'yachenko E.I., Makeev A.I. *Neodnorodnost' struktury i soprotivlenie razrusheniyu konglomeratnykh stroitel'nykh kompozitov: voprosy materialovedcheskogo obobshcheniya i razvitiya teorii* / Edit. Chernyshova E.M. Voronezh: VGASU, 2012. 98 p. (In Russian).
  34. Shchurov A.F., Ershova T.A. Nature of brittle fracture of cement stone. *Vsb. Fizika khrupkogo razrusheniya*. Part 2. Kiev, 1976, pp. 99–102 (In Russian).
  35. Korotkikh D.N. Laws governing the structure of high-strength cement concrete on the basis of analysis of the total equilibrium diagrams of their deformation (part 1). *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2012. No. 26, pp. 56–67 (In Russian).
  36. Komokhov P.G., Pukharenko Yu.V., Belentsov Yu.A., Kharitonov A.M. Increased fracture toughness of concrete and reinforced concrete structures due to the damping. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2008. No. 4, pp. 24–26 (In Russian).
  37. Pukharenko Yu.V., Golubev V.Yu. High-strength steel fiber-reinforced concrete. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2007. No. 9, pp. 40–41 (In Russian).
  38. Chernyshov E. M., Korotkikh D. N. Phenomenology of localized areas of active energy dissipation during deformation and fracture of modern concrete. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. No. 31. Part 2, pp. 212–222 (In Russian).
  39. Korotkikh D.N. Multilevel particulate reinforcement of concrete structures to improve their fracture toughness. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2009. No. 3 (20), pp. 126–128 (In Russian).
  40. Korotkikh D.N., Chernyshov E.M. Nanoreinforcement cement stone structure ettringite crystals as a means of increasing the fracture toughness of concrete. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2008. No. 1, pp. 67–75 (In Russian).
  41. Korotkikh D.N. Dispersed reinforcement concrete structure with multilevel cracking. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2011. No. 3, pp. 96–99 (In Russian).
  42. Bazhenov Yu.M., Vorob'ev V.A. Problem of computer materials construction composites. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2000. No. 12, p. 25 (In Russian).

УДК 691.32

В.В. БАБКОВ<sup>1</sup>, проф., д-р техн. наук; С.Н. СЕЛИВЕРСТОВ<sup>2</sup>, технический директор,  
Р.А. ЮМАГУЛОВ<sup>2</sup>, начальник отдела перспективного развития

<sup>1</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет (450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

<sup>2</sup> Холдинговая компания «БАШБЕТОН» (450027, Республика Башкортостан, г. Уфа, Индустриальное шоссе, 4)

## Опыт производства и применения железобетонных преднапряженных плит серии ПДН Холдинговой компании «БАШБЕТОН» в строительстве дорог Западной Сибири

Описываются проблемы и возможные пути совершенствования конструкции дорожной железобетонной преднапряженной плиты ПДН с целью повышения трещиностойкости в условиях эксплуатации. Освещаются результаты визуального обследования десятков километров дорог с покрытием из сборных железобетонных плит в Западной Сибири. Описываются наиболее часто встречающиеся дефекты и повреждения в плитах. В целях исследования причин образования трещин при эксплуатации выполнен анализ напряженно-деформированного состояния дорожных плит в программно-вычислительном комплексе ANSYS 14.0. Выявлено, что существующая схема расположения рабочей напрягаемой арматуры по серии 3.503.1-91 (вып. 1) способствует развитию поперечных напряжений растяжения в торцевой части плит и в зонах, примыкающих к ней, и может инициировать раскрытие продольных трещин в процессе эксплуатации в условиях многократных повторных воздействий, характерных для условий эксплуатации дорожной плиты. Предложено конструктивное решение новой плиты ПДНмAtV7, основанное на оптимизации армирования с целью снижения поперечных растягивающих напряжений у торцевых плоскостей плит от усилия предварительного обжатия путем более равномерного расположения рабочей напрягаемой арматуры по сечению. Данное решение запатентовано и внедрено в производство. Достигнуто повышение несущей способности и трещиностойкости дорожной плиты ПДНмAtV7, что актуально в связи с увеличением грузоподъемности транспорта и интенсивности автомобильных перевозок и отвечает требованиям нового ГОСТа к дорогам с повышенными автомобильными нагрузками.

**Ключевые слова:** сборные железобетонные плиты, дорожные плиты, дорожное строительство.

V.V. BABKOV<sup>1</sup>, Professor, Doctor of Technical Sciences, S.N. SELIVERSTOV<sup>2</sup>, Technical Director,

R.A. YUMAGULOV<sup>2</sup>, Head of Prospective Development Department

<sup>1</sup> Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov Street, 450062, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

<sup>2</sup> «BASHBETON» Holding Company (4, Industrial'noye Hwy, 450027, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

### Experience in production and use of reinforced concrete pre-stressed slabs of PND series of «BASHBETON» Holding Company for construction of roads in Western Siberia

Problems and possible ways of enhancement of a structure of a road reinforced concrete pre-stressed slab PND with the purpose to increase its crack resistance under operating conditions are described. Results of the visual inspection of tens of kilometers of roads paved with precast concrete slabs in Western Siberia are reported. The most frequently occurring defects and damages in the slabs are described. To study the reasons for cracks formation in the course of operation, the analysis of stressed-strained state of slabs has been made with use of the programming and computing suite ANSYS 14.0. It is revealed that the existing scheme of location of operating pre-stressing reinforcement of 3.503.1-91(1) favors the development of transverse tensile stress in the slab's end part and in zones adjoining it and may initiates the opening of longitudinal cracks in the process of operation under conditions of multiple, repeated impacts typical for operational conditions of the road slab. A structural conception of a new slab PNDmAtV7 based on the optimization of reinforcement with the purpose of reducing transverse tensile stresses near end surfaces of slabs caused by the preliminary squeezing by means of more uniform location of operating pre-stressing reinforcement along the cross-section is proposed. This solution is patented and implemented in the production. Improvement of bearing capacity and crack resistance of the road slab PNDmAtV7 has been achieved; it is very actual in connection with increasing the carrying capacity of transport and intensity of trucking and meets the requirement of a new GOST with increased motor-car loading.

**Keywords:** precast reinforced concrete slabs, road slabs, road construction.

Около 65% территории Российской Федерации, включая Уральский регион, Западную и Восточную Сибирь, Крайний Север и Забайкалье, находится в условиях резко континентального климата. Такие климатические условия характеризуются большими амплитудами колебаний годовых и суточных температур, продолжительными холодными зимами. Указанные регионы характеризуются сложными гидрогеологическими условиями для строительства и эксплуатации дорог. Следует отметить, что на данной территории Российской Федерации находится около 80% разведанных и эксплуатируемых месторождений углеводородного сырья. Поэтому для освоения новых и эксплуатации существующих месторождений необходимо развивать дорожную сеть.

В дорожном строительстве России преобладают дороги с асфальтобетонным покрытием. Доля дорог с покрытием из сборных железобетонных плит не превышает 1,5%. Это очень низкий показатель, учитывая суровые условия эксплуатации большей территории

России. В странах Западной Европы и США доля дорог с бетонным покрытием составляет около 40% и выше.

Строительство дорог с использованием железобетонных сборных плит в СССР активизировалось в 60–70-е годы XX века при освоении нефтеносных месторождений Западной Сибири и в настоящее время в газо- и нефтеносных регионах наблюдается устойчивый спрос на данный вид продукции. Дороги из сборных железобетонных плит доказали свои преимущества в экстремальных условиях северных болот, опыт эксплуатации которых имеется с 60-х гг. Каковы преимущества дорог с применением сборных железобетонных элементов?

Покрытия из сборных железобетонных плит менее требовательны к нижним слоям дорожной одежды и более долговечны по сравнению с покрытиями из асфальтобетона, а также достаточно просты в ремонте. Сборные железобетонные плиты могут использоваться в районах с различными климатическими условиями при температуре до -55°C. Для районов строительства,



**Рис. 1.** Типы грузового транспорта 70-х гг. и в настоящее время: а – грузоподъемность автомобиля КАМАЗ 10 т; б – автомобиль SCANIA грузоподъемностью 25 т

где отсутствуют карьеры по добыче щебня, цементные заводы и предприятия товарного бетона, гораздо проще привезти готовые железобетонные плиты.

В технологии производства дорожных плит используются качественные цементы, удовлетворяющие дополнительным требованиям для транспортного строительства, высокопрочные арматурные стали, современные химические добавки, мытые фракционированные песок и щебень. Армирование верхней и нижней зон дорожных плит симметричное, поэтому данные конструкции приспособлены к восприятию знакопеременных многоцикловых нагрузок от грунтов и транспорта. Благодаря такому двустороннему восприятию нагрузок дорожные плиты применяются для обустройства дорог в районах со сложными гидрогеологическими условиями, а также при сооружении площадок, контейнерных терминалов, для мощения территорий логистических комплексов. Следует отметить, что используемая конструкция дорожной плиты разрабатывалась в середине прошлого столетия, когда грузовой транспорт имел значительно меньшую грузоподъемность. В настоящее время грузоподъемность транспорта и масса перевозимых грузов возросли многократно (рис. 1), а конструкция дорожной плиты осталась прежней.

Многолетняя эксплуатация железобетонных плит в покрытиях дорожных одежд выявила также и ряд недостатков. В процессе эксплуатации в массиве плит возникают трещины с выходом их на поверхность. В качестве отсыпки дорожной одежды в северных районах ис-

пользуются мелкие пылеватые пески. При эксплуатации часть песка в зоне стыка плит выплескивается с водой наружу и под покрытием в этих местах образуются пустоты (рис. 2). Очень часто пустоты под плитами образуются на стадии строительства при неправильном монтаже плит. В таком случае при приложении реальных эксплуатационных нагрузок, зачастую значительно превышающих нормативные, схема работы плит не соответствует расчетной и в сечении плиты возможно возникновение усилий, способствующих возникновению и раскрытию трещин (рис. 3).

Специалистами ХК «БАШБЕТОН», компании ТНК ВР, кафедры «Строительные конструкции» Уфимского государственного нефтяного технического университета с участием профессора В.В. Бабкова осенью 2012 г. проведено выборочное визуальное обследование нескольких десятков километров эксплуатируемых дорог с покрытием из железобетонных предварительно напряженных плит ПДН. В объем обследованных плит вошли и плиты производства ОАО «Мелеузовский завод ЖБК» предприятия ХК «БАШБЕТОН», имеющего более 50-летний опыт производства железобетонных изделий для транспортного строительства. Возраст плит на обследуемых участках составил свыше 30 лет. Наиболее встречающимся дефектом являлись трещины между стержнями напрягаемой арматуры, по центру плит и трещины, «отсекающие» угол. Наиболее часто трещины наблюдались на плитах в средней части дорожного полотна при трехрядном их расположении, на которые



**Рис. 2.** Отсутствие опирания края плиты на основание из-за вымывания песка



**Рис. 3.** Трещины в плитах



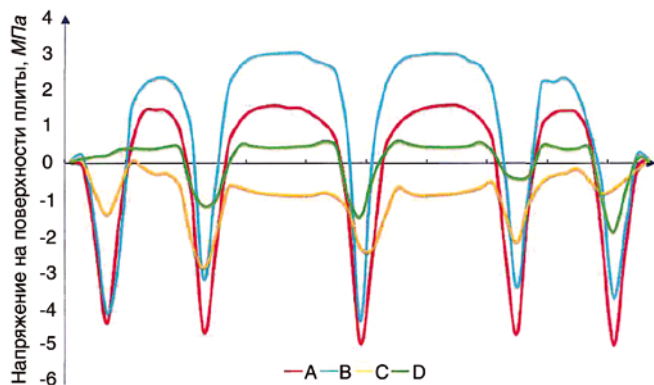


Рис. 4. Графики напряженного состояния по ширине плиты. В торце – линии А и В, в сечении на расстоянии 0,6 м от торца – линии С и D

приходится одновременное воздействие нагрузки от транспортных потоков обоих направлений.

В программном комплексе ANSYS 14.0 был выполнен анализ напряженно-деформированного состояния дорожной плиты ПДН в целях исследования вероятности образования трещин при ее эксплуатации. В результате проведенной работы выявлено, что принятые в серии расстояния между тремя средними напрягаемыми стержнями в 540 мм не обеспечивают равномерности распределения напряжений сжатия в бетоне по ширине сечения плиты. Существующая схема расположения рабочей напрягаемой арматуры по серии 3.503.1–91 (вып. 1) способствует развитию поперечных напряжений растяжения  $\sigma_y$  в торцевой части плит и может инициировать раскрытие продольных трещин в процессе эксплуатации (рис. 4).

Предложено оптимизировать схему армирования дорожных плит ПДН таким образом, чтобы минимизировать поперечные растягивающие напряжения у торцевых плоскостей плит от усилия предварительного обжатия путем более равномерного расположения рабочей напрягаемой арматуры по сечению. При этом блокировать развитие поперечных растягивающих напряжений и продольных трещин ненапрягаемая арматура не может, так как при нагружении этой ненапрягаемой арматуры на уровне ~ 15% от ее расчетных сопротивлений уже будет исчерпана предельная растяжимость бетона.

В запатентованной конструкции дорожной плиты типа ПДНмАтV7 принято 7 рядов предварительно напрягаемой рабочей арматуры без увеличения диаметра рабочих стержней и с увеличением усилия предвари-

тельного обжатия плиты. В результате была получена конструкция по несущей способности, практически сравнимая с плитой для аэродромных покрытий – ПАГ14, но экономически более выгодная. Повышение несущей способности плит в современных условиях эксплуатации дорог актуально в связи с увеличением грузоподъемности транспорта и интенсивности автомобильных перевозок. По сравнению с плитами ПДН серии 3.503.1–91 (вып. 1) плита ПДНмАтV7 за счет улучшения показателей конструкции обладает более высокой трещиностойкостью при идентичных прочностных показателях бетона, а технико-экономические показатели дорожного покрытия выше в связи с большим эксплуатационным ресурсом и повышенной несущей способностью дорожного полотна.

#### Технические характеристики плиты ПДНмАтV7

Размеры, мм .....	140×2000×6000
Класс бетона по прочности при сжатии .....	В 27,5
Класс бетона на растяжение при изгибе .....	$B_{btb}$ 3,6
Марка бетона .....	350
Марка морозостойкости, не менее .....	F300
Нормативная нагрузка .....	100 кН
для одноколенной (многоколенной) опоры .....	(170 кН)
Масса, кг .....	4200

Несомненно, в настоящее время имеются более перспективные предложения по технологии изготовления дорожных плит с переходом на безопалубочные способы формования и технологии с передачей натяжения арматуры на бетон непосредственно в готовом уложенном покрытии. Но под эти перспективные направления в настоящее время не разработана нормативно-техническая и проектная документация, отсутствует необходимое оборудование, не разработаны технологии монтажа. Все это требует дополнительных финансовых вложений. Плиты ПДНмАтV7 по своим геометрическим размерам, конструкции монтажно-стыковых изделий и технологии изготовления не отличаются от плит серии 3.503.1–91 (вып. 1), поэтому строительство дорожного полотна с их использованием для заказчиков не будет в чем-то технически проблематичным.

Предприятия холдинговой компании «Башбетон» имеют многолетний опыт производства дорожных плит, а компания в целом является одним из лидеров поставок данных конструкций в регионы Западной Сибири. Плита ПДНмАтV7 – это шаг навстречу возросшим требованиям эксплуатации и к построению долговечных партнерских отношений.



Холдинг «БАШБЕТОН» — вертикально-интегрированный холдинг с успешной деятельностью более 10 лет в отрасли производства строительных материалов и конструкций. Включает в себя пять заводов в Республике Башкортостан.

#### Продукция для разных сфер:

- Железобетонные и металлические конструкции для строительства объектов энергетики;
- Железобетонные и металлические конструкции для электрификации железных дорог;
- Железобетонные конструкции для дорожного и трубопроводного строительства в нефтегазовом секторе;
- Железобетонные конструкции для строительства аэродромов, грузовых терминалов, площадок под большегрузную технику;
- Железобетонные и металлические конструкции для промышленно-гражданского строительства;
- Металлоформы и оснастка для производителей ЖБК.

450027, Республика Башкортостан, г. Уфа, Индустриальное шоссе, 4  
 Тел./факс: +7 (347) 240-40-40 Тел.: +7 (347) 242-04-30; +7 (347) 246-02-59  
 www.bashbeton.ru E-mail: bashbeton@bashbeton.ru

Реклама

УДК 693.547.14

В.Г. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук, А.Ф. БУРЬЯНОВ, д-р техн. наук,  
М.С. ЕЛСУФЬЕВА, инженер

Московский государственный строительный университет (129337, Москва, Ярославское ш., 26)

## Особенности производства сталефибробетонных изделий и конструкций

Представлены результаты исследований по оптимизации тепловлажностной обработки сталефибробетонных изделий. Экспериментально определены фактические коэффициенты теплопроводности сталефибробетона, которые составили 0,8–3,6 Вт/(м·°С) при различных коэффициентах объемного армирования и геометрическом факторе стальной фибры. Выявлены механизмы распределения тепловых потоков и численные значения температурных градиентов, возникающих в сталефибробетонах различных составов при тепловлажностной обработке. Установлена зависимость снижения прочности при сжатии сталефибробетона в возрасте 28 сут от температурного градиента, возникающего по сечению композита при тепловлажностной обработке. Определено, что деструктивные процессы, приводящие к снижению прочности, возникают в сталефибробетоне при значениях температурного градиента более 0,6 °С/см. На основании установленных зависимостей разработаны рекомендации по определению оптимальных режимов тепловлажностной обработки изделий из сталефибробетона при разработке технологии изготовления массивных монолитных и специальных конструкций из сталефибробетона, твердеющих в естественных условиях.

**Ключевые слова:** сталефибробетон, тепловлажностная обработка, коэффициент теплопроводности, температурный градиент.

V.G. SOLOVYEV, Candidate of Technical Sciences, A.F. BURYANOV, Doctor of Technical Sciences, M.S. YELSUFYEVA, Engineer  
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Features of production of steel-fiber-concrete products and structures

Results of the research in optimization of steam treatment of steel-fiber-concrete products are presented. The actual heat conductivity coefficients of steel-fiber concrete, which are 0.8–3.6 W/(m·°C) at different coefficients of three-dimensional reinforcement and the geometrical factor of steel fiber, are experimentally determined. Mechanisms of the distribution of thermal flows and the numerical values of temperature gradients arising in steel-fiber concretes of different compositions in the process of heat and moisture treatment are revealed. The dependence of reducing the compressive strength of steel-fiber concrete under the age of 28 days on the temperature gradient arising along the section of the composite under the steam treatment. It is established that the destructive processes, which lead to the strength reduction, occur in steel-fiber concrete when the temperature gradient is over 0.6 °C/cm. On the basis of the established dependencies, recommendations for defining optimal modes of heat and humidity treatment of steel-fiber-concrete products when developing the manufacturing technology of massive monolithic and special structures made of steel-fiber concrete and hardening under natural conditions have been developed.

**Keywords:** steel-fiber concrete, heat and humidity treatment, heat conductivity coefficient, temperature gradient.

Роль дисперсно-армированных композиционных материалов, а том числе бетонов, возрастает с каждым годом. Данная тенденция характеризуется появлением новых видов фибры, большого количества работ по изучению и внедрению композиционной арматуры, изготавливаемой из стеклянных, базальтовых и других волокон. При этом традиционный композиционный материал сталефибробетон еще не исчерпал возможности, как совершенствования технологии производства, так и изучения физико-механических, теплотехнических и эксплуатационных свойств. Развитие нормативной базы в области проектирования и изготовления сталефибробетонных изделий и конструкций создает благоприятные условия для более интенсивного внедрения данного композита в строительной отрасли [1].

Очевидным эффектом, возникающим при введении стальных волокон в бетонную матрицу является

существенное изменение его теплофизических свойств, обусловленной различной природой смешиваемых материалов. Анализ теплотехнических свойств сталефибробетона, а также его исходных компонентов – мелкозернистого бетона и стали, полученных расчетным методом, приведен в табл. 1 [2]. Данные табл. 1 показывают, что коэффициент теплопроводности сталефибробетона по сравнению с обычным мелкозернистым бетоном, в зависимости от коэффициента дисперсного армирования ( $\mu$ , %), увеличивается от 1,5 до 4,4 раз. При этом удельная теплоемкость сталефибробетона изменяется незначительно, а теплоусвоение увеличивается в 2,3 раза.

Однако расчетные данные, приведенные в табл. 1, не в полной мере соответствуют реальным теплотехническим свойствам сталефибробетона, так как при их определении принималось упрощение, что бесконечно ма-

Таблица 1

Теплотехнические свойства сталефибробетона

Свойства Материал	Плотность, $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость, $c_0$ , кДж/(кг·°С)	Коэффициент теплопроводности $\lambda_0$ , Вт/(м·°С)	Теплоусвоение $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Мелкозернистый бетон	1800	0,84	0,76	9,6
Сталь	7850	0,48	58	126,5
Сталефибробетон, $\mu=0,5\%$	1830	0,84	1,05	11,9
Сталефибробетон, $\mu=2,5\%$	1950	0,83	2,19	17,6
Сталефибробетон, $\mu=4,5\%$	2070	0,82	3,34	22,4

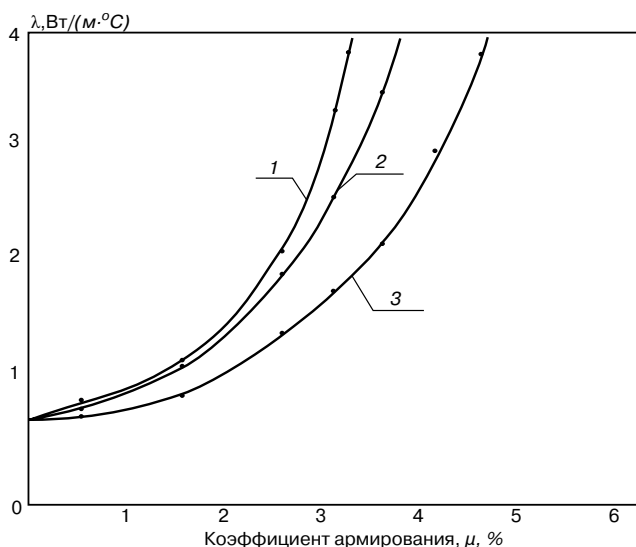


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности сталефибробетона от коэффициента армирования и размеров фибры: 1–3 – значения коэффициента теплопроводности сталефибробетонов, армированных стальной фиброй длиной 60 мм и диаметром 0,6; 0,75; 0,9 мм

Таблица 2  
Оптимальные режимы ТВО сталефибробетонов

Состав сталефибробетона			Режим ТВО	
Ц:П	В:Ц	μ, %	Предварительная выдержка, ч	Подъем температуры, ч
1:1	0,3	0,5	не менее 2	2,5
		2,5	2–4	2,5
		4,5	3–5	2
	0,4	0,5	не менее 3	2,5
		2,5	3–6	2,5
		4,5	3–6	2
	0,5	0,5	не менее 4	2,5
		2,5	4–7	2,5
		4,5	4–7	2
1:2	0,3	0,5	не менее 2	3
		2,5	2–6	2,5
		4,5	3–6	2
	0,4	0,5	не менее 3	3
		2,5	3–6	2,5
		4,5	3–6	2
	0,5	0,5	не менее 4	3
		2,5	4–7	2,5
		4,5	4–7	2
1:3	0,3	0,5	не менее 2	3,5
		2,5	2–6	2,5
		4,5	3–6	2
	0,4	0,5	не менее 3	3,5
		2,5	3–7	2,5
		4,5	3–7	2
	0,5	0,5	не менее 4	3,5
		2,5	4–8	2,5
		4,5	4–8	2

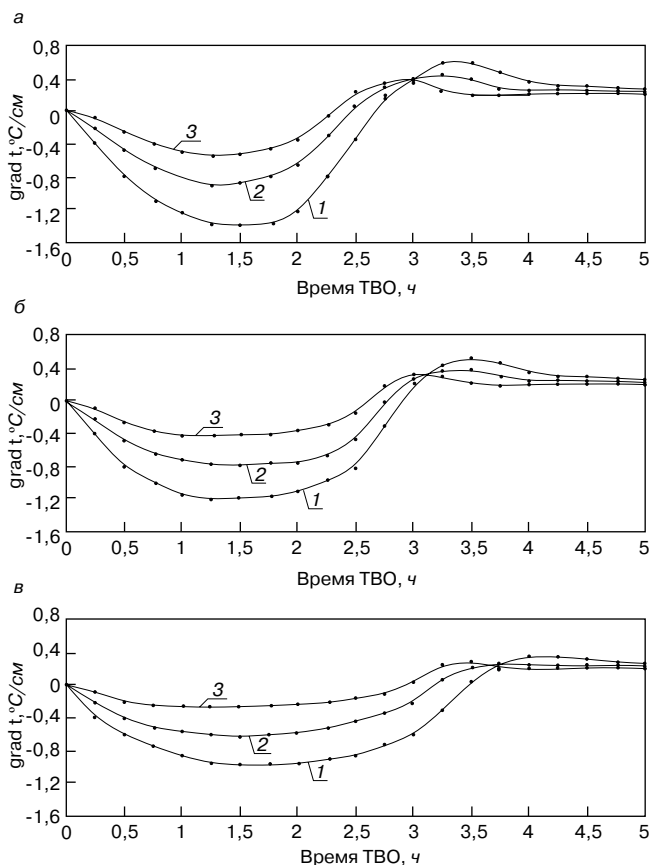


Рис. 2. Градиент температуры по сечению образцов сталефибробетона, подвергаемых тепловой обработке: а – при скорости подъема температуры 30 °С/ч; б – то же при 25 °С/ч; в – то же при 20 °С/ч; 1 – коэффициент армирования 0,5%; 2 – то же 2,5%; 3 – то же 4,5%.

лые частицы металла равномерно распределены по всему объему сталефибробетона.

В действительности металлическая фибра в матрице мелкзернистого бетона формирует участки с различными теплотехническими свойствами, по которым происходит распределение тепловых потоков в случае возникновения температурного градиента. Для определения значений фактического коэффициента теплопроводности сталефибробетона в зависимости от коэффициента армирования и размеров фибры были проведены испытания, результаты которых приведены на рис. 1. Установлено, что при коэффициенте армирования до 2,5% для любого размера фибры коэффициент теплопроводности сталефибробетона меньше расчетного, а при коэффициенте армирования более 3% превышает расчетные значения. Превышение теоретического коэффициента теплопроводности сталефибробетона вызвано уменьшением межфибрового пространства и образованием в композите каналов повышенной теплопроводности, которые представляют собой отдельные стальные фибры, соприкасающиеся или очень близко расположенные между собой, и пронизывающие весь объем материала.

Значение коэффициента армирования для каждого вида фибры, при котором коэффициент теплопроводности превышает теоретическое значение, указывает на то, что распределение теплового потока при данных значениях в первую очередь будет происходить по сетке дисперсного армирования. Данный эффект способствует более интенсивному перераспределению теплового потока в композите и позволяет в минимальные сроки достигать равномерной температуры при возникновении температурного градиента по его сечению. Важность

данного факта трудно переоценить, так как именно температурные градиенты, возникающие в монолитных бетонных конструкциях в процессе твердения, являются в большинстве случаев причиной трещинообразования. Напряженное состояние в твердеющем бетоне в большей степени определяется функцией скорости распределения температуры по сечению бетонной конструкции, при увеличении которой термическое напряжение в бетоне снижается. Применение дисперсного армирования в монолитных бетонных конструкциях приведет к значительному снижению термического напряжения, возникающего из-за температурного градиента, который снижается при увеличении коэффициента теплопроводности.

В настоящее время проведены обширные научно-исследовательские работы по проектированию и изготовлению пролетных плит, перемычек, оболочек, тюбингов, дорожных плит из сталефибробетона [3, 4, 5]. Однако вопрос оптимизации технологии производства изделий из сталефибробетона с учетом его отличительных теплофизических свойств до сих пор не изучен в достаточной степени. Относительно полно исследована технология электропрогрева монолитных сталефибробетонных конструкций [6].

Особую актуальность приобретают теплофизические свойства сталефибробетона при изготовлении сборных изделий. Очевидно, что повышенный коэффициент теплопроводности сталефибробетона позволяет ускорить время подъема и снижения температуры при его тепловлажностной обработке (ТВО), тем самым увеличивая оборачиваемость форм и производительность предприятия в целом. Однако до настоящего времени оптимальные режимы ТВО не были установлены.

Для определения оптимальной скорости подъема температуры при ТВО сталефибробетона были проведены испытания, в которых определялись температурный градиент, возникающий в образце при его обработке, и прочность при сжатии в возрасте 28 сут при различных режимах. Время изотермической выдержки во всех испытаниях составляло от 5 до 8 ч, что позволяло получать прочность при сжатии после ТВО в пределах 60–70% от прочности в возрасте 28 сут. В проведенных исследованиях использовался мелкозернистый бетон с цементно-песчаным отношением 1:1, 1:2, 1:3 и коэффициентом армирования от 0,5 до 4,5%. В качестве дисперсного армирования использовалась стальная фибра Dgarnix диаметром 0,6 мм и длиной 60 мм. На рис. 2 приведены результаты по определению температурного градиента в образцах сталефибробетона размером 150×150×150 мм в первые 5 ч ТВО.

На рис. 3 показаны результаты испытаний на прочность при сжатии образцов сталефибробетона в возрасте 28 сут.

Анализируя полученные результаты по величине прочности при сжатии сталефибробетона в возрасте 28 сут в зависимости от скорости подъема температуры, а также принимая во внимание результаты значительных градиентов температуры, можно установить общую зависимость относительной потери прочности при сжатии сталефибробетона от градиента температуры по его сечению при ТВО. Потерю относительной прочности в зависимости от скорости подъема температуры при ТВО предлагается определять по следующей формуле:

$$\Delta R_{пл} = \left(1 - \frac{R_t}{R_{0,6}}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $R_t$  – прочность сталефибробетона при сжатии, по сечению которого при тепловлажностной обработке возник градиент температуры, равный  $\text{grad } t$  °C/см, МПа;  $R_{0,6}$  – прочность сталефибробетона при сжатии,

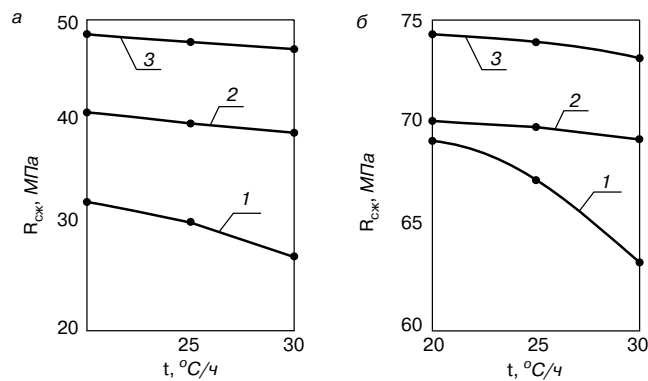


Рис. 3. Прочность при сжатии сталефибробетона в зависимости от скорости подъема температуры при ТВО: а – при цементно-песчаном отношении 1:3; б – то же при 1:1; 1 – коэффициент армирования – 0,5%; 2 – то же 2,5%; 3 – то же 4,5%

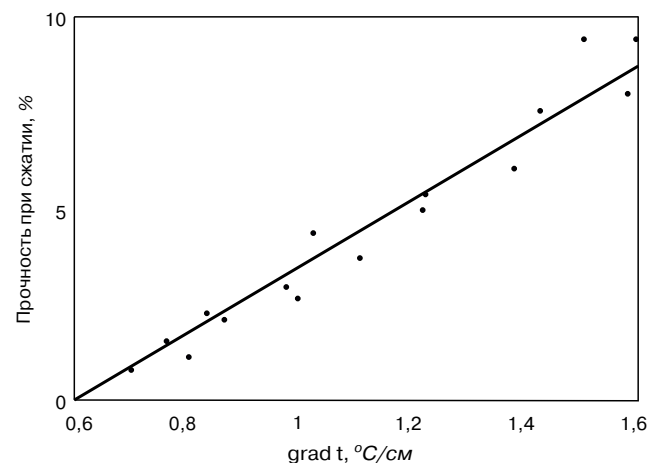


Рис. 4. Относительные потери прочности при сжатии сталефибробетона, возникающие от градиента температуры по его сечению при тепловлажностной обработке

по сечению которого при тепловлажностной обработке возник градиент температуры 0,6 °C/см, МПа.

Для сравнения было взято значение прочности при сжатии сталефибробетона, в сечении которого создавался градиент температуры в 0,6 °C/см. Очевидно, что при данном градиенте потеря прочности незначительна и составляет менее 1%.

На рис. 4 приведена зависимость относительной потери прочности при сжатии сталефибробетона от градиента температуры по его сечению при прогреве, определенная по формуле (1), на основании результатов, полученных в ходе исследований.

Полученная зависимость позволяет назначать скорость подъема температуры при тепловлажностной обработке для сталефибробетонов с любым составом цементно-песчаной матрицы и коэффициентом армирования.

В заводских условиях использование установленной зависимости, приведенной на рис. 4, затруднительно, так как для определения градиента температуры по сечению образца требуются высокоточные измерительные приборы. В упрощенном виде оптимальную скорость подъема температуры при тепловлажностной обработке сталефибробетонов можно принимать по данным, приведенным в табл. 2, в которой определены скорости подъема температуры при тепловлажностной обработке сталефибробетонов различных составов исходя из условия, что градиент температуры по сечению не превышает 1 °C/см. В табл. 2

также приведены рекомендуемые режимы выдержки сталефибробетона перед ТВО в зависимости от состава. Данные значения получены экспериментально и обусловлены особенностями структурообразования сталефибробетонов при ТВО.

Приведенные рекомендации по тепловлажностной обработке сталефибробетонных изделий также могут быть приняты за основу при разработке технологии из-

готовления массивных монолитных и специальных железобетонных конструкций. При повышенных требованиях к качеству железобетонных конструкций введение стальной фибры в бетон будет технологически и экономически оправданно, так как позволит значительно снизить термические напряжения в конструкциях и достигнуть требуемого качества в более широких температурных интервалах.

**Список литературы**

1. Волков В.И. Нормативное обеспечение индустриального применения сталефибробетона в строительстве // *Вестник гражданских инженеров*. 2007. № 4. С. 45–49.
2. Карслоу Г., Егер Д. *Теплопроводность твердых тел*. М.: Наука, 1964. 488 с.
3. Ивлев М.А., Струговец И.Б., Недосеко И.В. Сталефибробетон в производстве перемычек жилых и гражданских зданий // *Известия КГАСУ*. 2010. № 2 (14). С. 223–228.
4. Талантова К.В., Михеев Н.М., Трошкин А.Н. Практика создания конструкций на основе сталефибробетона с заданными эксплуатационными характеристиками // *Известия вузов. Строительство*. 2011. № 10. С. 112–118.
5. Латыпов Н. Н., Струговец И.Б., Бабков В.В., Недосеко И.В. Фибробетон в производстве дорожных плит // *Строительные материалы*. 2009. № 11. С. 50–52.
6. Головнев С.Г., Евсеев Б.А., Коваль С.Б., Молодцов М.В. и др. Особенности электротермообработки монолитных конструкций из сталефибробетона / Южно-Ур. гос. ун-т, 1998. / Деп. в ВИНТИ 15.04.98 № 1151 – В 98.

**References**

1. Volkov V.I. Regulatory support for industrial use in construction steel fiber concrete. *Vestnik grajdanskikh inzhenerov*. 2007, No. 4, pp. 45–49 (In Russian).
2. Carslaw G. *Teploprovodnost' tverdykh tel* [Heat conduction of solids]. Moscow, Nauka, 1964, 488 p. (In Russian).
3. Ivlev M. A. The steel fiber concrete production jumpers residential and civil buildings. *Izvestiya KGASU*. 2010, No. 2(14), pp. 223–228 (In Russian).
4. Talantova K.V. Practice creation of designs based on steel fiber reinforced concrete with specified performance parameters. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*. 2011. No. 10, pp. 112–118 (In Russian).
5. Latypov N.N. Steel fiber concrete in the production of road plates. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials]. 2009, No. 11, pp. 50–52 (In Russian).
6. Golovnev S.G., Yevseyev B.A. Koval S.B. Molodtsov M.V. Features electrothermal monolithic constructions of steel fiber concrete. Dep. VINITI. 1998, No. 1151, 8 p. (In Russian)

**III Всероссийская (международная) конференция по бетону и железобетону**

**Московская международная строительная выставка MOSCONCRETE 2014**

**12-16 мая 2014 года Здание Президиума РАН**

**Программа конференции включает:**

- пленарные заседания
- работу 24 секций
- 8 семинаров

*Отличная платформа для налаживания контактов заказчиков, производителей и потребителей строительных работ и технологий*

**WWW.CONCRETE2014.MGSU.RU** E-mail: [concrete2014@onlinereg.ru](mailto:concrete2014@onlinereg.ru) Тел./Факс: +7(495)726-5135

**Организаторы**




РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ



**При поддержке**






С.Н. ЛЕОНОВИЧ, д-р техн. наук, иностранный академик РААСН, Н.Л. ПОЛЕЙКО, канд. техн. наук  
Белорусский национальный технический университет (220013, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65)

## Прочность сцепления арматуры с бетоном, содержащим добавку С-3 и ее модификации

Приведены результаты исследований влияния прочности на сжатие и возраста модифицированного бетона с суперпластификатором С-3 и его модификациями на сцепление с арматурой различных профилей и классов. Установлено, что величина  $R_{сц}$  бетона с арматурой существенно зависит от его прочности  $R_{сж}$ . Эта зависимость линейна и одинакова как для обычного, так и для модифицированного бетона, хотя численные параметры ее различны. В частности, с повышением предела прочности бетона на сжатие от 30 до 70 МПа среднее значение  $R_{сц}$  для гладкой арматуры в модифицированном бетоне увеличивается в 1,5 раза, а в обычном – в 1,36 раза. С увеличением величины  $R_{сж}$  прочность сцепления арматуры с бетоном повышается, а относительное ее значение  $R_{сц}/R_{сж}$  снижается, так как при этом уменьшается относительная прочность бетона на растяжение  $R_p/R_{сж}$ . Интегральная прочность сцепления существенно зависит от  $R_p$  и определяется механическим зацеплением выпусков арматуры с растворной частью бетона. Прочность сцепления с бетоном арматуры периодического профиля значительно выше. Заметно также нарастание прочности сцепления  $R_{сц}$  с уменьшением диаметра стержней, особенно арматуры периодического профиля. При этом рельеф поверхности периодического профиля практически не влияет на прочность сцепления с бетоном.

**Ключевые слова:** модифицированный бетон, химическая добавка, класс бетона, класс арматуры, диаметр, прочность сцепления, профильность арматуры.

S.N. LEONOVICH, Doctor of Technical Sciences, Foreign Academician of RAACS, N.L. POLEIKO, Doctor of Technical Sciences  
Belarussian National Technical University (65, Nezavisimosty av., 220013, Minsk, Belarus)

### Bonded strength of reinforcement with concrete modified by superplasticizer "S-3"

The results of the effect of the compressive strength and age of modified concrete with superplasticizer C-3 and its modifications to the bond with the reinforcement of various profiles and classes are presented. Established that the adhesive strength  $R_{ad}$  of reinforcement and concrete significantly depends on its compressive strength  $R_c$ . This dependence is linear and is the same both for normal concrete and for modified concrete, although its numerical parameters are different. Particularly, with increasing of concrete compressive strength limit from 30 to 70 MPa the average value of adhesive strength  $R_{ad}$  for smooth reinforcement in modified concrete increases in 1.5 times, and in the normal – 1.36 times. With increasing of compressive strength  $R_c$  adhesion strength of reinforcement with concrete increases, and its relative value  $R_{ad}/R_c$  reduces, because along with it reduces the relative tensile strength  $R_p/R_c$ . Integral adhesion strength essentially depends on the tensile strength  $R_t$  and is determined by the mechanical engagement of free length of reinforcing bars with mortar part of concrete. Adhesion strength of periodic profile reinforcement with concrete is much higher. Also it can be seen the increase of adhesive strength  $R_{ad}$  with decreasing of rods diameter, especially in periodic profile fittings. Thus, periodic profile surface relief does not affect the adhesive strength with concrete.

**Keywords:** modified concrete, modifier, class of concrete compressive strength, class of reinforcement, diameter, bonded strength, profile of reinforcement.

В настоящее время в строительном комплексе Республики Беларусь находят применение бетоны, содержащие добавку С-3 и ее модификации, которые характеризуются специфическим составом, различной скоростью нарастания прочности. Эти их особенности оказывают значительное влияние на такой фактор, как сцепление арматуры с бетоном, определяющее несущую способность железобетонных конструкций [1–4]. Цель настоящей работы – оценить влияние прочности и возраста модифицированного бетона на сцепление его с арматурой различных классов.

Для этого изготавливались бетонные образцы-призмы из цемента ОАО «Красносельскстройматериалы» марки ПЦ 500 Д0, гранитного щебня Микашевичского карьера фракции 5–20 мм и кварцевого песка карьера Крапужино с  $M_{кр}=2,4$ ; количество химической добавки С-3 вводили 0,4% от массы цемента.

По геометрической оси образцов устанавливали арматурные стержни, выступающие с обеих торцов на 100–300 мм, для крепления приборов и захвата.

Прочностные и деформативные свойства бетона определяли испытаниями стандартных кубов и призм, а физико-механические характеристики арматурной стали определяли испытаниями на растяжение отрезков арматурных стержней.

Для исследования сцепления арматуры с бетоном изготовлены две серии образцов. В первую серию входили образцы-призмы из бетона с химической добавкой проектного класса С12/15 и С35/45, во вторую – призм-близнецы из бетона без добавки. Высоту призм на-

значали в зависимости от длины заделки стержней в бетоне (10*d*, 15*d* и 20*d*), а размеры сечения – 100×100 мм и 150×150 мм в зависимости от диаметра арматуры (*d*=14; *d*=16, *d*=22 мм), принимая расстояние от поверхности стержня до грани призмы равным 3–5 *d*.

Испытания на выдергивание арматуры из бетона проводили на прессе типа МУП-100 с помощью специального шарнирного приспособления, позволяющего осуществлять осевое приложение растягивающей нагрузки. К свободному концу арматурного стержня крепили индикатор часового типа для фиксации сдвига, до начала которого скорость нарастания нагрузки составляла 100 Н/с; после этого она прикладывалась ступенями, составляющими 1/20 от нагрузки  $F_{раз}$ , соответствующей достижению предела прочности бетона и нулевому сцеплению арматуры с бетоном (рис. 1).

Прочность сцепления арматуры с бетоном определялась как среднее напряжение в пределах длины заделки стержня:

$$R_{сц} = F_{раз}/(\Pi \cdot d \cdot l_d).$$

Результаты испытания образцов представлены в табл. 1 и на рис. 2. Видно, что прочность сцепления арматуры с модифицированным бетоном несколько выше, чем с обычным: для арматуры периодического профиля – в среднем в 1,16 раза, при этом для стержней диаметром *d*=10 мм – в 1,39; *d*=14 мм – в 1,1; *d*=16 мм – в 1,09; *d*=22 мм – в 1,04 раза. Для гладкой арматуры это превышение еще значительнее – в отдельных случаях в 1,6 раза.

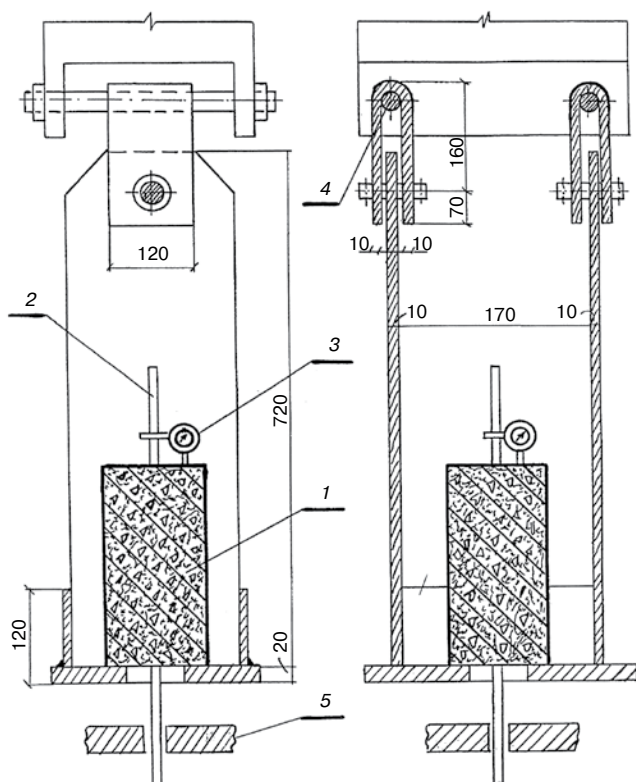


Рис. 1. Схема испытания образцов на сцепление арматуры с бетоном: 1 – бетонная призма; 2 – арматурный стержень; 3 – индикатор; 4 – штанги пресса; 5 – нижние зажимы пресса

Значение  $R_{сц}$  существенно зависит от прочности бетона. Эта зависимость линейна и одинакова как для обычного, так и для модифицированного бетона, хотя численные параметры ее различны (рис. 2). В частности, с повышением предела прочности бетона на сжатие  $R_{сж}$  от 30 до 70 МПа среднее значение  $R_{сц}$  для гладкой арматуры в модифицированном бетоне увеличивается в 1,5, а в обычном – в 1,36 раза.

С увеличением  $R_{сж}$  прочность сцепления арматуры с бетоном повышается, а относительное ее значение  $R_{сц}/R_{сж}$  снижается, так как при этом уменьшается относительная прочность бетона на растяжение  $R_p/R_{сж}$ . Интегральная прочность сцепления существенно зависит от  $R_p$  и определяется механическим зацеплением выступов арматуры с растворной частью бетона, работающего на срез. В проведенных испытаниях при увеличении  $R_{сж}$  от 30 до 70 МПа среднее значение  $R_{сц}$  для арматуры периодического профиля снижалось в 1,5 раза для модифицированного и в 1,8 раза для обычного бетона.

Прочность сцепления с бетоном арматуры периодического профиля значительно выше (с модифицированным бетоном – в среднем в три раза). Заметно также нарастание прочности сцепления  $R_{сц}$  с уменьшением диаметра стержней, особенно арматуры периодического профиля. Так, с уменьшением ее диаметра в 2,2 раза (с 22 до 10 мм) прочность сцепления бетона с арматурой  $R_{сц}$  в модифицированном бетоне возрастает в среднем в 1,6 раза (в обычном бетоне – в 1,4 раза). При этом рельеф поверхности периодического профиля практически не влияет на прочность ее сцепления с бетоном.

Обработка результатов испытаний позволила установить опытные зависимости между прочностью сцепления арматуры с бетоном и прочностью последнего:

– для модифицированного бетона и арматуры периодического профиля:

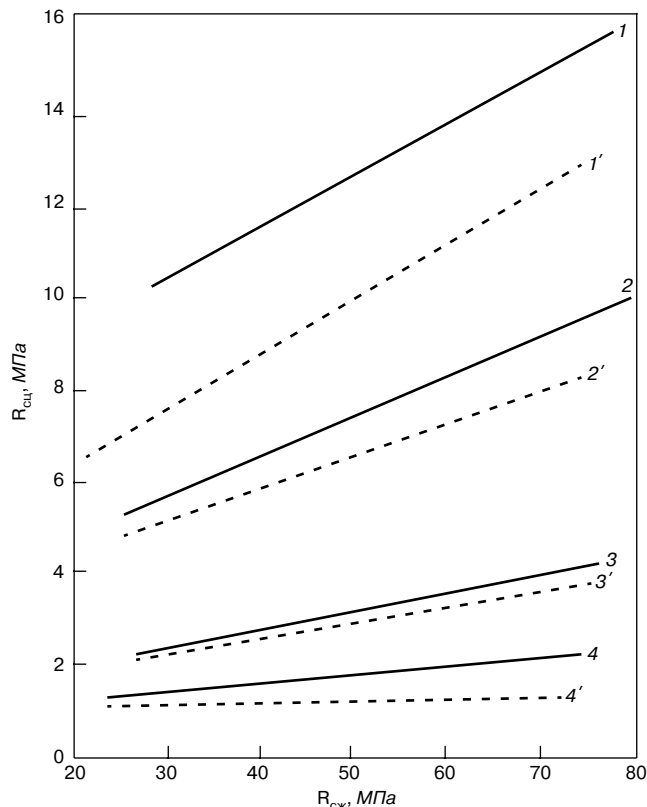


Рис. 2. Прочность сцепления арматуры с бетоном в зависимости от предела прочности бетона: 1, 1' – арматура периодического профиля,  $d=10$  мм; 2, 2' – то же,  $d=22$  мм; 3, 3' – гладкая арматура,  $d=10$  мм; 4, 4' – то же,  $d=22$  мм (сплошная линия – модифицированный бетон, пунктирная – обычный бетон)

$$R_{сц} = 61 + 0,066 R_{сж}; \quad (1)$$

– для модифицированного бетона и гладкой арматуры:

$$R_{сц} = 24 + 0,015 R_{сж}; \quad (2)$$

– для бетона без добавки и арматуры периодического профиля:

$$R_{сц} = 47,3 + 0,08 R_{сж}; \quad (3)$$

– для бетона без добавки и гладкой арматуры:

$$R_{сц} = 9,6 + 0,015 R_{сж}. \quad (4)$$

Полученные зависимости справедливы в исследованном диапазоне прочности бетона ( $R_{сж}=20-70$  МПа). При  $R_{сж} \leq 20$  МПа, когда прочность сцепления падает до нуля, формулам (1–4) соответствуют зависимости вида:

– для модифицированного бетона и арматуры периодического профиля  $R_{сц}=0,32 R_{сж}$ , гладкой арматуры –  $R_{сц}=0,32 R_{сж}$ ;

– для бетона без добавки и арматуры периодического профиля  $R_{сц}=0,32 R_{сж}$ , гладкой арматуры –  $R_{сц}=0,063 R_{сж}$ .

Опытные значения прочности сцепления бетона с арматурой соответствуют теоретическим, вычисленным по формулам (1–4).

Экспериментальные данные характеризуются определенным разбросом, и поэтому прочность сцепления бетона с арматурой определить по формулам (1–4) нельзя. Необходимо знать нормативное значение.

Формулы для определения в диапазоне изменения предела прочности бетона на сжатие от 20 до 70 МПа имеют вид:

Таблица 1

№ п/п	Модифицированный бетон				Обычный бетон			
	Диаметр и класс арматуры	Длина заделки стержней в бетоне, см	Прочность бетона $R_{сж}$ , МПа	Прочность сцепления $R_{сц}$ , МПа	Диаметр и класс арматуры	Длина заделки стержней в бетоне, см	Прочность бетона $R_{сж}$ , МПа	Прочность сцепления $R_{сц}$ , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10S240	10	28,7	2,5	10S240	10	26,2	1,4
2	10S400	10	28,7	7	10S400	10	35,5	6,1
3	10S800	10	35,5	10,6	10S800	10	26,2	7,1
4	10S240	15	35,7	2,4	10S240	10	22	5
5	10S500	15	36,7	7,4	10S240	15	35,5	1,5
6	10S1200	15	35,5	11,7	10S500	15	35,5	8,2
7	10S240	20	35,7	2,8	10S1200	15	22	8,5
8	10S1200	20	38,2	12,2	10S240	20	35,5	1,5
9	10S240	9,3	35,7	2,6	10S1200	20	34,6	11,1
10	16S400	9,3	38,6	8,2	16S240	9,3	35,5	1,6
11	16S800	9,3	38,2	7,8	16S400	9,3	38,7	5,4
12	16S240	12,5	28,7	3,1	16S800	9,3	34,6	5,3
13	16S500	12,5	28,7	7,5	16S500	12,5	35,5	8,7
14	14S1200	14,3	35,5	8,9	14S1200	14,3	22,0	7,6
15	22S240	9,1	35,7	3,4	22S240	9,1	35,5	1,9
16	22S400	9,1	38,2	7,4	22S400	9,1	34,6	7
17	22S500	9,1	28,2	4,7	22S500	9,1	16,2	6,4
18	16S240	18,7	38,6	2,1	16S240	21,4	34	10,6
19	16S800	18,7	28,2	8,5	14S1200	21,4	26,2	7,9
20	22S240	13,6	28,2	2,4	22S240	13,6	34	1,4
21	22S400	13,6	37,3	6,7	22S400	13,6	34	6,6
22	22S800	13,6	37,3	6,5	22S800	13,6	33	5,8
23	22S240	20,4	37,3	2,8	22S240	20,4	33	1,2
24	22S800	20,4	32,8	5	22S800	20,4	33	4,8
25	10S240	10	75,3	4,5	10S240	10	64,9	2,5
26	10S800	10	75,6	16,3	10S800	10	64,2	12
27	10S1200	15	75,6	15,9	10S240	9,3	61,1	1,7
28	16S240	9,3	68,7	3,7	16S800	9,3	58,5	10,9
29	16S800	9,3	70,4	10,8	14S1200	10,7	64,2	11
30	14S1200	14,3	75,6	11,5	14S1200	14,3	58,5	9,5
31	22S240	9,1	68,7	3,9	22S240	9,1	61,1	1,5
32	22S500	9,1	74,9	10	22S500	9,1	59	7,7
33	22S400	13,6	69,5	6,8	22S400	13,6	59,2	7

– для модифицированного бетона и арматуры периодического профиля:

$$R_{сц}^H = 24 + 0,066 R_{сж}; \quad (5)$$

– для модифицированного бетона с гладкой арматурой:

$$R_{сц}^H = 12 + 0,015 R_{сж}; \quad (6)$$

– для бетона без химической добавки и арматуры периодического профиля:

$$R_{сц}^H = 16 + 0,08 R_{сж}; \quad (7)$$

– для бетона без химической добавки и гладкой арматуры:

$$R_{сц}^H = 3,6 + 0,015 R_{сж}; \quad (8)$$

Соответственно при  $R_{сж} \leq 20$  МПа:

– для модифицированного бетона и арматуры периодического профиля:

$$R_{сц}^H = 0,186 R_{сж}; \quad (9)$$

– для модифицированного бетона и гладкой арматуры:

$$R_{сц}^H = 0,075 R_{сж}; \quad (10)$$

– для бетона без химической добавки и арматуры периодического профиля:

$$R_{сц}^H = 0,016 R_{сж}; \quad (11)$$

– для бетона без химической добавки и арматуры гладкой:

$$R_{сц}^H = 0,033 R_{сж}; \quad (12)$$



Таблица 2

Прочности бетона при сжатии, МПа	Значения $R_{сц}^H$ для арматуры	
	периодического профиля	гладкой
10	1,86	0,75
20	3,72	1,5
30	4,38	1,65
40	5,04	1,8
50	5,7	1,95
60	6,36	2,1
70	7,02	2,25
80	7,68	2,4

Значения для модифицированного бетона, вычисленные по формулам (5–10), приведены в табл. 2.

Расчетные значения прочности сцепления арматуры с бетоном определяются делением  $R_{сц}^H$  на требуемый коэффициент надежности по бетону.

Список литературы

1. Мадатян С.А. Свойства арматуры железобетонных конструкций в России на уровне лучших мировых стандартов // *Бетон и железобетон*. 2013. № 5. С. 2–5.
2. Мадатян С.А. Новая арматурная сталь класса А 600 С // *Стройметалл*. 2010. № 5. С. 7–10.
3. Мадатян С.А. Холоднодеформированная арматура класса В 500 С // *Метизы*. 2008. № 2. С. 20–25.
4. Тихонов И.Н. Оценка эффективности арматурного проката с различными видами периодического профиля поверхности // *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 29–34.

Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы.

Сцепление арматуры с бетоном зависит от его прочности, с повышением которой сцепление возрастает. Закономерность эта качественно одинакова как для обычного, так и для модифицированного бетона, однако количественные значения, характеризующие сцепление, в обоих случаях различны. Для модифицированного бетона и арматуры периодического профиля повышение прочности бетона с 30 до 70 МПа способствует увеличению сцепления в среднем в 1,5 раза, а в обычном бетоне в 1,36 раза.

С увеличением  $R_{сж}$  бетона прочность сцепления арматуры с бетоном повышается, а относительное ее значение ( $R_{сц}/R_{сж}$ ) снижается, так как при этом уменьшается относительная прочность бетона на растяжение ( $R_p/R_{сж}$ ).

Сцепление бетона с арматурой зависит также от ее диаметра и класса. Наиболее значительный прирост сцепления для обоих видов бетона соответствует арматуре периодического профиля диаметром 10 мм, а для остальных диаметров сцепление несколько ниже.

References

1. Madatyan S.A. The properties of reinforced concrete structures in Russia on the level of the best world's standards. *Beton i zhelezobeton*. 2013. No. 5, pp. 2–5 (in Russian).
2. Madatyan S.A. New reinforcement steel by class A 600 C. *Stroimetall*. 2010. No. 5, pp. 7–10.
3. Madatyan S.A. Cold-deformed reinforcement by class B 500 C. *Metizi*. 2013. No. 2, pp. 20–25 (in Russian).
4. Tikhonov I.N. The estimation of reinforcement with different kinds of periodic profile of surface. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2013. No. 3, pp. 29–34.

# 13-16

# 2014

# МАЯ

КРАСНОЯРСК



XXII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

## МАЛОЭТАЖНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Современные технологии малоэтажного и деревянного домостроения**

**Бани, сауны, бассейны**

**Ландшафтная архитектура**

**Загородная недвижимость**

**Краткие итоги выставки 2013:**  
 Площадь экспозиции: 8500 кв. м.  
 Количество участников: 253 компании из разных регионов России  
 Количество посетителей: 13050 человек



## ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ!

Информационная поддержка

СТРОЙДОМ ЭКСПЕРТ

ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

ДЕРЕВО.RU

Организатор – ВК «Красноярская ярмарка»



**МВДЦ «Сибирь»**  
ул. Авиаторов, 19

тел./факс: (391) 22-88-405, 22-88-611 (круглосуточно)  
stroyka@krasfair.ru, www.krasfair.ru

М.И. КОЖУХОВА<sup>1</sup>, инженер, И. ФЛОРЕС-ВИВИАН<sup>2</sup>, канд. техн. наук, С. РАО<sup>2</sup>, магистр, В.В. СТРОКОВА<sup>1</sup>, д-р техн. наук, К.Г. СОБОЛЕВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, Белгород, ул. Костюкова, 46)

<sup>2</sup> Университет Висконсин-Милуоки, США (3200 North Cramer Street, Milwaukee, WI 53211, USA)

## Комплексное силоксановое покрытие для супергидрофобизации бетонных поверхностей

Бетон на основе традиционного цементного вяжущего, как правило, представляет собой гидрофильный материал. Данное свойство объясняет его низкий показатель долговечности, в особенности при использовании в качестве дорожных оснований. Для производства бетона, проявляющего водоотталкивающие свойства, разработана водородсодержащая силоксановая эмульсия. Рассмотрена возможность использования разработанной силоксановой эмульсии в сочетании с небольшим количеством субмикроразмерных частиц для обеспечения супергидрофобных характеристик бетона. Предложена технология получения и применения эмульсий для бетонов на основе ПЦ, позволяющих осуществлять формирование, а также регулирование гидрофобных свойств материалов путем направленного формирования иерархической шероховатости и одновременной модификации поверхности. Это дает возможность получать сверхгидрофобный и супергидрофобный бетон с водоотталкивающими характеристиками, высокими значениями контактного угла и низкими значениями угла скатывания, который может быть использован в строительстве в качестве материала с высокими показателями долговечности.

**Ключевые слова:** контактный угол, гидрофобный бетон, супергидрофобность.

M.I. KOZHUKHOVA<sup>1</sup>, Engineer; I. FLORES-VIVIAN<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), S. RAO<sup>2</sup>, Master; V.V. STROKOVA<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), K.G. SOBOLEV<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> Belgorod State Technological University (V.G. Shukhov) (46, Kostyukov Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

<sup>2</sup> University of Wisconsin-Milwaukee (3200 North Cramer Street, Milwaukee, WI 53211, USA)

### Complex siloxane coating for superhydrophobization of concrete surfaces

Traditional PC based concrete, generally, is hydrophilic material. This characteristic explains reduced durability, especially, for pavements. To produce the road concrete with water-repellent properties the hydrogen siloxane emulsion is developed. Possibility of using of hydrogen-containing siloxane additives in complex with a small content of submicro-sized particles to provide with super-hydrophobic characteristics for concrete is considered. The technology of production and application of the emulsions for cement concrete, that allow forming and varying the hydrophobicity with directed designing of hierarchical roughness and the surface modification jointly. This fact gives opportunity to produce over-hydrophobic and super-hydrophobic concrete with water-repellent characteristics, high values of contact angle and low roll-off angle that can be used in road construction as material with good durability

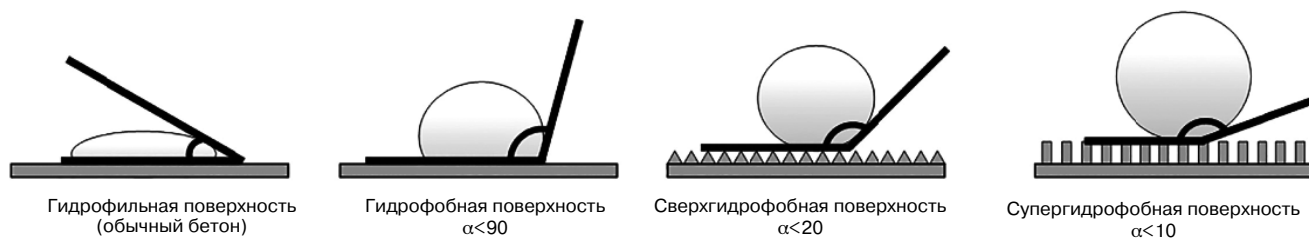
**Keywords:** contact angle, hydrophobic concrete, superhydrophobicity.

Производство гидрофобного бетона является важной задачей для широкого спектра применения. Бетон представляет собой композит с порами размером от нанометров до миллиметров, состоящий из портландцемента в качестве вяжущего, воды затворения, а также заполнителей и минеральных добавок. Существуют различные типы пор в продуктах гидратации цемента, в том числе пустот, образующихся в результате воздухоовлечения размером до нескольких миллиметров в диаметре; капиллярных пор в диапазоне несколько микрометров и наноразмерные поры в цементном геле. Бетон подвергается внешним воздействиям, таким как эрозия, истирание, воздействие агрессивных жидкостей в окружающей среде: вода, минеральные растворы, масла, растворители и т. д. В процессе контакта бетона в сухом состоянии с водой большая ее часть поглощается порами за счет сил капиллярного давления. Капиллярные силы зависят от поверхностного натяжения жидкости (обычно воды), его контактного угла на стенках, а также радиуса пор [1]. Долговечность бетона, включая морозостойкость, суль-

фатостойкость, зависит от его общего поглощения и проницаемости для водных растворов. Например, при попеременном замораживании и оттаивании происходят деструктивные процессы. Эти процессы возникают за счет замерзания-оттаивания воды в бетонной системе с насыщением пористой структуры. Кумулятивный эффект циклического процесса попеременного замораживания-оттаивания в конечном итоге вызывает трещинообразование, их масштабирование, разрушение бетонного монолита и в итоге разрушение бетона. В связи с этим актуальна разработка бетона с водоотталкивающими свойствами, позволяющими повысить показатели долговечности конструкционных материалов [2].

Относительный (визуально наблюдаемый) контактный угол (КУ) является принципиальным параметром, характеризующим смачиваемость поверхности [3, 4].

Значения контактного угла, превышающие 90°, характеризуют гидрофобность поверхности. В то же время при значениях  $KU \leq 90^\circ$  поверхность принято считать гидрофильной, склонной к смачиванию.



**Рис. 1.** Модели гидрофильной ( $0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$ ), гидрофобной ( $\Theta \leq 90^\circ$ ), сверхгидрофобной ( $120^\circ \leq \Theta \leq 150^\circ$ ) и супергидрофобной ( $150^\circ \leq \Theta \leq 180^\circ$ ) поверхностей, где  $\Theta$  – контактный угол смачивания [4]

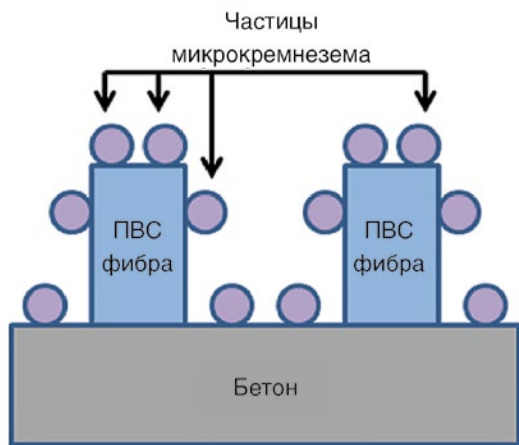


Рис. 2. Модель формирования иерархической поверхности

Согласно существующей классификации (рис. 1) традиционный бетон принято считать гидрофильным. В то же время материалы с контактным углом смачивания поверхности в диапазоне 150–180° являются супергидрофобными [4–7]. Однако для обеспечения этого необходимо не только обеспечение высокого значения контактного угла смачивания, но также низкий гистерезис. Гистерезис контактного угла смачивания представляет собой разницу между прямым и обратным ходом контактного угла на наклонной поверхности и служит мерой адгезии между водой и твердой подложкой. Адгезионные свойства поверхностей могут быть измерены с использованием различных методов, основанных на процессах напряжения сдвига и отрыва [8, 9].

Поверхности, которые не относятся к супергидрофобным, но обеспечивают высокий показатель КУ 120–150°, превышающий типичные значения для гидрофобных материалов, обычно называют сверхгидрофобными [4]. КУ воды с твердой поверхностью может быть измерен с помощью гониометра или тензиометра.

Супергидрофобные иерархические поверхности (ИП), представляющие комбинацию микрочастиц (<5 мкм), закрепленные на поверхности с большей шероховатостью (10–100 мкм), вызывают большой интерес для промышленного применения, например для самоочищающихся поверхностей.

Данные поверхности являются имитаторами поверхности листа лотоса, который известен супергидрофобными свойствами, а также особенностями самоочищения (так называемый эффект Лотоса).

Явление подражания структурам живой природы в инженерных целях носит название биомиметика. В данном случае применяется биомиметический подход синтеза гидрофобного бетона [10–17].

С учетом имеющихся аналогов [18, 19] с целью обеспечения гидрофобных свойств пористых материалов (керамика, бетон и т. д.) в работе предложено использование эмульсий водородсодержащих силоксановых добавок (например, полиметилгидроксисилоксан, ПМГС, известная как жидкость ГКЖ-94) в сочетании с небольшими количествами субмикро- или наноразмерных частиц [11].

Фибры на основе поливинилового спирта (ПВС), хаотично расположенные в объеме пористого бетонного материала и выходящие на поверхность, могут быть использованы для достижения эффекта ИП и супергидрофобности. Модифицированная добавка ПМГС за счет выделения водорода формирует мелкопористые (10–100 мкм) однородные пузырьки воздуха, которые равномерно распределены по поверхности бетона.

Сочетание суб-, микро- или наноразмерных частиц, обеспечивающих микро- и нанощероховатость и

волокон, формирует иерархическую структуру и играет важную роль в формировании супергидрофобных поверхностей бетона и может улучшить эксплуатационный потенциал бетона. Применение таких эмульсий для поверхностной гидрофобизации бетона является очень эффективным методом для регулирования характеристик долговечности [20–22].

В настоящей работе предложен способ приготовления силоксановых эмульсий и исследование различных фибробетонных композиций для достижения эффекта сверх- и супергидрофобности.

Благодаря своей неионной природе и отличной совместимости с используемыми материалами в качестве стабилизатора при приготовлении эмульсии использовался водорастворимый (98%) ПВС с молекулярной массой 16000 [23].

В качестве дисперсионной среды при получении эмульсий использовалась вода дистиллированная деионизированная. Полиметилгидроксисилоксан – ПМГС (XIAMETER MNX – 1107, производство Dow Corning) был использован в качестве гидрофобизатора с удельным весом – 0,997 г/см<sup>3</sup> (при 25°С); вязкостью 30 сСт.; содержанием ПМГС как активного агента не менее 85–100% в составе метилгидроксисилоксанового масла.

Микрокремнезем (МК, производство Elkem) использовался в качестве тонкодисперсной добавки в эмульсии для обеспечения микрошероховатости.

Растворные плитки были подготовлены с использованием портландцемента типа I (производство Lafarge). Для приготовления плиток на основе бетонного раствора использовались фракционный кварцевый песок со средним размером частиц 425 мкм согласно ГОСТ 8736–93 «Песок для строительных работ. Технические условия» и ASTM C778 – фракционированный кварцевый песок, а также питьевая вода. Для обеспечения супергидрофобных свойств в работе использовались волокна (ПВС) (RECS 15–12 мм, производство Kuralon K-II) со следующими характеристиками: диаметр 0,04 мм и длина 12 мм; Модуль Юнга – 40 ГПа; предел прочности на разрыв 1,6 ГПа. Для повышения удобоукладываемости фибросодержащего раствора в качестве добавки-суперпластификатора использовался поликарбоксилатный полимер 31% концентрации активного вещества.

Для проведения экспериментальных исследований предварительно были приготовлены эмульсии тремя способами, технология которых представлена на рис. 3.

Первый способ заключался в приготовлении гидрофобной эмульсии, не содержащей минерального микрокомпонента в системе; второй способ предполагал введение микрокремнезема в систему таким образом, чтобы микрочастицы обволакивали капли ПМГС, образовавшиеся в результате эмульсификации; применение третьего способа основано на эмульсификации системы таким образом, чтобы частицы микрокремнезема располагались внутри капель гидрофобизатора ПМГС. Порционный состав гидрофобной эмульсии представлен в табл. 1.

После приготовления все три эмульсии были разбавлены до 5% содержания ПМГС в системе. Таким обра-

Таблица 1

Материалы	Количество, мас. %
Вода дистиллированная деионизированная	65
ПВС	5
Полиметилгидроксисилан	25
Микрокремнезем	5

зом, степень гидрофобизации в рамках работы была изучена на основании 6 приготовленных эмульсий с помощью оптического микроскопа Olympus BH-2 (рис. 3).

Согласно представленным фотоснимкам эмульсия, приготовленная по третьему методу, эмульсифицирована достаточно неоднородно, в то же время размер капель гидрофобизатора лежит в широком диапазоне 10–40 мкм, что характеризует эмульсию как систему с низкой стабильностью. На изображении, представленном для эмульсии 1, наблюдается достаточно хорошая степень эмульсификации, но размер капель гидрофобизатора охватывает диапазон от 5 до 37 мкм.

Эмульсия, приготовленная методом 2, является оптимальной и была выбрана для проведения дальнейших исследований, поскольку имеет размер капель эмульсифицированного гидрофобизатора в узком диапазоне 5–15 мкм, причем распределение гидрофобного компонента ПМГС достаточно равномерное.

С целью определения степени гидрофобности были проведены исследования по определению контактного угла смачивания на плитках размером 10×10 мм на основе цементно-песчаного раствора с использованием гониометра Kruss DSA100 «Drop Shape Analysis System». Для обеспечения достоверности получаемых экспериментальных данных для каждого образца при определении одной точки кон-



Рис.3. Способы приготовления полиметилгидросилоксановых эмульсий

тактного угла использовалось среднее значение не менее трех измерений контактного угла капли воды на поверхности в различных зонах поверхности образца. Для обеспечения гидрофобных свойств в работе была использована эмульсия на основе полиметилгидроксисилоксана с содержанием микрокремнезема, приготовленная методом 2. Образцы с хаотичным распре-

Таблица 2

Состав	С фиброй					Без фибры				
	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10
В/Ц	0,25	0,3	0,4	0,45	0,5	0,25	0,3	0,4	0,45	0,5
Ц/П	0	1	0,5	0,4	0,33	0	1	0,5	0,4	0,33
ПВС фибра, %	1,5	1,5	1	1	1	0	0	0	0	0

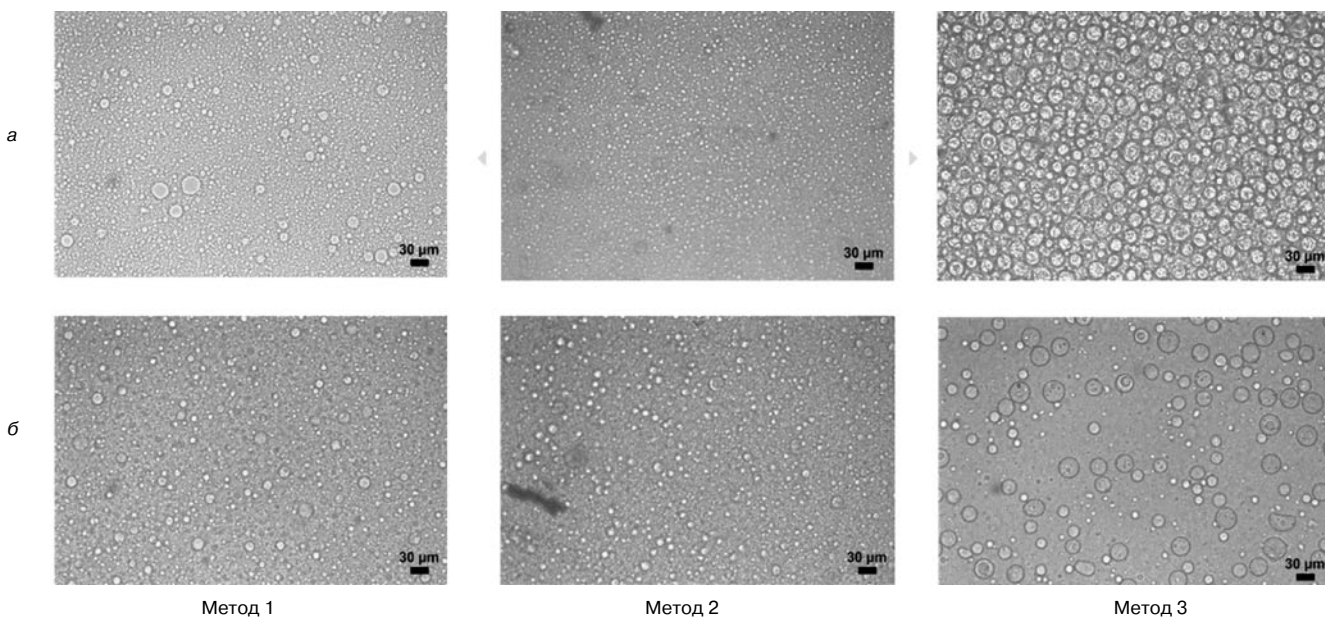


Рис. 4. Фотографии эмульсий под оптическим микроскопом с увеличением 200: а – эмульсии с 25% содержанием ПМГС; б – эмульсии с 5% содержанием ПМГС

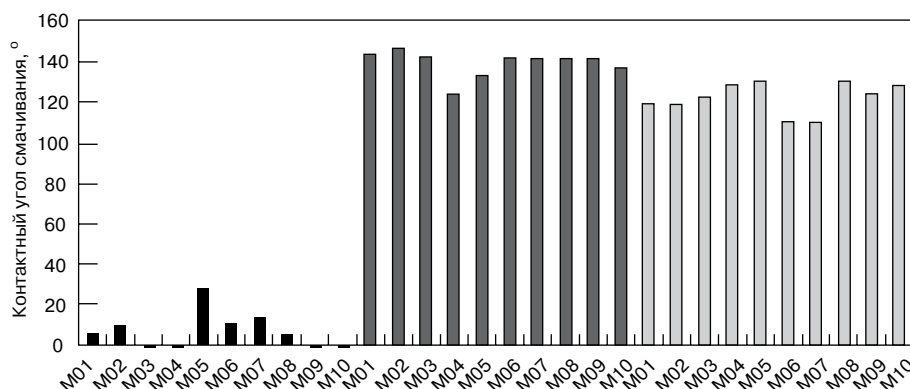


Рис. 5. Контактный угол смачивания образцов: ■ – без гидрофобного покрытия; ▒ – покрытых 5% ПМГС эмульсией; ░ – покрытых 25% ПМГС эмульсией

лением ПВС волокон, выходящих на поверхность, были покрыты силиконовой эмульсией с содержанием 5 и 25% ПМГС (M01–M10 5%, M01–M10 25%) и 1 и 5% микрокремнезема соответственно. Растворные образцы M01–M05 содержат ПВС фибру в количестве 1% (по объему). Состав исследуемых растворных плиточек представлен в табл. 2.

В рамках работы были исследованы КУ (рис. 5), значения которых для исследуемых образцов без покрытия не превышает 35°, а для таких образцов, как M03 и M04, значение КУ равно 0, что демонстрирует гидрофильность поверхности обычного бетона. Применение 5% эмульсии позволило увеличить значения контактного угла более чем на 100%. Максимальные значения КУ показали образцы M02 и M03 со значениями КУ 142 и 144° соответственно. Для образцов, покрытых 25% эмульсией, результаты значений КУ незначительно ниже предыдущих. Такие высокие показатели могут быть объяснены формированием микрошероховатости на поверхности, которая обеспечивается за счет формирования двойного слоя, где первый микрослой образуется частицами микрокремнезема на бетонной поверхности. Второй слой гидрофобный, покрывающий минеральные микрочастицы. Таким образом, за счет формирования разноразмерной шероховатости происходит переход эффекта гидрофобности в область сверхгидрофобности.

Супергидрофобные свойства разработанных составов были подтверждены при проведении испытаний по определению критического угла скатывания по наклонной поверхности образца. Согласно полученным данным (рис. 6) применение предварительно обработанной поверхности для образцов, а также высокое содержание тонкодисперсного наполнителя в составе эмульсии способствуют формированию эффекта супергидрофобно-

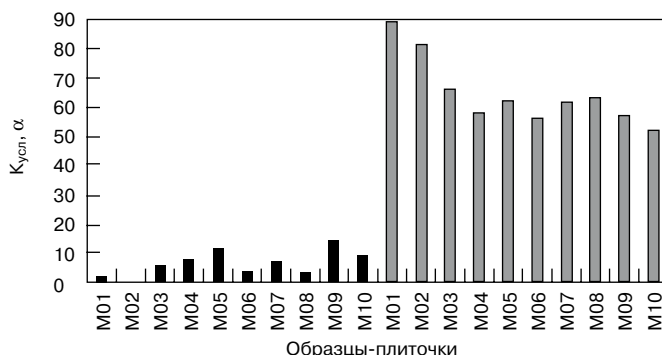


Рис. 6. Угол скатывания для образцов: ■ – покрытых 5% ПМГС эмульсией; ▒ – покрытых 25% ПМГС эмульсией

сти, достигаемого при критическом угле скатывания (КУС) < 10° (рис. 6). Результаты показали, что при введении ПВА-волокна наблюдается снижение КУС для образцов, обработанных 5% эмульсией и демонстрируют значения в диапазоне 0–15°, где наилучшие показатели относятся к образцам M01 и M02 со значениями 3,3 и 0° соответственно. У образцов, покрытых 25% эмульсией, эффект скатывания капли достаточно низкий, а для образца M01-25% значение КУС превышает 90°, что говорит о полном отсутствии эффекта скатывания капли (рис. 6). Нужно заметить, что минимальные и максимальные КУС наблюдаются для образ-

разцов с фиброй, обработанные 5% и 25% эмульсиями соответственно. Таким образом, ПВС-волокна могут быть использованы для достижения супергидрофобного эффекта (при увеличении КУ более чем на 100% и формировании эффекта УС в сравнении с контрольными образцами). Сочетание субмикроразмерных частиц, обеспечивающих микро- и нанощероховатость, а также волокон в объеме бетонной матрицы, способствующих формированию иерархической структуры, позволяет добиться эффекта супергидрофобизации, как продемонстрировано на образцах с 5% содержанием тонкодисперсных частиц. Так, эти показатели для образцов M5% составили в среднем 140°, что превышает на 60% в сравнении образцами, покрытыми 25% эмульсией. Относительно критического угла скатывания для образцов M5% показатели 0–15° более чем на 100% превышают показатели для образцов M25%. Такая разница в результатах между двумя типами покрытий может быть объяснена тем, что 25% эмульсия создает на поверхности достаточно толстый гидрофобный слой, который полностью покрывает микро- и нанощероховатость, сглаживая таким образом поверхность и нарушая ее иерархичность. В отличие от этого 5% эмульсия покрывает поверхность тонким слоем, оставляя рельеф разноразмерной шероховатости за счет присутствующих микрочастиц и выступающей фибры.

Таким образом, предложена технология получения и применения эмульсий для бетонов на основе ПЦ, позволяющих осуществлять формирование, а также регулирование гидрофобных свойств материалов путем направленного формирования иерархической шероховатости и одновременной модификации поверхности. Технология позволяет получать супергидрофобный и супергидрофобный бетон с водоотталкивающими характеристиками, высокими значениями КУ и низкими значениями угла скатывания, который может быть использован в строительстве для обеспечения высоких показателей долговечности.

#### Список литературы/ References

1. Stefanidou M., Matziaris K.; Karagiannis G. *Geosciences*. 2013. No. 3, pp. 30–45.
2. Sobolev K., Flores, I., Hermosillo, R., Torres-Martinez L.M., Shah S. *Proceedings of the ACI Session on Nanotechnology of Concrete: Recent Developments and Future Perspectives*. Denver, CO. 2008. ACI SP-254. 93–120.
3. Marmur A. A. *Guide to the Equilibrium Contact Angle Maze. In Contact Angle Wettability and Adhesion*. Mittal, K. L., Ed.; Brill/VSP: Leiden, The Netherlands. 2009. Vol. 6, pp 3–18.



4. Flores-Vivian I., Hejazi V., Kozhukhova M.I., Nosonovsky M., Sobolev K. Self-Assembling Particle-Siloxane Coatings for Superhydrophobic Concrete. *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2013. No. 5, pp. 13284–13294.
5. Bormashenko E., Pogreb R., Whyman G., Bormashenko Y., Erlich M. *Applied Physics Letters*. 2007. No. 90. 201917.
6. Li W., Amirfazli A. *Soft Matter*. 2008. No. 4, pp. 462–466.
7. Choi C.-H., Kim C.-J. *Langmuir*. 2009. No. 25, pp. 7561–7567.
8. Tadmor R., Bahadur P., Leh, A., N'guessan H. E., Jaini R., Dang L. *Physical Review Letters*. 2009. No. 103, pp. 266101.
9. Zou M., Beckford S., Wei R., Ellis C., Hatton G., Miller M.A. Effects of surface roughness and energy on ice adhesion strength. *Applied Surface Science*. 2011. No. 257, pp. 3786–3792.
10. Sobolev K., Ferrada-Gutierrez M. *American Ceramic Society Bulletin*. 2005. No. 11, pp. 16–19.
11. Sobolev K., Batrakov V. *ASCE J. Journal of Materials in Civil Engineering*. 2007. No. 19, pp. 809–819.
12. Kietzig A. M., Hatzikiriakos S. G., Englezos P. *Langmuir*. 2009. No. 25, pp. 4821.
13. Nosonovsky M. *Langmuir*. 2007. No. 23, pp. 3157–3161.
14. Nosonovsky M. *Nature*. 2011. No. 477, pp. 412–413.
15. Nosonovsky M.; Bhushan, B. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2009. No.14, pp. 270–280.
16. Nosonovsky M., Hejazi V., Nyong A. E., Rohatgi P. K. *Langmuir*. 2011. No. 27, pp. 14419–14424.
17. Hejazi V., Sobolev K., Nosonovsky M. *Nat. Sci. Rep.* 2013. No. 3, p. 2194.
18. Ищенко К.М., Сулейманова Л.А., Жерновский И.В. О возможности и способах применения анионоактивных кремнийорганических гидрофобизаторов для обработки материалов на основе вспученного перлитового песка и отходов его производства // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2012. № 3. С. 60–63.
19. Ishchenko K.M., Suleimanova L.A., Zhernovskii I.V. On the possibility and ways of applying active anion silicone water repellents for the treatment of materials based on expanded perlite and its waste production. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2012. No. 3, pp. 60–63. (In Russian)
19. Стадничук В.И., Бессмертный В.С., Бондаренко Н.И., Дикуннова Л.М. Исследование кинетики формирования гидрофобных пленок на внутренней поверхности литейных керамических форм // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2011. № 4. С. 140–141.
20. Stadnichuk V. I., Bessmertnyi V. S., Bondarenko N. I., Dikunova L. M. Investigation of the kinetics of formation of hydrophobic film on the inner surface of the casting ceramic molds. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2011. No. 4, pp. 140–141. (In Russian)
20. Sobolev K., Tabatabai H., Zhao, J., Flores I., Muzenski S., Oliva M. G., Rauf R., Rivero R. *CFIRE Phase I*, May 4–9, 2013.
21. Sobolev K., Tabatabai H., Zhao J., Flores I., Muzenski S., Oliva M. G., Rauf R., Rivero R. *CFIRE Phase II*. June 5–10 2013.
22. Muzenski S. W., Flores-Vivan I., Beyene M. A., Sobolev K. Transportation Research Board 2014. 93rd Annual Meeting. Washington. DC (Submitted).
23. Miwa M., Nakajima A., Fujishima A., Hashimoto K., Watanabe T. *Langmuir*. 2000. No. 16.

ТОРГОВЫЙ ДОМ



**ИНТА-СТРОЙ**

000 «ТД «ИНТА-СТРОЙ», 644113, Омск, ул. 1-я Путевая, 100  
Тел.: (3812) 35 65 44, 35 65 45. E-mail: info@inta.ru. Http: www.inta.ru

Реклама

## ОБОРУДОВАНИЕ «ИНТА-СТРОЙ» ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### СМЕСИТЕЛЬ-ГРАНУЛЯТОР «КАСКАД-12»



**Назначение**

- Подготовка сырья для производства строительной керамики и полусухого прессования кирпича.
- «Каскад-12» может использоваться в других отраслях, где необходимо тщательное смешение компонентов с высокой степенью гомогенизации.

**Основные характеристики:**

- производительность, т/ч – 16;
- установленная мощность, кВт – 90;

- габариты (дл., шир., выс.), мм – 3629, 2174, 1155;
- масса, кг – 4350.

МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ    МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ    МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ

УДК 691.32

Г.В. НЕСВЕТАЕВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Г.С. КАРДУМЯН<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Ростовской государственной строительный университет (344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162)

<sup>2</sup> Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6)

## О применении цементных бетонов для дорожных и аэродромных покрытий

Определены количественные параметры основных рецептурных факторов, обеспечивающие возможность (при использовании качественных материалов) получения цементных бетонов для дорожных и аэродромных покрытий при величине В/Ц не более 0,34. На основе анализа пяти основных нормативных документов сформулированы предложения о корректировке нормативных требований к величине класса по прочности на сжатие указанных бетонов не ниже В45. Уточнено соотношение пределов прочности на растяжение при изгибе и сжатие по результатам исследований бетонов с пределом прочности на сжатие в диапазоне от 40 до 120 МПа. Показано, что перспективные для аэродромных покрытий бетоны класса В<sub>тб</sub> 5,2 требуют специальных решений по регулированию величины модуля упругости, что предопределяет актуальность исследований в этом направлении.

**Ключевые слова:** бетон для дорожных и аэродромных покрытий, нормативные требования, соотношение пределов прочности на сжатие и растяжение при изгибе, морозостойкость, модуль упругости.

G.V. NESVETAEV<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, G.S. KARDUMYAN<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences

<sup>1</sup> Rostov State University of Civil Engineering (162, Sotsialisticheskaya str., 344022 Rostov-on-Don, Russian Federation)

<sup>2</sup> Research, Design and Technological Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (6, 2nd Institutskaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

### On the application of cement concrete for road and airfield pavements

Quantitative parameters of basic composition factors ensuring the possibility to obtain (when using qualitative materials) cement concretes for road and airfield pavements when the value of W/C not more than 0.34 are determined. Proposals on the adjustment of the normative requirements to the value of compressive strength class of these concretes not below B45 are formulated on the basis of the analysis of five key normative documents. Ratios of tensile strength at bending and compressing are clarified on the basis of results of the study of concretes with compression strength within the range of 40–120 MPa. It is shown that concretes of B<sub>тб</sub> 5.2, prospective for airfield pavements, require special solutions for regulating the value of elasticity modulus, which predetermines the relevance of research in this direction.

**Keywords:** concrete for road and airfield pavements, normative requirements, ratio of tensile and compression strengths at bending, frost resistance, modulus of elasticity.

В связи с низким качеством автомобильных дорог, возрастанием интенсивности транспортных потоков и нагрузки на ось автомобилей в очередной раз рассматривается вопрос о массовом строительстве в России автомобильных дорог с применением цементных бетонов. В обсуждаемых планах Государственной компании «Автодор» намечено к 2030 г. построить 12000 км скоростных дорог, или порядка 800 км/год начиная с 2016 г. (по некоторым данным, в 2011 г. было построено около 300 км, в 2012 г. – 220 км федеральных дорог из асфальтобетона).

Требования к бетону конструктивных слоев автомобильных дорог с жесткими одеждами и к бетону аэродромных покрытий регламентируются в основном СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85\*» и СП 121.13330.2012 «Аэродромы. Актуализированная

редакция СНиП 32-03–96» (класс по прочности на растяжение при изгибе В<sub>тб</sub>4; марка по морозостойкости F100–F200(II) в зависимости от климатических условий) и ГОСТ 26633–2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».

С учетом положений ряда нормативных документов сводка требований и рекомендуемых ограничений к бетону для дорожных (дороги I и II категорий) и аэродромных покрытий приведена в табл. 1.

На основании представленных данных итоговые нормативные требования можно представить следующим образом:

– бетон: класс по прочности на сжатие не менее В45; класс по прочности на растяжение при изгибе не менее В<sub>тб</sub>4; марка по морозостойкости максимальная F200(II); В/Ц<0,45; расход портландцемента Ц>340; количество условно-замкнутых пор не менее 3,5%;

Таблица 1

Требования к бетону для конструктивных слоев автомобильных дорог и аэродромных покрытий

Нормативный документ	Требования к бетонной смеси, бетону и цементу							
	В <sub>тб</sub>	В	F	В/Ц	Ц, кг/м <sup>3</sup>	ВВ, %	С <sub>3</sub> A, %	Na <sub>2</sub> O, %
СП 34.13330.2012; СП 121.13330.2012	>4	>30	100–200(II)	–	–	–	–	–
ГОСТ 26633–2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия»	–	–	–	–	–	5–7; >3,5*	<7	<0,8
ГОСТ 31384–2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования» (XD3; XF4)	–	>45	–	<0,45	>340	>5	<7	–
ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости»	–	–	F100(II) =F400(I); F200(II) =F600(I)	–	–	–	–	–

\* Условно-замкнутая пористость.

**Таблица 2**  
Некоторые данные о соотношении пределов прочности на растяжение при изгибе и осевое растяжение (согласно [1])

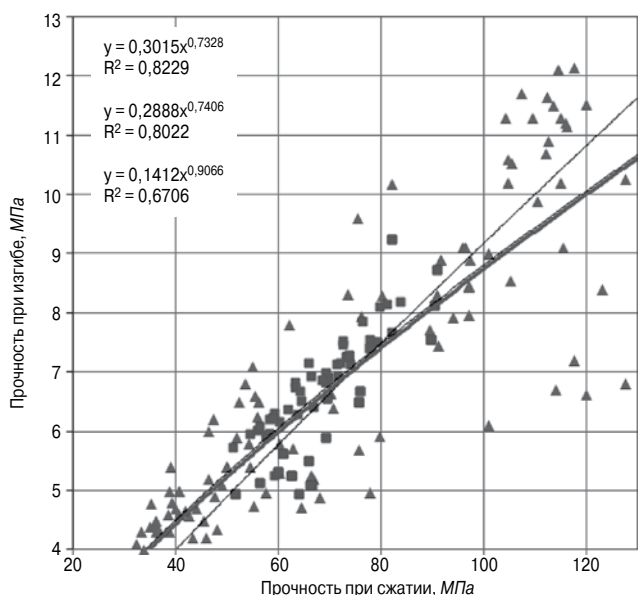
№	Автор	Значение $\gamma$		
		$\gamma$	Диапазон	Количество данных в анализе
1	Белый Д.Ф.	1,41	–	–
2	Чуприн В.Д.	–	1,3–1,9	–
3	Залесов А.С.	1,752	–	–
4	Гусев К.П.	>1,8	–	–
5	Лермит Р.	–	1,309–1,732	–
6	Попов В.П.	1,41	–	–
7	Несветаев Г.В.* – балки ж/б – призмы из тяжелого бетона	1,487	до 3,85	46
		1,547	до 2,91	196

\* По данным литературного обзора.

– бетонная смесь: количество вовлеченного воздуха  $ВВ=5–7\%$ ;  
– требования к портландцементу:  $C_3A < 7\%$ ;  
 $Na_2O < 0,8\%$ .

Для оценки возможности производства в массовом количестве бетонов с указанными свойствами необходимо, в частности:

- определить область значений В/Ц, обеспечивающих требуемые показатели по прочности бетона на растяжение при изгибе;
- оценить возможность получения при установленных значениях В/Ц требуемой морозостойкости бетона;
- уточнить соотношение величин предела прочности на сжатие и изгиб, а также влияние вовлеченного воздуха на предел прочности бетона на сжатие и изгиб, поскольку указанные известные зависимости были получены в свое время статистической обработкой различных баз данных и специфика структуры и свойств



**Рис. 1.** Соотношение пределов прочности тяжелых бетонов на растяжение при изгибе и при сжатии: ▲ – по данным, приведенным в указанных выше работах; ■ – по данным Г.С. Кардунян; — по формуле (1)

бетонов для дорожных и аэродромных покрытий может потребовать их корректировки.

Соотношение пределов прочности на сжатие  $R$  и изгиб  $R_f$  может быть задано непосредственно, например как в ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» ( $R_f=0,12R$ ), либо косвенно в виде соотношения пределов прочности на изгиб и осевое растяжение  $R_f(R_f=f(R))$ , например  $R_f=1,82R$ , согласно тому же ГОСТу.

Однако приведенные в указанном ГОСТе соотношения ограничены классом бетона В40 и с учетом вышеизложенных требований к бетону (предел прочности на сжатие не менее В45) не могут быть применены без уточнения.

В табл. 2 представлены некоторые данные о соотношении пределов прочностей бетона на растяжение при изгибе и осевое растяжение  $R_f=\gamma R$ .

Из табл. 2 следует, что значение величины  $\gamma$  может изменяться в довольно широком диапазоне. Величина  $\gamma$ , строго говоря, является не коэффициентом, а функцией, зависящей от геометрических размеров образца и деформационных свойств бетона. Согласно EN 1992 EUROCODE 2 Железобетонные конструкции. Проектирование, расчеты, параметры для призм со стороной основания 100 мм, эта величина составляет 1,6, по ГОСТ 10180–2012 – 1,82. В [1] предложена зависимость, согласно которой для статистических значений деформационных характеристик тяжелого бетона величина  $\gamma$  составляет 1,39, т. е. определенное несоответствие очевидно.

Для уточнения зависимости  $R_f=f(R)$  сформирован массив, включающий две группы данных:

- результаты исследований, представленные в указанных работах (В.В. Ядыкина, В.А. Гричаников. Дорожный бетон с наполнителями и заполнителями из техногенного сырья / Бетон и железобетон – пути развития: 2-я Межд. конф. по бетону и железобетону. М., 2005. Т. 5. С. 158–164; В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. Противоморозные добавки / Добавки в бетон: Справочное пособие. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.; М.-Н. Zhang, T.F. Ronning, O.E. Gjorv. Mechanical properties of high-strength concrete / High-strength concrete 1993, Lillehammer, Norway. Proceedings. V. 2. Pp. 1271–1279; К.-Е. Ramdane. Punching shear of high performance concrete slabs / Utilization of high strength / high performance concrete. 4 International conf. Paris, 1996. Pp. 1015–1026; Y. Matsufuji, H. Kohata, K. Tagaya, et. all study on properties of concrete with ultra-fine particles produced from fly ash. – Fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete. 4 International conf. Istanbul, 1992. Pp. 351 – 366; SINTEF Report 4.4. STF 65 F 89020. NTNF, Trondheim, 1989), полученные на бетонах с прочностью на сжатие от 21,2 до 119,8 МПа и прочностью на растяжение при изгибе от 2,7 до 9,25 МПа, всего 95 значений в возрасте от 3 до 91 сут (рис. 1);

– результаты экспериментальных исследований, выполненных в разное время в НИИЖБ (Г.С. Кардунян) на бетонах с прочностью на сжатие от 51,6 до 90,8 МПа и прочностью на растяжение при изгибе от 4,95 до 9,25 МПа, всего 86 значений в возрасте от 3 до 90 сут (рис. 1).

Из представленных на рис. 1 данных следует, что соотношение прочностей на растяжение при изгибе и сжатии для обеих групп данных (рис. 1) достаточно удовлетворительно ( $R^2=0,8$ ) описывается зависимостью вида:

$$R_f = 0,29 \cdot R^{0,74}. \quad (1)$$

Значения В/Ц для получения требуемых показателей прочности и морозостойкости бетона могут быть определены, например, из известных зависимостей:



Таблица 3

Расчетные значения величин прочности и морозостойкости бетонов по формулам (1–7)

Показатель	Значение показателя при ВВ = 6% и величине В/Ц				
	0,28	0,31	0,34	0,37	0,4
$R_f$ по формуле (2) при $k = 0,025$ МПа	6,79	6,11	5,56	5,09	4,69
$B_{tb}$ при $V^1 = 0,16$	4,8	4,4	4	3,6	3,2
$R_f$ по формуле (2) при $k = 0,035$ МПа	6,31	5,68	5,16	4,73	4,36
$B_{tb}$ при $V^1 = 0,16$	4,4	4	3,6	3,2	3,2
$R$ по формуле (4) при $f(BB)$ по формуле (5), МПа	70,9	61,6	54,1	48,1	43,2
$B_{tb}$ при $V^1 = 0,135$	55	45	40	35	30
$R$ по формуле (4) при $f(BB)$ по формуле (6), МПа	63,8	55,4	48,7	43,5	38,9
$B_{tb}$ при $V^1 = 0,135$	50	40	35	30	27,5
$F(I)$ , циклы	1780	1020	625 <sup>2</sup>	405	275
$R_f$ по формуле (1) при $R$ по формуле (4) при $f(BB)$ по формуле (5), МПа	6,79	6,11	5,56	5,1	4,7
$R_f$ по формуле (1) при $R$ по формуле (4) при $f(BB)$ по формуле (6), МПа	6,28	5,66	5,15	4,72	4,36

<sup>1</sup> коэффициент вариации прочности; <sup>2</sup> F200 (II) = F600 (I).

Таблица 4

Ориентировочное соотношение между классами бетона по прочности

На сжатие, В	35–40	40–45	45–55	55–60	60–65	65–70
На растяжение при изгибе, $B_{tb}$	4	4,4	4,8	5,2	5,6	6

– прочность на растяжение при изгибе по формуле СоюздорНИИ (при  $k=0,025$ ) согласно «Рекомендациям по применению пластифицирующих добавок нового поколения для бетонов в дорожном строительстве» (Москва, Росавтодор, 2003):

$$R_f = 0,39 \cdot R_{II}^n \cdot (1 - k \cdot BB) \cdot \left(\frac{\Pi}{B} - 0,1\right), \quad (2)$$

откуда:

$$\frac{\Pi}{B} = \frac{R_f}{0,39 \cdot R_{II}^n \cdot (1 - k \cdot BB)} + 0,1; \quad (3)$$

– прочность на сжатие с учетом воздухововлечения согласно [2]:

$$R = f(BB) \cdot \frac{a \cdot R_{II}}{\left(\frac{B}{\Pi}\right)^{1,39}}, \quad (4)$$

где  $f(BB)$  – функция, учитывающая снижение прочности при воздухововлечении, в качестве которой могут использоваться зависимости, приведенные в [2]:

$$f(BB) = (1 - BB)^{3,3} \quad (5)$$

или

$$f(BB) = \exp(-5,15 \cdot BB); \quad (6)$$

– морозостойкость согласно [2]:

$$F = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot 2 \cdot \left(\frac{B}{\Pi}\right)^{-5,7} + \Delta F; \quad (7)$$

где  $k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты, учитывающие влияние минералогического состава клинкера и вещественного состава цемента, свойств заполнителей и условий твердения;  $\Delta F$  учитывает влияние вовлеченного воздуха на морозостойкость бетона.

В табл. 3 представлены значения величин прочности и морозостойкости бетона, полученные по формулам (1–7) для следующих условий: ПЦ 500,  $R_{II}=49$  МПа,

$R_{II}^n=5,8$  МПа; значения  $k_i$  и  $\Delta F$  в формуле (7) минимальные.

Из представленных в табл. 3 данных следует:

- условия обеспечения класса по прочности на сжатие не менее В45, класса по прочности на изгиб не менее В<sub>tb</sub>4, марки бетона по морозостойкости F200(II)=F600(I) выполняются при В/Ц не более 0,31, причем марка по морозостойкости обеспечивается с некоторым запасом;
- значения величин  $R_f$ , полученные по формулам (1) и (2), очень близки, что можно рассматривать как свидетельство объективности указанных формул;
- необходимо уточнить влияние воздухововлечения на предел прочности бетонов классов В45 и выше.

Представленные в табл. 3 данные являются расчетными. Но поскольку они получены на основе эмпирических зависимостей, установленных в результате обработки многочисленных экспериментальных данных, можно утверждать, что при соблюдении общеизвестных требований к качеству материалов и техноло-

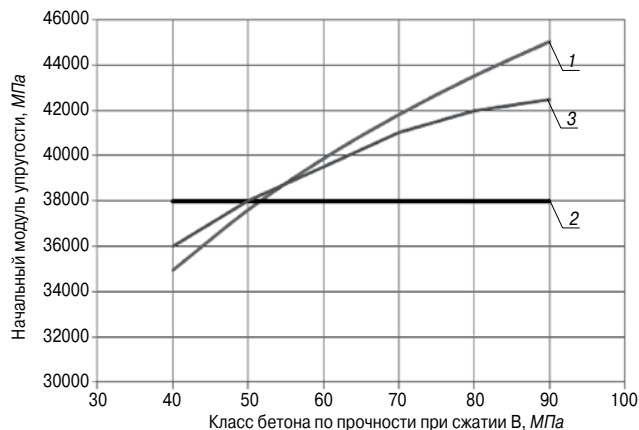


Рис. 2. Соотношение между классами бетона по прочности при сжатии и начальным модулем упругости ( $E_0$  – по формуле 8): 1 –  $E_0$ ; 2 –  $[E_0]$ ; 3 – СП 63.13330.2012

гии производства бетонных работ получение бетонов для дорожных и аэродромных покрытий соответствующего качества в массовом производстве вполне возможно.

В части совершенствования конструкций цементобетонных покрытий приоритетным является снижение толщины покрытий за счет использования бетонов с более высокими прочностными показателями при сохранении показателей морозостойкости и одновременной экономии цемента. В последние годы за рубежом и в России все шире применяются высокопрочные бетоны (класс по прочности на сжатие не ниже В50), в том числе и в транспортном строительстве. Применение высокопрочных бетонов позволяет уменьшить толщину покрытий и соответственно их материалоемкость, повысить темпы строительства. В частности, Росавиацией рассматривается вопрос о применении бетона класса по прочности на растяжение при изгибе  $B_{тб}5,2$  для строительства цементобетонных покрытий современных ВПП аэродромов, но при этом модуль упругости бетона ограничивается величиной не более 38 ГПа.

Как известно, начальный модуль упругости бетона  $E_0$  среднестатистически связан с пределом призмной прочности  $R_{pr}$  зависимостью [2]:

$$E_0 = \frac{0,05R_{pr}^2 + 57,2R_{pr} + 217}{32,8 + R_{pr}} \quad (8)$$

Оценим предварительно, учитывая среднестатистические соотношения между классами бетонов по прочности на сжатие и на растяжение при изгибе (табл. 4), возможность выполнения указанных требований (рис. 2).

Как следует из представленных на рис. 2 данных, условие  $E_0=38$  ГПа может быть среднестатистически

получено для бетонов классов до В50, тогда как класс по прочности на растяжение при изгибе  $B_{тб}5,2$  обеспечивается при более высоких классах бетона по прочности на сжатие. В связи с этим для снижения величины модуля упругости высокопрочного бетона следует использовать управление рецептурно-технологическими факторами. Этот вопрос требует специальных исследований.

#### Список литературы

1. Несветаев Г.В. *Закономерности деформирования и прогнозирование стойкости бетонов при силовых и температурных воздействиях (методология и принципы рецептурно-технологического регулирования)*. Дисс. д-ра техн. наук. Ростов-на-Дону: РГСУ, 1998. 468 с.
2. Несветаев Г.В. *Бетоны*. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. 381 с.

#### References

1. Nesvetayev G.V. *Zakonomernosti deformirovaniya i prognozirovaniya stoikosti betonov pri silovykh i temperaturnykh vozdeystviyakh (metodologiya i printsiipy retsepturno-tekhnologicheskogo regulirovaniya) [Regularities of deformation and forecasting of firmness of concrete at power and temperature influences (methodology and the principles of prescription and technological regulation)]*: Thesis of Candidate of Technical Sciences. Rostov-on-Don: RGSU, 1998. 468 p.
2. Nesvetayev G.V. *Betony*. Rostov-on-Don: Phoenix, 2013. 381 p.



**10–12  
сентября  
2014 г.  
Нижний Новгород**

**Оргкомитет:  
140050, Московская обл.,  
п. Красково,  
ул. К. Маркса, д. 117,  
РГА  
Телефон:  
+7-916-501-36-56  
E-mail: gips@rescom.ru  
www.rosgips.ru**

Российская гипсовая ассоциация  
Московский государственный строительный университет  
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН  
ГУП «НИИМосстрой»

**Седьмая Международная конференция  
«Повышение эффективности производства  
и применения гипсовых материалов и изделий»**

---

Тематика конференции:

- технический прогресс в области гипсовых материалов и изделий (исследования, производство и применение)
- ангидридные 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

---

Генеральный информационный спонсор: журнал 

# ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

## ТЕРМОВЛАЖНОСТНАЯ ОБРАБОТКА ЖБИ

- Экономия энергоресурсов до 700%
- Автоматизированная система управления

## ПРОГРЕВ ИНЕРТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

- Экономичность
- Высокая скорость прогрева
- Простота в обслуживании

[www.icet-ufa.ru](http://www.icet-ufa.ru)

# ИЦЕТ

ООО «Инженерный центр  
энергосберегающие технологии»

[info@icet-ufa.ru](mailto:info@icet-ufa.ru)

Тел./факс: +7 347 274-97-69

## КОМПЛЕКСНЫЕ РАБОТЫ

- Проектирование
- Производство оборудования
- Строительно-монтажные работы
- Пуско-наладочные работы
- Автоматизация процессов
- Сервисное и гарантийное обслуживание



# Выставке «Отечественные строительные материалы» 15 лет



Открытие XV выставки «Отечественные строительные материалы»

С 28 по 31 января 2014 г. в Москве в Центральном выставочном комплексе «Экспоцентр» состоялась XV выставка «Отечественные строительные материалы» (ОСМ). Организатор мероприятия – компания «Евроэкспо».

Количество участников ОСМ-2014 составило более 270 компаний из России, стран СНГ и зарубежья, которые представили свою продукцию на общей площади 9 тыс. м<sup>2</sup>.

В этом году форум собрал на своей площадке производителей и поставщиков строительных материалов и оборудования, дилеров, представителей розничной торговли, государственных структур, отраслевых союзов и ассоциаций. Обширная география экспонентов и посетителей выставки охватывает 79 субъектов РФ и 25 стран ближнего и дальнего зарубежья

Экспозиция «ОСМ-2014» – это прежде всего стеновые материалы, которые были представлены во всех возможных вариантах, от «классического» кирпича до пеностеклянных блоков.

«Керамическую» часть составили такие ведущие компании, как: «ЛСР. Стеновые–М» (Московская обл.), Норский керамический завод (Ярославль), «Винербергер-Кирпич» (Москва), Верхневолжский кирпичный завод (Тверская обл.), «Воротынский кирпич» (Калужская обл.), Маркинский кирпичный завод (Ростовская обл.), Радошковский керамический завод (Беларусь), «СБК» (Украина) и многие другие.

Технологическое оборудование для производства строительной керамики было представлено на стендах зарубежных компаний из Испании, Италии, Португалии, Франции.

Силикатные стеновые материалы продемонстрировали на своих стендах «Силикатстрой» (Нижегородская обл.), Ярославский завод силикатного кирпича, Липецкий силикатный завод, Старооскольский комбинат строительных материалов (Белгородская обл.), Ковровский завод силикатного кирпича (Владимирская обл.), Минский комбинат силикатных изделий (Беларусь) и др.

Среди новичков выставки следует отметить компанию «АйСиЭм Гласс Калуга», представителя стремительно развивающегося направления – выпуска пеностекла. В основе технологической модели «АйСиЭм Гласс Калуга»

лежат передовые научные разработки и мировые стандарты, которые позволили сделать производство полностью автоматизированным. Исходным сырьем для пеностеклянного щебня служит стеклобой. Таким образом, производство материала выполняет и важную экологическую задачу, способствуя эффективной переработке твердых бытовых отходов.

Первые в этом году Волгоградское научно-производственное объединение «Фуллерен» представило изоляционный материал КОРУНД. Покрытие этим материалом обеспечивает долговечную устойчивость поверхности к влаге и антикоррозийные свойства, что является следствием его сложного состава, в который входят не только керамические сферы малого диаметра, заполненные воздухом, но и различные добавки.

Второй год была организована спецэкспозиция «Древесина в строительстве», в которой приняли участие 22 компании. Экспоненты представили образцы конструкций и изделий из древесины, а также материалы для их защиты и крепежа. В рамках спецэкспозиции прошла конференция с международным участием «Современные материалы на основе древесины в промышленном и гражданском строительстве» (организаторы ЛДК ЦНИИСК, ЛесПромИнформ).

В пятый раз на выставке ОСМ была представлена экспозиция Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, в рамках которой белорусские



Председатель правления Ассоциации производителей силикатных изделий Н.В. Сомов вручает главе представительства компании Маза ГмБХ (Masa GmbH, Германия) в России, странах СНГ и Балтии А.К. Иванову свидетельство о членстве в АПСИ



ОАО «Минскдрев» (Республика Беларусь) производит деревянные оконные блоки с двухкамерными стеклопакетами, дверные блоки



Постоянный участник выставок ОСМ завод «Техприбор» (Тульская область) представил образцы сыпучих материалов, получаемых при использовании ударно-центробежных мельниц и автоматизированных мельничных комплексов



В конце 2013 г. состоялся промышленный пуск технологического комплекса «АйСиЭм Гласс Калуга». Завод стал первым в России предприятием по выпуску пеностеклянного щебня. Проектная мощность комплекса составляет 300 тыс. м<sup>3</sup> в год.



Завод «Маркинский кирпич», входящий в холдинг «Юнитайл» (UNITILE, Ростовская обл.), представил варианты современного облицовочного кирпича, для которого используют уникальные глины Владимирского карьера тугоплавких глин. Предприятие будет принимать у себя участников МИАП «Керамтекс-2014»



Завод герметизирующих материалов (Нижегородская обл.) продемонстрировал новинку – морозостойкий герметик Абрис® С<sub>м</sub>, который обладает повышенной пластичностью и высокой адгезией к холодным поверхностям

производители продемонстрировали свой богатый потенциал, а российские потребители познакомились с широким спектром качественных строительных материалов и услуг.

При формировании деловой программы выставки были учтены последние тенденции на рынке производства строительных материалов, внедрения инновационных технологий в России и в мире. Тема развития строительной индустрии была широко освещена в рамках Всероссийской научно-практической конференции «Энергоэффективные здания сегодня. Нормы и практика их применения». Кроме того, несомненный интерес экспонентов и посетителей выставки вызвали круглые столы: «Снижение себестоимости стеновых керамических материалов за счет оптимизации производственных процессов» (организатор Ассоциация производителей керамических материалов); «Зеленые технологии в строительстве. Сегодняшние реалии в России, международный опыт. Перспективы развития» (организатор Ассоциация производителей керамических стеновых материалов), а также семинары «Применение изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения» (организатор компания «ЭКО-Золотпродукт Рязань») и «Применение пенобетона СОВБИ в строительстве и реконструкции зданий, дорог, теплоизоляции труб» (организатор «АДС СОВБИ-Строй»).

Следует отметить, что постоянный состав участников выставки составляет около 75%. Это значит, что результаты от участия в предыдущих выставках оправдали себя и компании получили ожидаемую отдачу.

Несмотря на суровые январские холода, выставку посетили более 14 тыс. человек. 87% посетителей – специалисты строительной отрасли (согласно статистическим данным аудита, проведенного компанией Russcom IT Systems).

По мнению посетителей, выставка ОСМ – прекрасная возможность в преддверии строительного сезона получить точную и достоверную информацию о последних новинках и разработках ведущих отечественных и зарубежных производителей.

**XVI специализированная выставка  
«Отечественные строительные материалы»  
состоится 27–30 января 2015 г.**



Старооскольский комбинат строительных материалов на рынке ячеистого бетона с 1976 г. Основная продукция – газосиликатные стеновые блоки



Сверхтонкая изоляция КОРУНД на стенде ЗАО ИК «Восхождение»



Компания «Бонолит – строительные решения» (Московская обл.), входящая в Некоммерческую ассоциацию автоклавного газобетона, показала свою продукцию – стеновые блоки из ячеистого бетона автоклавного твердения



Компания «Талион Трейдинг» (Санкт-Петербург) занимается продвижением ЛВЛ торговой марки Ultralam – многослойного клееного бруса из шпона



ЗАВОД  
**ТЕХПРИБОР**

г. Щекино Тульская обл.  
**ПРЕДЛАГАЕТ**

# Автоматизированные мельничные комплексы

## «Трибокинетика-6000»

### для производства минерального порошка



*В 2013 году реализовано  
20 мельничных комплексов*

*«Трибокинетика»!*

*8 (48751) 4-87-27*

*2 года гарантии*

*Сделано в России!*

*2 950 000 р. с НДС*

*✓ В наличии!*

**www.tpribor.ru**

# ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ

## лучшая основа для производства современных сухих строительных смесей



Применение в рецептуре сухих строительных смесей высокопрочного гипса позволяет придать продуктам высокие прочность и адгезию, обеспечить отсутствие усадки и растрескивания.

### Преимущества применения ГВВС в штукатурках:

- Низкий расход смеси (до 6,5 - 7 кг на кв./м);
- Высокая прочность;
- Повышение пластичности;
- Трещиностойкость;
- Белый цвет минимизирует затраты на последующую отделку;
- Выделение большего количества гипсового молочка при гляцевании - не требует шпатлевания;
- Снижение трудозатрат в 1,5 раза за счет низкой плотности.

### Преимущества применения ГВВС в наливных полах:

- Прочность от 20 МПа;
- Трещиностойкость;
- Лучшая текучесть (до 50%) в сравнении с низкомарочным гипсом;
- Время технологического прохода через 4 часа;
- Применение для первоначального и финишного выравнивания.

### Преимущества применения ГВВС в шпатлевках:

- Пластичность;
- Высокая адгезия (более 0,5 МПа);
- Гарантированная тонина помола не более 1% на сите 0,2;
- Высокая белизна;
- Нанесение гладким слоем без полос – сокращает затраты на повторное выравнивание.

### Преимущества применения ГВВС в монтажных клеях:

- Высокая прочность от 10 МПа;
- Уменьшение (либо полное исключение) количества полимерного порошка в составах ССС;
- Дополнительное армирование конструкции;
- Возможность шпатлевания стыков за счет тонкой дисперсности.



**Ленгесов Дмитрий Николаевич** –  
руководитель направления отрасли  
производителей сухих строительных смесей

тел.: +7 (846) 955-14-22 (доб. 4027)

моб.: +7 (927) 002-38-98

e-mail: lengesov@samaragips.ru

**СТЖ**  
САМАРСКИЙ ГИПСОВЫЙ КОМБИНАТ

ЗАО «Самарский Гипсовый Комбинат»

г. Самара, ул. Береговая, 9А

www.samaragips.ru

УДК 691.32

Н.Н. ЧЕРНОУСОВ, канд. техн. наук, Р.Н. ЧЕРНОУСОВ, канд. техн. наук, А.В. СУХАНОВ, инженер  
Липецкий государственный технический университет (398600, Липецк, ул. Московская, 30)

## Моделирование механики работы мелкозернистого цементно-песчаного бетона при осевом растяжении

Проведены исследования прочностных и деформативных свойств мелкозернистых песчаных бетонов (МЗБ) с целью выявить наиболее подходящие зависимости для выражения параметров кривизны диаграммы растяжения МЗБ при осевом растяжении через прочность бетона на сжатие и на растяжение. Исследования проводились на опытных образцах в виде «восьмерок», в состав которых в качестве упругого элемента добавлялась фибра. Образцы испытывались в специально разработанном устройстве, позволяющем осуществлять квазистатическое нагружение и определять деформации образца при растяжении. В ходе анализа экспериментальных данных получены новые зависимости для вычисления параметров кривизны диаграммы растяжения МЗБ, подобраны корректирующие коэффициенты для этих зависимостей, значение которых рекомендуется использовать в расчетах по диаграммной методике.

**Ключевые слова:** осевое растяжение, мелкозернистый песчаный бетон, диаграмма растяжения, параметры кривизны.

N.N. CHERNOUSOV, Candidate of Technical Sciences, R.N. CHERNOUSOV, Candidate of Technical Sciences, A.V. SUKHANOV, engineer, Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya str., Lipetsk, 398600, Russian Federation)

### Simulation of Operation Mechanics of Fine Graded Cement-Sand Concrete at Axial Tension

Investigations of strength and deformation properties of fine graded sandy concretes (FSC) with the purpose to reveal the most suitable dependences for expression of the curvature parameters of the diagram of FSC tensile in the course of axial tension through the compressive and tensile strengths of concrete were conducted. Studies were conducted on the experimental samples in the form of «eights», their compositions were added with the fiber as an elastic element. The samples were tested in a specially designed device which made it possible to carry out the quasi-static loading and determine the tensile deformation of the sample. In the course of analysis of experimental data new dependencies for calculating the curvature parameters of the diagram of FSC tension were obtained, adjustment coefficients for these dependencies, values of which are recommended to use in calculations according to the diagram technique, were selected.

**Keywords:** axial tension, fine graded sandy concrete, tension diagram, curvature parameters.

В производстве изделий и конструкций дорожного назначения нашел широкое применение композиционный материал – сталефибробетон (СФБ), бетонная матрица в котором представляет собой мелкозернистый цементно-песчаный бетон (МЗБ) [1].

Так как работа СФБ конструкций зависит от свойств матрицы, проведены исследования прочностных и де-

формативных свойств МЗБ при осевом растяжении на опытных образцах в виде «восьмерок» толщиной 40 мм, которые испытывались в специально разработанном устройстве [2].

Для решения ряда статически неопределимых, температурных и других задач, связанных с перераспределением напряжений в материалах и конструкциях, необходимо получить зависимости напряжение–деформация МЗБ при осевом растяжении на нисходящей ветви диаграммы.

Для решения ряда статически неопределимых, температурных и других задач, связанных с перераспределением напряжений в материалах и конструкциях, необходимо получить зависимости напряжение–деформация МЗБ при осевом растяжении на нисходящей ветви диаграммы. Постановка экспериментов с целью исследования работы бетона и построения нисходящей ветви диаграммы связана с рядом трудностей, обусловленных быстрыми деструктивными процессами в материале на стадии его разрушения, что приводит к построению неполной диаграммы зависимости, низкой информативности данных о работе материала. Один из способов получения полной диаграммы усилия–деформация для бетона при осевом растяжении заключается в прикреплении к граням (или включении в состав) бетонного образца упругих накладок или арматуры и вычитании из регистрируемой в результате опыта общей диаграммы упругих свойств накладок (Авторское свидетельство СССР № 1635049 кл. G 01 N 3/08, 1988).

Учитывая, что в СФБ армирующим элементом является стальная фибра, для получения полной диаграммы усилия–деформация для испытания образца из МЗБ при осевом растяжении в качестве упругого элемента логично использовать саму стальную фибру, расположенную в центре образца

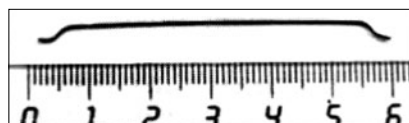


Рис. 1. Фибра для дисперсного армирования

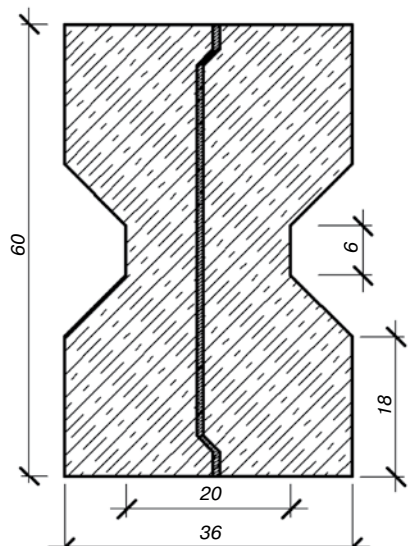


Рис. 2. Образец из сталефибробетона

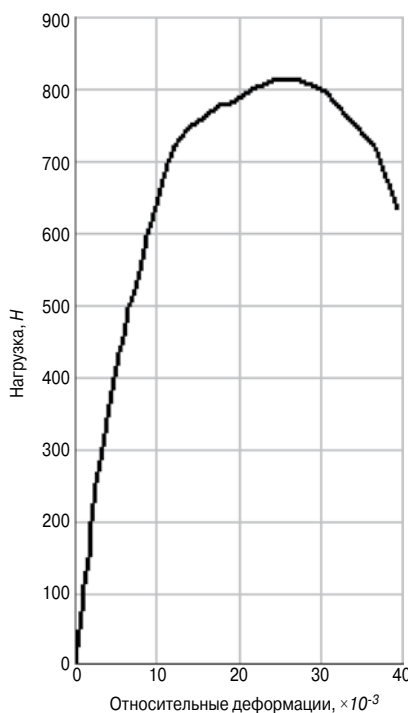


Рис. 3. Диаграмма деформирования стальной фибры



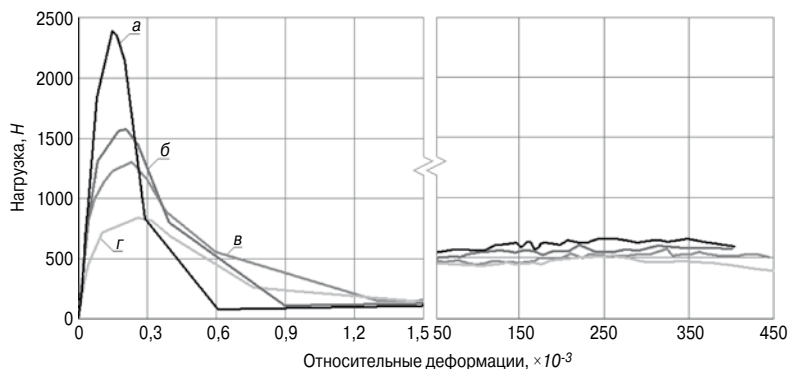


Рис. 4. Усредненные эмпирические зависимости усилие–деформация: а – 1-я серия (Ц/П=1:1); б – 2-я серия (Ц/П=1:1,5); в – 3-я серия (Ц/П=1:2); г – 4-я серия (Ц/П=1:3)

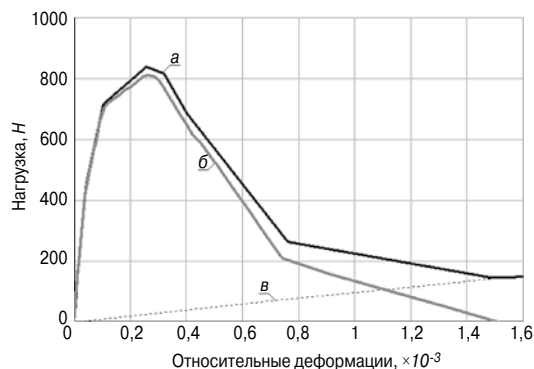


Рис. 5. Полная диаграмма МЗБ усилие–деформация, построенная по результатам 4-й серии испытаний: а – диаграмма растяжения СФБ образца; б – диаграмма растяжения МЗБ; в – диаграмма растяжения фибры

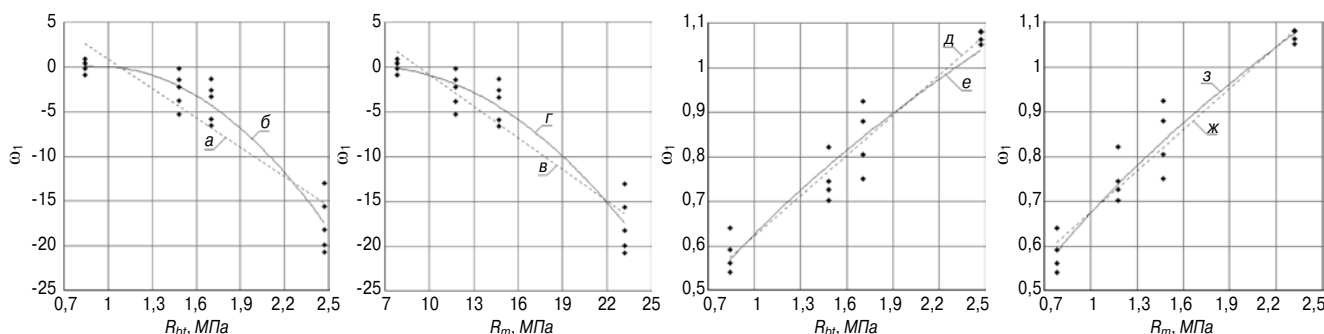


Рис. 6. Аппроксимации зависимостей параметров кривизны диаграммы растяжения МЗБ от прочности при сжатии и растяжении (обозначения даны согласно табл. 2)

(рис. 1, 2). Использование стальной фибры оправданно также необходимостью учета работы армирующих волокон в матрице бетона при физически нелинейном расчете сталефибробетонных конструкций с трещинами [3]. Результаты испытаний образцов с использованием фибры в качестве упругого элемента могут быть полезны при расчете элементов конструкций по диаграммной методике [4–7].

В проведенных исследованиях использованы рубленные из стальной проволоки волокна фибры «Драмикс» (Бельгия) диаметром 0,8 мм, длиной 60 мм. Диаграмма деформирования стальной фибры приведена на рис. 3.

Испытывались четыре серии по три образца в каждой, в которых варьировалось отношение цемента к песку (Ц/П) 1:1, 1:1,5, 1:2, 1:3 соответственно. Для изготовления образцов использовался цемент марки ПЦ-500 D0 Липецкого цементного завода и кварцевый песок с модулем крупности  $M_{кр}=1,9–2,1$  Стебаевского карьера. Водоцементное отношение составляло 0,4–0,5.

Результаты испытаний опытных образцов на растяжение приведены на рис. 4.

Диаграмму усилие–деформация, полученную при осевом растяжении сталефибробетонного образца, условно можно разделить на два участка, как это сделано на рис. 4. На первом участке (до разрушения образца) осуществляется работа бетона и фибры, на втором участке – работа фибры и сил сцепления между бетонной матрицей и фиброй. Результаты, представленные на первом участке диаграммы, позволяют построить полную диаграмму МЗБ усилие–деформация, на втором участке – выявить аналитические зависимости для работы сил сцепления матрицы МЗБ и фибры.

Усилие в СФБ образце на участке, когда относительные деформации СФБ образца не превышают предельного значения относительных деформаций бетона ( $\epsilon_{fbt} \leq \epsilon_{but}$ ):

$$N_{fbt} = N_{bt} + N_{ft} \tag{1}$$

где  $N_{fbt}$ ,  $N_{bt}$ ,  $N_{ft}$  – усилия, создаваемые при растяжении в СФБ, в бетоне и фибре соответственно. Выразив усилие через напряжение и площадь поперечного сечения, получим зависимости (2):

$$\begin{aligned} N_{bt} &= \sigma_{bt} A_b = \epsilon_{fbt} E_{bt} A_b; & N_{ft} &= \sigma_{ft} A_f = \epsilon_{fbt} E_{ft} A_f; \\ N_{fbt} &= \epsilon_{fbt} (E_{bt} A_b + E_{ft} A_f), \end{aligned} \tag{2}$$

где  $\sigma_{bt}$  ( $\sigma_{ft}$ ) – напряжение в бетоне (фибре);  $A_b$  ( $A_f$ ) – площадь поперечного сечения бетона (фибры);  $E_{bt}$  ( $E_{ft}$ ) – модуль упругости бетона (фибры);  $\epsilon_{fbt}$  – относительные деформации СФБ образца. Из формул (1) и (2) можно выразить секущий модуль упругости при растяжении:

$$E'_{bt} = v_{bt} E_{bt} = \left( \frac{N_{fbt}}{\epsilon_{fbt}} - E_{ft} A_f \right) / A_b, \tag{3}$$

где  $v_{bt}$  – коэффициент изменения секущего модуля упругости бетона при растяжении.

Полная диаграмма МЗБ усилие–деформация для 4-й серии испытаний (Ц/П=1:3), полученная из формулы (3), приведена на рис. 5.

Одним из известных аналитических выражений, устанавливающих связь между напряжениями и деформациями бетона, является формула, предложенная Н.И. Карпенко [8, 9], когда используется коэффициент изменения секущего модуля, определяемый из условия:

$$v_{bt} = \hat{v}_{bt} \pm (v_0 - \hat{v}_{bt}) \sqrt{1 - \omega_1 \eta - \omega_2 \eta^2}, \tag{4}$$

где  $\hat{v}_{bt}$  – значение коэффициента изменения секущего модуля  $v_{bt}$  ( $1 \geq v_{bt} \geq 0$ ) в вершине диаграммы ( $\hat{v}_{bt} = \hat{\sigma}_{bt} / (\hat{\epsilon}_{bt} E_{bt}^0)$ ;  $\hat{\sigma}_{bt} = R_{bt}$ ,  $\hat{\epsilon}_{bt}$  – относительная деформация при максимальном напряжении;  $E_{bt}^0$  – начальное значение модуля упругости бетона при растяжении);  $\eta$  – уровень напря-

Таблица 1

№ серии	Ц/П	Прочность МЗБ, МПа		Значения параметра кривизны диаграммы растяжения МЗБ		
		Средние значения прочности при сжатии, $R_m$	Средние значения прочности при растяжении, $R_{bt}$	Уровень напряжений, $\eta$	Восходящая ветвь	Нисходящая ветвь
1	1:1	23,23	2,47	0,3	-19,93	-
				0,5	-13	1,08
				0,6	-20,69	1,07
				0,7	-15,63	1,06
				0,85	-18,22	1,09
2	1:1,5	14,72	1,7	0,3	-1,35	-
				0,5	-2,58	0,76
				0,6	-6,58	0,81
				0,7	-5,85	0,93
				0,85	-3,35	0,88
3	1:2	11,75	1,48	0,3	-1,41	-
				0,5	-5,31	0,7
				0,6	-0,15	0,73
				0,7	-3,81	0,75
				0,85	-2,25	0,82
4	1:3	7,83	0,84	0,3	-0,89	-
				0,5	-0,15	0,54
				0,6	0,45	0,56
				0,7	0,01	0,59
				0,85	0,89	0,64

жений ( $\eta = \sigma_{bt} / \hat{\sigma}_{bt}$ ,  $0 \leq \eta \leq 1$ );  $\nu_0$  – значение коэффициента в начале диаграммы ( $\nu_0 = 1$  при построении восходящей ветви диаграммы и  $\nu_0 = 2,05 \hat{\nu}_{bt}$  при построении нисходящей);  $\omega_1, \omega_2$  – параметры кривизны диаграммы.

В выражении (4) знак «плюс» используется в случае построения восходящей ветви диаграммы  $\sigma$ – $\epsilon$ , знак «минус» – нисходящей ветви.

Секущий модуль упругости бетона при любом значении напряжения определяется по формуле:

$$E'_{bt} = \frac{\sigma_{bt}}{\epsilon_{bt}} = \nu_{bt} E_{bt}^0 \quad (5)$$

В [8, 9] параметры кривизны диаграммы предложено определять по формулам:

– для восходящей ветви:

$$\omega_1 = 2 - 2,5 \hat{\nu}_{bt}, \omega_2 = 1 - \omega_1; \quad (6)$$

– для нисходящей ветви:

$$\omega_1 = 1,95 \hat{\nu}_{bt} - 0,138, \omega_2 = 1 - \omega_1. \quad (7)$$

Эти величины являются постоянными, а их значения можно вывести из (4):

– для восходящей ветви:

$$\omega_1 = \frac{1}{\eta^2 - \eta} \left( \frac{\nu_{bt} - \hat{\nu}_{bt}}{1 - \hat{\nu}_{bt}} \right)^2 + \frac{\eta + 1}{\eta}, \omega_2 = 1 - \omega_1; \quad (8)$$

– для нисходящей ветви:

$$\omega_1 = \frac{1}{\eta^2 - \eta} \left( \frac{\hat{\nu}_{bt} - \nu_{bt}}{1,05 \hat{\nu}_{bt}} \right)^2 + \frac{\eta + 1}{\eta}, \omega_2 = 1 - \omega_1. \quad (9)$$

Подставив в (8) и (9) значения коэффициента секущего модуля  $\nu_{bt,on}$ , вычисленные по формуле  $\nu_{bt,on} = \eta \hat{\sigma}_{bt,on} / (E_{bt,on}^0 \epsilon_{bt,on})$ ;  $\hat{\sigma}_{bt,on}, \epsilon_{bt,on}, E_{bt,on}^0$  – опытные значения максимального напряжения, относительных дефор-

маций и начального модуля упругости бетона при растяжении соответственно;  $\eta$  – уровень напряжений, соответствующий опытному значению коэффициента секущего модуля), получим выражения, позволяющие определить действительные значения параметров кривизны:

– для восходящей ветви:

$$\omega_1 = \frac{1}{\eta^2 - \eta} \left( \frac{\nu_{bt,on} - \hat{\nu}_{bt}}{1 - \hat{\nu}_{bt}} \right)^2 + \frac{\eta + 1}{\eta}, \omega_2 = 1 - \omega_1; \quad (10)$$

– для нисходящей ветви:

$$\omega_1 = \frac{1}{\eta^2 - \eta} \left( \frac{\hat{\nu}_{bt} - \nu_{bt,on}}{1,05 \hat{\nu}_{bt}} \right)^2 + \frac{\eta + 1}{\eta}, \omega_2 = 1 - \omega_1. \quad (11)$$

Вычислены значения параметров кривизны диаграммы растяжения для восходящей ветви при уровнях напряжения  $\eta = 0,3, 0,5, 0,6, 0,7$  и  $0,85$ , для нисходящей ветви – при уровнях напряжения  $\eta = 0,5, 0,6, 0,7$  и  $0,85$ . В табл. 1 приведены результаты вычислений  $\omega_1$  для каждой серии испытаний и соответствующие каждой серии испытаний средние значения прочности МЗБ при растяжении и сжатии [2].

В результате обработки опытных данных получены формулы, которые связывают значения параметров кривизны диаграммы растяжения МЗБ  $\omega_1$  с прочностью МЗБ при растяжении  $R_{bt}$  и сжатии  $R_m$ . Аппроксимации, а также значения их достоверности приведены в табл. 2. Графическое представление зависимостей показано на рис. 6.

Заметим, что, применив соотношение между прочностью МЗБ при растяжении и прочностью при сжатии  $R_{bt} = 0,3 \sqrt{R_m^2}$  [2], из формул, представленных в табл. 2, можно вывести более сложные зависимости  $\omega_1 = f(R_{bt}, R_m)$ , проверка достоверности которых требует дополнительных исследований.

Наибольшей достоверностью обладают следующие аппроксимации:

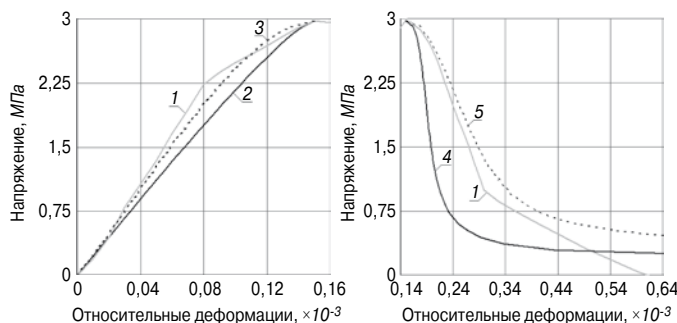


Рис. 7. Диаграмма  $\sigma$ - $\varepsilon$  растяжения МЗБ (1-я серия испытаний)

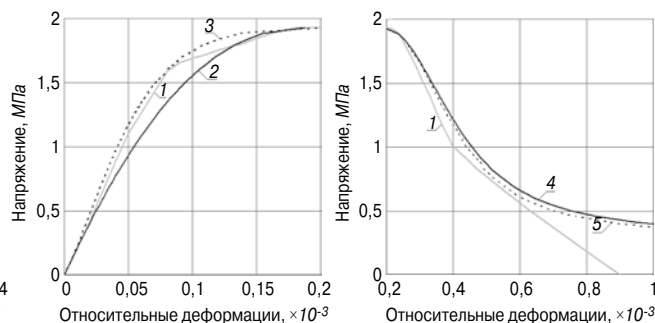


Рис. 8. Диаграмма  $\sigma$ - $\varepsilon$  растяжения МЗБ (2-я серия испытаний)

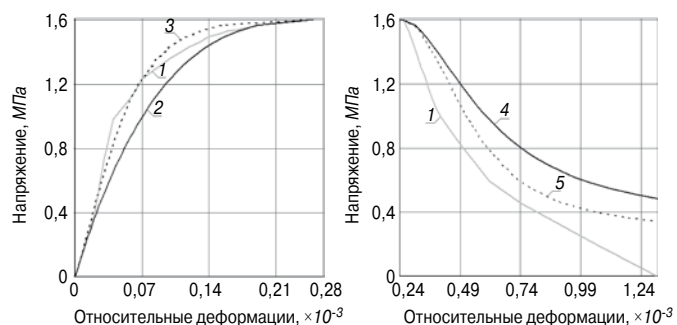


Рис. 9. Диаграмма  $\sigma$ - $\varepsilon$  растяжения МЗБ (3-я серия испытаний)

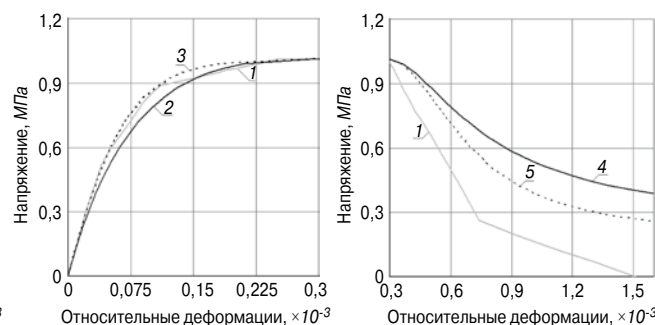


Рис. 10. Диаграмма  $\sigma$ - $\varepsilon$  растяжения МЗБ (4-я серия испытаний)

Таблица 2

Обозначение на рис. 6	Аппроксимация	Достоверность аппроксимации, $R^2$
Восходящая ветвь диаграммы		
а	$\omega_1 = 11(1 - R_{bt})$	0,8078
б	$\omega_1 = -7,4R_{bt}^2 + 14R_{bt} - 6$	0,9366
в	$\omega_1 = -1,2R_m + 10,8$	0,8972
г	$\omega_1 = -0,06R_m^2 + 0,7R_m - 2$	0,9183
Нисходящая ветвь диаграммы		
д	$\omega_1 = 0,3(1 + R_{bt})$	0,9347
е	$\omega_1 = 0,65\sqrt{R_{bt}}$	0,9156
ж	$\omega_1 = -0,03R_m + 0,4$	0,9261
з	$\omega_1 = 0,21\sqrt{R_m}$	0,9396

— для восходящей ветви:

$$\omega_1 = -7,4R_{bt}^2 + 14R_{bt} - 6; \quad (12)$$

— для нисходящей ветви:

$$\omega_1 = 0,21\sqrt{R_m}. \quad (13)$$

На рис. 7–10 представлены диаграммы растяжения МЗБ для четырех серий испытаний: кривые 1 – диаграммы растяжения МЗБ, построенные по экспериментальным данным; кривые 2 – восходящие ветви диаграмм растяжения, при построении которых параметры кривизны вычислены по формуле (6); восходящие ветви 3 диаграмм построены с использованием (12); кривые 4 – нисходящие ветви диаграмм растяжения, при построении которых параметры кривизны  $\omega_1$  вычислены по формуле (7); нисходящие ветви 5 диаграмм построены с использованием формулы (13).

#### Выводы

Для сближения значений, полученных с учетом экспериментальных данных при определении параметров кривизны диаграммы растяжения МЗБ из формул (10) и (11), с формулами (12) и (13) подобраны корректирующие коэффициенты, значение которых рекомендуется использовать в расчетах по диаграммной методике.

При вычислении  $\omega_1$  с использованием предложенных зависимостей для восходящей и нисходящей ветвей диаграммы растяжения МЗБ существенных расхождений с экспериментальными данными не наблюдается.

#### Список литературы

- Бабков В.В., Недосеко И.В., Дистанов Р.Ш., Ивлев М.А., Федотов Ю.Д., Струговец И.Б., Латыпов М.М. Сталефибробетон в производстве изделий и конструкций дорожного назначения // *Строительные материалы*. 2010. № 10. С. 40–45.
- Чернусов Н.Н., Чернусов Р.Н., Суханов А.В. Моделирование прочностных и деформативных свойств мелкозернистого цементно-песчаного бетона при осевом растяжении и сжатии // *Строительные материалы*. 2013. № 10. С. 12–14.

#### References

- Babkov V.V., Nedoseko I.V., Distanov R.Sh., Ivlev M.A., Fedotov Yu.D., Strugovets I.B., Latypov M.M. Steelfiberconcrete in the manufacture and construction of road use. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2010. No. 10, pp. 40–45 (In Russian).
- Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V. Modeling of strength and deformation properties of fine-grained sand-cement concrete under axial tension and compression. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2013. No. 10, pp. 12–14 (In Russian).

3. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Петров А.Н. Малоитерационный подход к физически нелинейному расчету железобетона с трещинами // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 7–9.
4. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н. Практическая методика расчета железобетонных плит на продавливание по различным схемам // *Бетон и железобетон*. 2012. № 5. С. 10–16.
5. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н. О диаграммной методике расчета деформаций стержневых элементов и ее частных случаях // *Бетон и железобетон*. 2012. № 6. С. 20–27.
6. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 28–30.
7. Abu-Lebdeh T., Hamoush S., Heard W., Zornig B. Effect of matrix strength on pullout behavior of steel fiber reinforced very-high strength concrete composites // *Construction and Buildings Materials*. 2011. No. 25, pp. 39–46.
8. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат. 1996. 412 с.
9. Карпенко Н.И., Радайкин О.В. К совершенствованию диаграмм деформирования бетона для определения момента трещинообразования и разрушающего момента в изгибаемых железобетонных элементах // *Строительство и реконструкция*. 2012. № 3. С. 10–16.
3. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Petrov A.N. Few iterative approach to a physically non-linear analysis of reinforced concrete with cracks. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2012. No. 6, pp. 7–9 (In Russian).
4. Karpenko N.I., Karpenko S.N. Practical calculation method of concrete slabs punching on various schemes. *Beton i zhelezobeton*. 2012. No. 5, pp. 10–16 (In Russian).
5. Karpenko N.I., Karpenko S.N. On the diagram method of calculating strain beam elements and its special cases. *Beton i zhelezobeton*. 2012. No. 6, pp. 20–27 (In Russian).
6. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaikin O.V. Analysis and improvement of curved concrete strain diagrams for the calculation of reinforced concrete structures on the deformation model. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 28–30 (In Russian).
7. Abu-Lebdeh T., Hamoush S., Heard W., Zornig B. Effect of matrix strength on pullout behavior of steel fiber reinforced very-high strength concrete composites. *Construction and Buildings Materials*. 2011. No. 25, pp. 39–46.
8. Karpenko N.I. *Obshchie modeli mekhaniki zhelezobetona [General mechanics model of reinforced concrete]*. M.: Stroizdat, 1996. 412 p. (In Russian).
9. Karpenko N.I., Radaikin O.V. To improve the strain diagrams of concrete to determine when cracking and damaging moment in bent reinforced concrete elements. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2012. No. 3, pp. 10–16 (In Russian).







# ГОРОД XXI ВЕКА

XIV Международная специализированная выставка

## 21-24 МАЯ/ 2013

ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ!

- ГЛАВНОЕ СОБЫТИЕ УДМУРТИИ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА
- ВСЕ ЗАСТРОЙЩИКИ ИЖЕВСКА В ОДНОМ МЕСТЕ
- ТЕРРИТОРИЯ ШИРОКИХ БИЗНЕС-ВОЗМОЖНОСТЕЙ
- ЗНАК КАЧЕСТВА ВСЕРОССИЙСКОГО КОНКУРСА НА ЛУЧШУЮ ПРОДУКЦИЮ
- ВСТРЕЧИ С ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ КЛИЕНТАМИ И ПАРТНЕРАМИ
- СТИМУЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ПРОДАЖ
- ЭФФЕКТИВНОЕ ВЛОЖЕНИЕ В БУДУЩЕЕ РАЗВИТИЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕМОНТ • ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
 • ГОРОДСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА •  
 ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ • ДЕРЕВООБРАБОТКА

Место проведения выставки:  
г. Ижевск, ул. Кооперативная, 9



ЧЛЕН  
РОССИЙСКОГО  
СОЮЗА ВЫСТАВОК  
И ЯРМАРОК

**Выставочный центр «УДМУРТИЯ»**  
 тел./факс: (3412) 733-581, 733-585, 733-587, 733-664  
 gorod@vcudm.ru | [www.gorod.vcudm.ru](http://www.gorod.vcudm.ru) | [vk.com/gorodxxiveka](https://vk.com/gorodxxiveka)

УДК 691.5

И.М. БАРАНОВ, канд. техн. наук

ООО «НТЦ ЭМИТ» (109316, Москва, Остаповский пр-д, 13, стр. 2)

# Проблемы нормирования свойств магнезиальных вяжущих строительного назначения и их решение<sup>1</sup>

Представлен уточненный вариант технических требований к новому ГОСТу на магнезиальные вяжущие строительного назначения, которые, путем контроля содержания среднезакристаллизованного оксида магния в вяжущем улучшают качественные показатели и обеспечивают более высокую водостойкость и долговечность магнезиальных изделий.

**Ключевые слова:** магнезиальные вяжущие, магнезит, доломит, брусит, периклаз.

I.M. BARANOV, Candidate of Technical Sciences,

ООО «NTTS EMIT» (Structure 2, 13, Ostapovsky Drive, Moscow, 109316, Russian Federation)

## Problems of Standardization of Properties of Magnesia Binders for Construction Purposes and Their Resolution<sup>1</sup>

A refined version of the technical requirements for the new GOST on a magnesium binder for building purposes, which, through the control of the content of medium-crystallized magnesium oxide in binders, improve their quality factors and ensure the greater water resistance and durability of magnesia products.

**Keywords:** magnesium binders, magnesite, dolomite, brucite, periclase.

Давно и хорошо известны достоинства магнезиальных вяжущих — этого прекрасного материала с достаточно высокими показателями плотности, прочности, адгезии, скорости набора прочности и практически полным отсутствием усадки [1–6 и др.].

Однако этот материал имеет и недостатки, выражающиеся в его невысокой водостойкости и возникновении в затвердевшем материале внутренних напряжений, вызывающих разрушение изделий [7–10 и др.]. Именно эти недостатки магнезиальных вяжущих из-за того, что технология их производства не имеет пока простых и четких методов определения реакционной способности MgO и контроля за содержанием недожога и пережога в вяжущем, являются причиной того, что в нашей строительной практике и сегодня эти вяжущие не имеют широкого применения.

Свойства магнезиальных вяжущих, получаемых путем обжига магнезиальных пород (магнезита, брусита, доломита) с последующим помолом, определяются активностью оксида магния (периклаза). При этом оксид магния, полученный при невысокой температуре (до 600°C), — так называемый недожог, представляет собой рыхлый, быстро гидратирующийся порошок. При повышении температуры обжига свыше 800°C у оксида магния наблюдается рост кристаллов и повышение плотности, затем MgO переходит в низкоактивную форму — пережог и скорость гидратации такого вяжущего резко снижается.

Именно поэтому магнезиальные вяжущие как высокоактивной так и низкоактивной формы не могут использоваться для строительных целей из-за склонности магнезиального камня к растрескиванию. Причем материал, состоящий из недожженного вяжущего, имеет очень низкую водостойкость и растрескивается уже в первые несколько суток после затворения, а материал из вяжущего, содержащего повышенное количество пережога, образует трещины после длительного твердения.

Таким образом, основной задачей технологии производства магнезиального вяжущего строительного на-

значения является выбор и поддержание такого режима обжига сырьевых компонентов, чтобы основной составляющей вяжущего была среднезакристаллизованная и среднеактивная MgO.

Для разрешения этой проблемы в последние годы нормативные требования к магнезиальному вяжущему по нашим и зарубежным стандартам в работах были подвергнуты анализу [11 и др.]. По его результатам было предложено пересмотреть ГОСТ 1216–87 и в разделе «Технические требования» скорректировать значения некоторых действующих показателей, а также ввести новые показатели, исполнение которых позволило бы контролировать содержание недожога и пережога в магнезиальном вяжущем строительного назначения и гарантировать его качество.

Вместе с тем нам представляется, что предложенные в [11 и др.] уточнения технических требований ГОСТ 1216–87 сегодня уже не в полной мере разрешают обозначенные проблемы. Кроме того, ни ГОСТ 1216–87, ни его уточнения не содержат требований к магнезиальным вяжущим, полученным из брусита и доломита, что совершенно не логично.

Разработанный авторами вариант технических требований к новому ГОСТу на магнезиальное вяжущее строительного назначения приведен в таблице и если также не содержит показателей, напрямую контролирующей активность MgO и содержание в вяжущем недожженного или пережженного MgO, то косвенным образом, за счет дополнительных показателей с уточненными их значениями сможет выполнять свое назначение.

В предлагаемых уточнениях недожог — слабоакристаллизованный, аморфный и высокоактивный MgO контролируется при определении следующих показателей (см. таблицу):

- по химическому составу контроль за качеством вяжущего ведется при проведении испытаний по пунктам: 1.2; 1.3; 1.4; 1.5; 1.9;
- по технологическим свойствам тот же контроль ведется по пунктам: 2.2; 2.3;

<sup>1</sup> Экспериментальные работы выполнены инженерами Л.Е. Воскресенской и А.В. Воскресенским (ООО «НТЦ ЭМИТ»).

<sup>1</sup> Experiments were conducted by engineers L.E. Voskresenskaya and A.V. Voskresensky (ООО «NTTS EMIT»)

№ п/п	Наименование показателей магнезиального вяжущего	Значения показателей для вяжущего, изготовленного из:			Характерные свойства вяжущего, устанавливаемые при проведении испытаний
		магнезита	брусита	доломита	
1	Требования к химическому составу:				
1.1	Содержание MgO, %, не менее, в том числе:	75	80	20	Устанавливает содержание свободной MgO
	– MgO слабозакристаллизованный, аморфный и высокоактивный;	Устанавливается косвенно при проведении испытаний по п.п. 2.2.; 2.3.; 3.1. и 3.3., ориентировочно: не более 8			Характеризует содержание недожога в свободной MgO
	– MgO среднезакристаллизованный и среднеактивный;	Тоже по п.п. 2.2.; 2.3.; 3.1.; 3.2.; 3.3. и 3.4., ориентировочно: 65      70      12			
	– MgO закристаллизованный и слабоактивный (периклаз)	Тоже по п.п. 2.2; 2.3.; 3.2. и 3.4., ориентировочно: не более 8			Характеризует содержание пережога в свободной MgO
1.2	Содержание MgCO <sub>3</sub> , %	0–5			У магнезита и доломита характеризует содержание недожога, а следовательно, и высокоактивной MgO
1.3	Содержание Mg(OH) <sub>2</sub> , %	0–5			Характеризует плохие условия хранения, а у брусита, кроме того, и содержание недожога
1.4	Содержание CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , %	–	0–5		Характеризует содержание недожога
1.5	Содержание CaO, %, не более, в том числе:	4,5		2,5	Устанавливает содержание свободной CaO
	– CaCO <sub>3</sub>	2		–	У магнезита и доломита характеризует содержание недожога
	– Ca(OH) <sub>2</sub>	1			Характеризует плохие условия хранения
	– CaO (пережог)	1,5			Характеризует содержание пережога
1.6	Содержание остатка, нерастворимого в HCl, %, не более	0–3,5			
1.7	Содержание Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	–			
1.8	Содержание SiO <sub>2</sub> , % по отношению к MgO	14–25			Повышает водостойкость затвердевшего материала
1.9	Потери при прокаливании (ППП), %, не более	0–8			Характеризует содержание недожога и плохие условия хранения
2	Требования к технологическим свойствам:				
2.1	Влажность, %, не более	1,5			Характеризует условия хранения
2.2	Плотность, г/см <sup>3</sup> , при:				
	– недожженном MgO	2,3–3,2		2–2,75	Зависит от размера кристаллов MgO
	– среднеактивном MgO	3,25–3,45		2,78–2,85	
	– пережженном MgO	3,5–3,6		2,85–3	
2.3	Насыпная плотность, уплотненная вибрированием, кг/л, при:				
	– недожженном MgO	0,9–0,95		<1,05	
	– среднеактивном MgO	1,15–1,25		1,05–1,1	
	– пережженном MgO	1,25–1,35		>1,1	
2.4	Остаток на сите 008, %, не более	25			Характеризует тонкость помола вяжущего
3	Требования к физико-механическим свойствам:				
3.1	Начало схватывания магнезиального теста нормальной густоты, мин, не ранее (ГОСТ 23789–79)	60			Характеризует содержание недожога
3.2	Конец схватывания магнезиального теста нормальной густоты, ч, не позднее (ГОСТ 23789–79)	6	8–12		Характеризует содержание пережога
3.3	Равномерность изменения объема	Лепешки после 1 сут твердения, обработанные паром, при 90°C не должны показывать искривлений, трещин и распада			Характеризует содержание недожога
3.4	Линейные деформации, мм/м, до стабилизации	± 1,25			Характеризует содержание пережога

№ п/п	Наименование показателей магнезиального вяжущего	Значения показателей для вяжущего, изготовленного из:			Характерные свойства вяжущего, устанавливаемые при проведении испытаний
		магнезита	брусита	доломита	
3.5	Прочность на изгиб при консистенции теста, определяемой по ГОСТ 23789-79, МПа, в возрасте 1 сут	7–10		2–3	Характеризует содержание недожога
3.6	Прочность на сжатие при консистенции теста, определяемой по ГОСТ 23789-79, МПа, в возрасте:				Характеризует активность вяжущего и содержание недожога
	– 1 сут	18–25		3–5	
	– 28 сут, не менее	45		20	Характеризует марку по прочности вяжущего
3.7	Снижение прочности при водонасыщении, %, не более	25		35	Характеризует водостойкость затвердевшего материала

**Примечание:** физико-механические свойства магнезиальных вяжущих определяли путем затворения вяжущих водным раствором  $MgCl_2$  плотностью  $1,22 \text{ г/см}^3$ .

– по физико-механическим свойствам соответствующий контроль ведется по пунктам: 3.1; 3.3; 3.5; 3.6.

Пережог – закристаллизованный и слабоактивный  $MgO$  контролируется при определении следующих показателей (см. табл.):

– по химическому составу соответствующий контроль ведется по пункту 1.5;

– по технологическим свойствам – соответственно по пунктам 2.2; 2.3;

– по физико-механическим свойствам – соответственно по пунктам: 3.2; 3.4.

В заключение следует отметить, что вопросы обеспечения более высокой водостойкости и нулевых деформаций магнезиальных изделий с помощью специальных добавок в настоящей работе не рассматривались.

#### Список литературы

1. Георги А.А., Бабичев А.А. Магнезиальные вяжущие для ксилолитовых полов // *Строительные материалы*. 1961. № 4. С. 18–19.
2. Смирнов Б.И., Соловьёва Е.С., Сегалова Е.Е. Исследование химического взаимодействия окиси магния с растворами хлористого магния различных концентраций // *Журнал прикладной химии*. 1967. № 40. С. 505–515.
3. Вотвад А.Я. Магнезиальные вяжущие вещества // *Зинатне*. 1971. С. 34–37.
4. Бутт Ю.М., Сычёв М.М., Тимашев В.В. *Химическая технология вяжущих материалов*. М.: Высшая школа. 1980. 323 с.
5. Верещагин В.И. Создание водостойкого магнезиального вяжущего на основе магнийсодержащих силикатов и цемента Сореля // *Материалы Всесоюзного совещания по химии цементов*. М. 1991. С. 76.
6. Зырянова В.Н. *Водостойкие композиционные магнезиальные вяжущие вещества на основе природного и техногенного сырья*. Дисс... д-р техн. наук. Томск. 2010. С. 36.
7. Корнеев В.И., Сизоненко А.П., Медведева И.Н., Новиков Е.П. Особо твердеющее магнезиальное вяжущее. Ч. 1. // *Цемент*. 1997. № 2. С. 25–28.
8. Корнеев В.И., Сизоненко А.П., Медведева И.Н., Новиков Е.П. Особо твердеющее магнезиальное вяжущее. Ч. 2. // *Цемент*. 1997. № 4. С. 33–36.
9. Черных Т.Н., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Свойства магнезиального вяжущего из бруситовой породы и их взаимосвязь с размерами кристаллов // *Строительные материалы*. 2006. № 1. С. 52–53.
10. Черных Т.Н., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. и др. Влияние степени закристаллизованности периклаза на свойства магнезиального вяжущего // *Вестник БГТУ*. 2005. № 9. С. 47–50.
11. Крамар Л.Я. О требованиях стандарта к магнезиальному вяжущему строительного назначения // *Строительные материалы*. 2006. № 1. С. 54–56

#### References

1. Georgi A.A., Babichev A.A. Magnesian knitting for the xylolite floors. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 1961. No. 4, pp. 18–19 (In Russian).
2. Smirnov B.I., Solov'eva E.S., Segalova E.E. Research of chemical interaction of an oxide of magnesium with solutions of chloride magnesium of various concentration. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 1967. No. 40, pp. 505–515 (In Russian).
3. Votvad A.Ya. Magnesian knitting substances. *Zinatne*. 1971. No. 4, pp. 34–37 (In Russian).
4. Butt Yu.M., Sychev M.M., Timashev V.V. *Khimicheskaya tekhnologiya vyazhushchikh materialov [Chemical technology of knitting materials]*. M.: Vysshaya shkola. 1980. 323 p. (In Russian).
5. Vereshchagin V.I. Creation waterproof magnesian knitting on a basis the magniysoderzhashchikh of silicates and Sorel's cement. *Materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya po khimii tsementov [Materials All-Union Conference on Chemistry cements]*. M. 1991. P. 76 (In Russian).
6. Zyryanova V.N. *Vodostoikiye kompozitsionnye magnezial'nye vyazhushchie veshchestva na osnove prirodnogo i tekhnogen-nogo syr'ya [Waterproof composite magnesian knitting substances on the basis of natural and technogenic raw materials]* Diss... d-r techn. siens. Tomsk. 2010. 36 p. (In Russian).
7. Korneev V.I., Sizonenko A.P., Medvedeva I.N., Novikov E.P. Especially hardening magnesian knitting. Part 1. *Tsement*. 1997. No. 2, pp. 25–28 (In Russian).
8. Korneev V.I., Sizonenko A.P., Medvedeva I.N., Novikov E.P. Especially hardening magnesian knitting. Part 2. *Tsement*. 1997. No. 4, pp. 33–36 (In Russian).
9. Chernykh T.N., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya. Properties magnesian knitting from brusitovy breed and their interrelation with the sizes of crystal. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2006. No. 1, pp. 52–53 (In Russian).
10. Chernykh T.N., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya. i dr. Influence of degree of a crystallization of a periclase on properties of the magnesian knitting. *Vestnik BGTU*. 2005. No. 9, pp. 47–50 (In Russian).
11. Kramar L.Ya. About requirements of the standard to magnesian knitting construction appointment. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2006. No. 1, pp. 54–56 (In Russian).

А.А. ОРЛОВ, канд. техн. наук, Т.Н. ЧЕРНЫХ, канд. техн. наук, Л.Я. КРАМАР, д-р техн. наук

Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет)  
(454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76)

## Стекломагнезиальные листы: проблемы производства, применения и перспективы развития

Приведены результаты опыта производства стекломагнезиальных листов и их применения в отделке помещений. Проведен анализ нормативной базы и причин, сдерживающих рост производства стекломагнезиальных листов. К таким причинам относятся неадаптированные к условиям России и недостаточно эффективные технологии; отсутствие единых нормативных документов на производство и применение стекломагнезиальных листов; дефицит магнезиального вяжущего в РФ; нестабильность свойств магнезиального вяжущего российского производства; набухание и коробление СМЛ при длительном и/или многократном увлажнении и низкая долговечность при эксплуатации во влажных условиях; выделение вредных и опасных веществ в условиях пожара; отсутствие специально разработанных комплектных систем монтажа СМЛ. Предложены пути улучшения качества материалов и технологии их производства. Показано, что СМЛ имеют очень высокий потенциал для развития и улучшения их качества, а модифицирование их структуры и свойств является перспективным направлением работ в области строительного материаловедения.

**Ключевые слова:** стекломагнезиальные листы, СМЛ, магнезиальное вяжущее, модифицирование.

A.A. ORLOV, Candidate of Technical Sciences, T.N. CHERNYKH, Candidate of Technical Sciences, L.Ya. KRAMAR, Doctor of Technical Sciences, South Ural State University (National Research University) (76, Lenina Ave, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation)

### Magnesium oxychloride boards: Problems of Production, Use and Prospects of Development

Results of the study of production of magnesium oxychloride boards (MOB) and their use for interior finishing are presented. An analysis of the normative base and reasons restraining the growth of production of magnesium oxychloride boards is conducted. These reasons are technologies insufficiently efficient and unadapted to Russian conditions; the absence of integrated normative documents for production and use of magnesium oxychloride boards; deficiency of a magnesium binder in RF; instability of magnesium oxychloride cement properties produced in Russia; swelling and buckling of MOB in the course of lasting and/or repetitive wetting and low durability when operating under wet conditions; release of harmful and hazardous substances under fire conditions; lack of specially developed complete systems of MOB installation. Ways to improve the quality of materials and technologies of their production are proposed. It is shown that MOB have a very high potential for development and improvement of their quality, and modification of their structure and properties is a promising direction of works in the field of building materials science.

**Keywords:** magnesium oxychloride boards, MOB, magnesium binder, modification.

Современная строительная индустрия испытывает потребность в энергоэффективных и экологически чистых материалах с высокими физико-механическими свойствами. Это позволяет снизить ресурс- и энергозатраты при производстве таких материалов и проведении строительных, монтажных, отделочных работ, одновременно обеспечивая комфортные условия для жизни человека. Все вышеперечисленное в полной мере относится к материалам на основе магнезиальных вяжущих.

В последнее десятилетие большой популярностью у строителей-отделочников пользуются стекломагнезиальные листы (СМЛ). Это композиционный листовой отделочный материал на основе магнезиального вяжущего. Листы твердеют в естественных условиях и уже в 1–3 сут набирают требуемую прочность, что позволяет отнести их к разряду энергоэффективных материалов. Кроме магнезиальных вяжущих для производства СМЛ также традиционно используют: затворитель – водный раствор бишофита ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ); легкие заполнители (опилки, перлит и др.); наполнители; армирующую сетку; спанбонд (нетканый щелочестойкий полимерный материал); техническую пену.

Согласно характеристикам, заявляемым производителями СМЛ в технических условиях [1–3], листы обладают высокими физико-механическими и технико-эксплуатационными свойствами: предел прочности при изгибе составляет не менее 17 МПа; коэффициент размягчения не менее 0,8; негорючесть – НГ, коэффициент паропроницаемости не менее 0,07 мг/(м·ч·Па); гигроскопичность – не более 8%. Такие характеристики СМЛ определяют широкий спектр их применения для внутренней отделки помещений с любым температур-

ным и влажностным режимом. Известен также положительный опыт применения СМЛ в наружной отделке зданий в условиях мягкого климата [4]. Однако при множестве достоинств производство и применение СМЛ в России довольно ограничено. В связи с этим необходим поиск перспективных направлений, основанный на анализе причин, сдерживающих развитие конкурентоспособности стекломагнезиальных листов в России.

Предположительно такими причинами являются:

- неадаптированные к условиям России и недостаточно эффективные технологии;
- отсутствие единых нормативных документов на производство и применение стекломагнезиальных листов;
- дефицит магнезиального вяжущего в РФ;
- нестабильность свойств магнезиального вяжущего российского производства;
- набухание и коробление СМЛ при длительном и/или многократном увлажнении и низкая долговечность при эксплуатации во влажных условиях;
- выделение вредных и опасных веществ в условиях пожара;
- отсутствие специально разработанных комплектных систем монтажа СМЛ.

### Неадаптированные к условиям России и недостаточно эффективные технологии

Производства СМЛ, организованные в настоящее время в России, в некоторых случаях основаны на китайских технологиях с применением устаревших тех-



Торговая марка [нормативный документ]	Толщина листа, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Разбухание по толщине, %, не более	Предел прочности при изгибе в сухом состоянии, МПа	Предел прочности при изгибе во влажном состоянии, МПа	Морозостойкость	Водопоглощение, %, не более	Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	Сорбционная влажность, %
ECOLIST [1]	3–14	550–1200	–	Не менее 8	–	F75	–	не менее 0,07	не более 8%
MAGELAN [2]	6–10	Не менее 700	1	6–10	6–10	F15	35		
СМЛ-Пласт [3]	3–14	550–1200	–	Не менее 8	–	F75	–	не менее 0,07	не более 8%
СМЛ (Китай) [5]	2–20	500–1750	0,6	2–50	–	–	–	–	не более 8%

нологических линий периодического действия и китайского сырья. В связи с тем, что российские материалы значительно отличаются по свойствам от китайских и выпускаются по стандартам РФ, необходима адаптация таких производств к особенностям российского сырья и создание непрерывных технологических линий.

#### Отсутствие единых нормативных документов на производство и применение стекломгнезиальных листов

Основной проблемой производства СМЛ является отсутствие на них в РФ единых нормативных документов. В настоящее время каждый производитель работает в соответствии с собственными техническими условиями. В связи с этим нет единых методов испытания стекломгнезиальных листов, единых требований к их свойствам и к свойствам сырьевых материалов, различными производителями по-разному трактуются технические термины. Такая ситуация дезориентирует потребителя, затрудняет сравнение характеристик листов разных производителей [1–3, 5, 6]. В таблице приведены сравнительные данные требований нормативных документов различных производителей. Как видно из представленных данных, технические характеристики СМЛ разных производителей очень сильно различаются между собой не только по показателям свойств материалов, но и по самим нормируемым характеристикам материала. В связи с этим необходимо создание и принятие единого нормативного документа, согласно которому СМЛ будут производиться и использоваться на территории РФ.

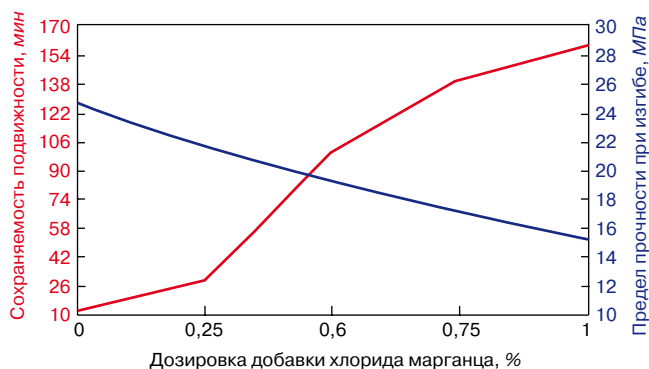


Рис. 1. Зависимость предела прочности при изгибе и сохранности подвижности сырьевой смеси от дозировки добавки замедлителя – хлорида марганца

#### Дефицит магниезального вяжущего в РФ

Несмотря на разнообразие нормативной базы, производство СМЛ в последние годы развивается очень интенсивно, что приводит к дефициту каустического магнезита (марки ПМК и МКС). Возникшая ситуация обуславливает необходимость применения для получения вяжущих другого сырья, альтернативного каустическому магнезиту, например брусита ( $Mg(OH)_2$ ) или доломитов ( $CaMg(CO_3)_2$ ) [7, 8]. При правильном обжиге этих пород вяжущие характеризуются стабильными свойствами и могут обеспечить СМЛ надлежащее качество [9, 10]. Но замена применяемого в СМЛ магниезального вяжущего из магнезита на бруситовое или доломитовое обязательно предусматривает корректировку его состава.

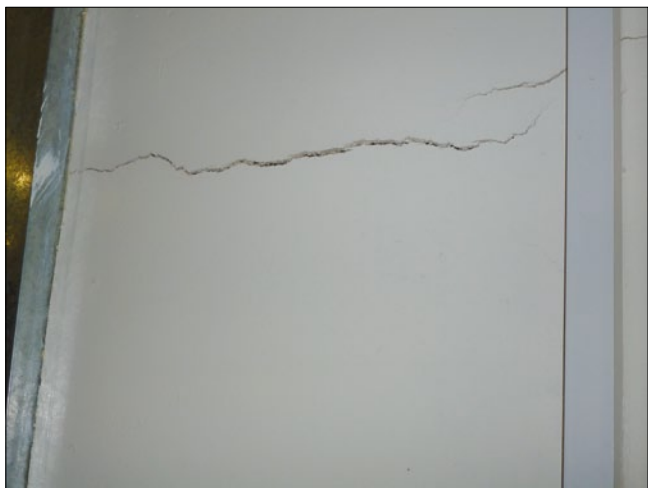
#### Нестабильность сроков схватывания и некоторых других свойств магниезального вяжущего российского производства

Вне зависимости от используемого сырья сроки схватывания вяжущего могут изменяться в широком диапазоне. Установлено, что недостаточная сохраняемость подвижности смеси, обусловленная быстрым схватыванием магниезального вяжущего, является причиной до 50% брака при производстве СМЛ. Эту проблему можно решить введением непрерывной технологии производства или регулированием сроков схватывания магниезального вяжущего добавками, что позволит увеличить сохраняемость подвижности смеси, используемой на технологических линиях периодического действия. Применяя замедлители схватывания, к которым относятся бихромат натрия, хлорид марганца, можно увеличить время живучести смеси до 160 мин. Однако использование замедлителей схватывания зачастую приводит к снижению прочности готовых листов (рис. 1).

Устраняется этот негативный эффект дополнительным введением добавок ускорителей процессов твердения магниезального вяжущего, таких как хлорид железа, сульфат железа, хлорид натрия. Ускорители твердения и замедлители схватывания могут использоваться и отдельно, изменяя свойства магниезального вяжущего при необходимости. В каждом отдельном случае вид добавки, ее дозировка должны определяться индивидуально.

#### Набухание и коробление СМЛ при длительном и/или многократном увлажнении и низкая долговечность при эксплуатации во влажных условиях

Как известно, магниезальное вяжущее не является водостойким вяжущим, однако производители листов



**Рис. 2.** Результат длительной эксплуатации СМЛ в условиях высокой влажности (~90%)

указывают, что коэффициент их размягчения составляет более 0,8, что характеризует СМЛ как водостойкий материал, который можно применять в помещениях любой влажности, в том числе душевых, банях, в наружной отделке и т. д. [2, 6]. Связано это с тем, что высокую прочность листов при изгибе обеспечивают стеклосетка и прочность ее сцепления с основным слоем СМЛ. Опыт показывает, что при однократном насыщении в процессе испытания листов на водостойкость по стандартной методике сцепление сетки с основным слоем практически не нарушается и предел прочности при изгибе стекломагнезиальных листов снижается незначительно. В реальных условиях в процессе эксплуатации при длительном и/или многократном увлажнении и высушивании довольно гигроскопичного материала происходит растворение и вымывание из магнезиального камня гидроксида магния и разложение гидрооксихлоридов магния, что ведет к снижению прочности основного слоя и прочности сцепления основного слоя со стеклосеткой [11, 12]. Это значительно снижает предел прочности при изгибе, а также вызывает набухание и коробление СМЛ (рис. 2).

Таким образом, обычный СМЛ нельзя применять во влажных помещениях, а методику оценки водостойкости СМЛ необходимо пересмотреть. Одним из способов повышения стойкости СМЛ при эксплуатации во влажных условиях является покрытие листов со всех сторон водонепроницаемыми составами, например акриловыми или другими полимерными покрытиями [13]. Кроме того, существуют другие способы повышения водостойкости за счет введения компонентов-добавок, связывающих гидроксид магния в нерастворимые силикаты магния; такими добавками являются: доменные шлаки, золы ТЭС, микрокремнезем и др. [14–16]. Также полная или частичная замена затворителя на ортофосфорную кислоту и ее соли приводит к эффективному повышению водостойкости [17], однако при этом значительно ускоряется загустевание формовочной смеси и снижение прочности получаемого материала [18]. Повышение водостойкости магнезиального вяжущего эффективно осуществляется путем введения в сырьевую смесь добавок, содержащих ионы трехвалентного железа и других модифицирующих добавок [19–21]. Они также позволяют снизить гигроскопичность стекломагнезиальных листов. Несмотря на то что гигроскопичность отделочных материалов позволяет регулировать влажность в помещении и обеспечивать комфортные условия в жилище, для СМЛ, затворенных раствором бишофита, гигроскопичность достигает 20%, что выше допустимого значения 8%. Это при-

водит к снижению эксплуатационных свойств изделий, к образованию конденсата на поверхности листов, отслоению финишных отделочных покрытий, короблению и неравномерному изменению цвета листов. Получить лист с гигроскопичностью не более 8% можно не только введением специальных добавок, но и использованием в качестве затворителя магнезиального вяжущего раствора сульфата магния. Но такая замена затворителя приводит к снижению прочности более чем в два раза [22–24].

#### **Выделение вредных и опасных веществ в условиях пожара**

Так же как и вода, огонь разрушает СМЛ, в связи с этим перспективным направлением для их модификации является получение противопожарных листов — негорючих, не выделяющих при высоких температурах вредных веществ, препятствующих распространению огня, защищающих конструкционные элементы от воздействия высокой температуры. В обычных СМЛ в качестве одного из легких заполнителей используются опилки, которые в процессе производства листов пропитываются соевым раствором. Из-за этого под воздействием высокой температуры возгорания листа не происходит, но выделяется большое количество углекислого газа в результате их тления. Еще одним отрицательным моментом при нагревании СМЛ является выделение хлора или соляной кислоты в процессе разложения минералов, составляющих магнезиальный камень. Такие листы сдерживают распространение пламени и защищают несущие конструкции, но могут быть угрозой здоровью и жизни людей при пожаре. Таким образом, для получения противопожарных листов необходимо отказаться от использования опилок [25], а также получить магнезиальный камень, либо не разлагающийся при температурах до 1200°C, либо в процессе разложения не выделяющий вредных веществ. С этой целью необходимо использовать в качестве затворителя ортофосфорную кислоту или содержащие ее побочные продукты промышленности [26].

#### **Отсутствие специально разработанных комплектных систем монтажа СМЛ**

Для монтажа СМЛ часто используются системы, разработанные под гипсовые листовые материалы. Но во-первых, для СМЛ должно быть исключено жесткое

крепление листов на каркасе. Во-вторых, некоторые негативные явления, в частности использование шпаклевок, предназначенных для гипсовых материалов, не обеспечивают достаточного сцепления с поверхностью листов и в процессе эксплуатации могут привести к отслоению не только шпаклевочного слоя, но и отделочного слоя СМЛ. Кроме того, незащищенные от коррозии элементы крепежа со временем начинают корродировать, особенно при высокой гигроскопичности листов. Решением этого вопроса может стать разработка и производство сопутствующих листам специализированных материалов, составляющих систему монтажа, которая обеспечит долговечность конструкций. В частности, простым и необходимым шагом является

разработка и производство магниезиальных шпаклевок для выравнивания листов и их стыков и окрасочных покрытий [27].

Таким образом, СМЛ имеют очень высокий потенциал для развития и улучшения их качества, а модифицирование их структуры и свойств является перспективным направлением работ в области строительного материаловедения. Создание долговечных, высокоэффективных стекломagneзиальных листов, единых нормативных документов на их производство и применение будет способствовать широкому и более успешному применению СМЛ и других отделочных материалов на основе магниезиальных вяжущих в строительстве.

#### Список литературы

1. ТУ 5742-001-91330559–2012 Листы ECOLIST для наружной и внутренней отделки. ООО «Магний». 2012. 14 с.
2. ТУ 5710-001-60765559–2009 Листы стекломagneзиальные «MAGELAN». ООО «ЧайнаКингдом». 2009. 22 с.
3. ТУ 574200-001-30986470–2013 Листы СМЛ-Пласт для наружной и внутренней отделки. ООО «Новые технологии». 2013. 13 с.
4. El-Gammal M.A., El-Alfy A.M., Mohamed N.M. Using magnesium oxide wallboard as an alternative building façade cladding material in modern cairo buildings // *Journal of Applied Sciences Research*. 2012. Volume 8. Issue 4. P. 2024–2032.
5. JC 688–2006 Стеклomagnezиевый лист. Технические условия и методы испытаний. КНР: Государственный комитет КНР по развитию и реформам, 2006. 9 с.
6. Варфоломеев А.Ю. Опасность использования контрафактных материалов при строительстве в субарктическом климате (на примере стекломagneзитовых листов) // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 68–71.
7. Козлова В.К., Сутула И.Г., Гушина Е.Н. и др. Применение низкообжиговых магниезиальных вяжущих при получении теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных материалов // *Ползуновский вестник*. 2008. № 3. С. 232–235.
8. Хорошавин Л.Б., Кононов В.А. Рынок магниезиального сырья // *Огнеупоры и техническая керамика*. 1993. № 11. С. 18–23.
9. Носов А.В., Черных Т.Н., Крамар Л.Я. и др. Высокопрочное доломитовое вяжущее // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2013. Т. 13. № 1. С. 30–37.
10. Черных Т.Н., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Свойства магниезиального вяжущего из бруситовой породы и их взаимосвязь с размерами кристаллов периклаза // *Строительные материалы*. 2006. № 1. С. 52–53.
11. Крамар Л.Я., Черных Т.Н., Трофимов Б.Я. Особенности твердения магниезиального вяжущего // *Цемент и его применение*. 2006. № 9. С. 58–61.
12. Крамар Л.Я., Черных Т.Н., Орлов А.А. и др. Магнезиальные вяжущие из природного сырья. М.: Перо, 2012. 147 с.
13. Рыбьев И.А. Технология гидроизоляционных материалов. М.: Высшая школа. 1964. 287 с.
14. Зырянова В.Н., Савинкина М.А., Логвиненко А.Т. Создание водостойкого магниезиального вяжущего на основе MgO и золошлаковых отходов ТЭС // *Электрические станции*. 1992. № 12. С. 11–13.
15. Самченко С.В., Белимова О.А., Лютикова Т.А. Влияние микрокремнезема на свойства водостойких магниезиальных вяжущих // *Экспресс-обзор ВНИИЭСМ. Серия 1. Цементная промышленность*. 1999. Выпуск 4. С. 15–20.

#### References

1. ТУ 5742-001-91330559–2012 Listy ECOLIST dlja naruzhnoj i vnutrennej otdelki [The sheets ECOLIST for external and internal finishing]. ООО «Magnij». 2012. 14 p. (In Russian).
2. ТУ 5710-001-60765559–2009 Listy steklomagneziyevye «MAGELAN» [Magnesium oxychloride boards «MAGELAN»]. ООО «ChajnaKingdom». 2009. 22 p. (in Russian).
3. ТУ 574200-001-30986470–2013 Listy SML-Plast dlja naruzhnoj i vnutrennej otdelki [The boards MOB-Plast for external and internal finishing]. ООО «Novye tehnologii». 2013. 13 p. (In Russian).
4. El-Gammal M.A., El-Alfy A.M., Mohamed N.M. Using magnesium oxide wallboard as an alternative building façade cladding material in modern cairo buildings. *Journal of Applied Sciences Research*. 2012. Volume 8. Issue 4. Pp. 2024–2032.
5. JC 688–2006 Steklomagnezievij list. Tehnicheskie usloviya i metody ispytanij [Magnesium oxychloride boards. Specifications and test methods]. KNR: Gosudarstvennyj komitet KNR po razvitiju i reformam. 2006. 9 p. (In Russian).
6. Varfolomeev A.Ju. Danger of use of counterfeit materials at construction in subarctic climate (on an example the magnesium oxychloride boards). *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2013. No. 12, pp. 68–71 (In Russian).
7. Kozlova V.K., Sutula I.G., Gushhina E.N. i dr. Application lowroasting of magnesian knitting at receiving heat-insulating and heat-insulating and constructional materials. *Polzunovskij vestnik*. 2008. No. 3, pp. 232–235 (In Russian).
8. Horoshavin L.B., Kononov V.A. Market of magnesian raw materials. *Ogneupory i tehnickeskaja keramika*. 1993. No. 11, pp. 18–23 (In Russian).
9. Nosov A.V., Chernyh T.N., Kramar L.Ja. i dr. The high-strength dolomitic knitting. *Vestnik JuUrGU. Serija «Stroitel'stvo i arhitektura»*. 2013. Tom 13. No. 1, pp. 30–37 (In Russian).
10. Chernyh T.N., Kramar L.Ja., Trofimov B.Ja. Properties magnesian knitting from brusitovy breed and their interrelation with the sizes of crystals of a periclase. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2006. No. 1, pp. 52–53 (In Russian).
11. Kramar L.Ja., Chernyh T.N., Trofimov B.Ja. Features of curing of the magnesian knitting. *Cement i ego primenenie*. 2006. No. 9, pp. 58–61 (In Russian).
12. Kramar L.Ja., Chernyh T.N., Orlov A.A. i dr. Magnezial'nye vjazhushhie iz prirodnogo syr'ja [Magnesian knitting from natural raw materials]. Moscow. Pero. 2012. 147 p. (In Russian).
13. Ryb'ev I.A. Tehnologija gidroizoljacionnyh materialov [Technology of waterproofing materials]. M.: Vysshaja shkola. 1964. 287 p. (In Russian).
14. Zyrjanova V.N., Savinkina M.A., Logvinenko A.T. Creation waterproof magnesian knitting on the basis of MgO and the zoloshlakovykh of waste of warmly electro stations. *Jelektricheskie stancii*. 1992. No. 12, pp. 11–13 (In Russian).



16. Deng Dehua, Zhang Chuanmei. The effect of aluminate minerals on the phases in magnesium oxychloride cement // *Cement and Concrete Research*, 1996. Volume 26. Issue 8. P. 1203–1211.
17. Deng Dehua. The mechanism for soluble phosphates to improve the water resistance of magnesium oxychloride cement // *Cement and Concrete Research*. 2003. Volume 33. Issue 9. Pp. 1311–1317.
18. Судакас Л.Г. Фосфатные вяжущие системы. СПб.: РИА «Квинтет», 2008. 260 с.
19. Ведь Е.И., Бочаров В.К. К вопросу получения водостойкого магнезиального вяжущего // *Вестник Харьковского политехнического института*. 1970. № 40. С. 66–67.
20. Ведь Е.И., Бочаров В.К., Жаров Е.Ф. Изучение продуктов твердения водостойкого оксихлоридного цемента на основе каустического доломита и алюмо- и железофосфатных добавок // *ЖПХ*. 1975. № 12. С. 2607–2611.
21. Зимич В.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Снижение гигроскопичности и повышение водостойкости хлормагнезиального камня путем введения трехвалентного железа // *Строительные материалы*. 2009. № 5. С. 58–61.
22. Зимич В.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Влияние различных видов затворителей на гигроскопичность магнезиального камня // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2008. Вып. 6. № 12(112). С. 13–15.
23. Самченко С.В., Лютикова Т.А., Кузнецова Т.В. Влияние вида затворителя на свойства магнезиального вяжущего // *Международная научно-техническая конференция «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века»*. Белгород: БелГТАСМ, 2000. С. 285–288.
24. Черных Т.Н., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Сульфатно-магнезиальная композиция и сухие штукатурные смеси на ее основе // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*, 2009. Вып. 9. № 35(168). С. 39–42.
25. Xiangming Zhou, Zongjin Li. Light-weight wood-magnesium oxychloride cement composite building products made by extrusion // *Construction and Building Materials*. 2012. Volume 27. Issue 1. P. 382–389.
26. Ведь Е.И., Бочаров В.К. Изучение продуктов твердения магнезиального цемента с введением алюмофосфатной добавки // *Украинский хим. журнал*, 1970. № 6. С. 851–860.
27. Орлов А.А., Трофимов Б.Я., Черных Т.Н. и др. Комплектная система для внутренней отделки магнезиальными материалами // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2011. Вып. 13. № 35(252). С. 33–37.
15. Samchenko C.B., Belimova O.A., Ljutikova T.A. Vlijanie mikrokremlnezema na svojstva vodostojkih magnezial'nyh vjazhushhih [Influence of microsilicon dioxide on properties of the waterproof magnesium knitting]. *Jekspress-obzor VNIIJeSM. Serija 1. Cementnaja promyshlennost'*, 1999. Vol. 4, pp. 15–20 (In Russian).
16. Deng Dehua, Zhang Chuanmei. The effect of aluminate minerals on the phases in magnesium oxychloride cement. *Cement and Concrete Research*. 1996. Volume 26. Issue 8. P. 1203–1211.
17. Deng Dehua. The mechanism for soluble phosphates to improve the water resistance of magnesium oxychloride cement. *Cement and Concrete Research*. 2003. Vol. 33. Issue 9. P. 1311–1317.
18. Sudakas L.G. Fosfatnye vjazhushhie sistemy [Phosphatic knitting systems]. Spb.: RIA «Kvintet». 2008. 260 p. (In Russian).
19. Ved' E.I., Bocharov V.K. To a question of receiving the waterproof magnesian knitting. *Vestnik Har'kovskogo politehnicheskogo institute*, 1970. No. 40, pp. 66–67 (In Russian).
20. Ved' E.I., Bocharov V.K., Zharov E.F. Studying of products of curing of waterproof oksikhloridny cement on the basis of the caustic dolomite and alyumo- and the ironphosphatic additives. *ZhPH*, 1975. No. 12, pp. 2607–2611 (In Russian).
21. Zimich V.V., Kramar L.Ja., Trofimov B.Ja. Decrease in hygroscopicity and water resistance increase chlorine of a magnesian stone by introduction of trivalent iron. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2009. No. 5, pp. 58–61 (In Russian).
22. Zimich V.V., Kramar L.Ja., Trofimov B.Ja. Influence of different types of zatvoritel on hygroscopicity of a magnesian stone. *Vestnik JuUrGU. Serija «Stroitel'stvo i arhitektura»*. 2008. Vyp. 6. No. 12(112), pp. 13–15 (In Russian).
23. Samchenko S.V., Ljutikova T.A., Kuznecova T.V. Influence of different types of solvent on hygroscopicity of a magnesian stone. *Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Kachestvo, bezopasnost', jenergo- i resursosberezhenie v promyshlennosti stroitel'nyh materialov i stroitel'stve na poroge XXI veka»*. Belgorod: BelGTASM. 2000, pp. 285–288 (In Russian).
24. Chernyh T.N., Kramar L.Ja., Trofimov B.Ja. Sulfate-magnesian composition and dry plaster mixes on its basis. *Vestnik JuUrGU. Serija «Stroitel'stvo i arhitektura»*. 2009. Vypusk 9. No. 35(168), pp. 39–42 (In Russian).
25. Xiangming Zhou, Zongjin Li. Light-weight wood-magnesium oxychloride cement composite building products made by extrusion. *Construction and Building Materials*. 2012. Volume 27. Issue 1. P. 382–389.
26. Ved' E.I., Bocharov V.K. Studying of products of curing of magnesian cement with introduction of an alyumofosfatny additive. *Ukrainskij him. Zhurnal*. 1970. No. 6, pp. 851–860.
27. Orlov A.A., Trofimov B.Ja., Chernyh T.N. i dr. Complete system for internal finishing by magnesian materials. *Vestnik JuUrGU. Serija «Stroitel'stvo i arhitektura»*. 2011. Vypusk 13. No. 35(252), pp. 33–37 (In Russian).



Подписка на электронную версию журнала «Строительные материалы»®

<http://ejournal.rifsm.ru/>

Н.Д. СЕРЕБРЕННИКОВА<sup>1</sup>, канд. техн. наук, заведующая лабораторией долговечности строительных материалов и герметизации, С.И. БОЯРИНОВ<sup>1</sup>, старший научный сотрудник лаборатории долговечности строительных материалов и герметизации; С.И. ФЕДОТОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук, руководитель отдела Инновации в строительстве, Г.В. АФАНАСЬЕВА<sup>2</sup>, канд. хим. наук, специалист по развитию бизнеса Tyvek®

<sup>1</sup> ГУП «НИИМосстрой» (119122, Москва, ул. Винницкая, 8)

<sup>2</sup> ООО «Дюпон Наука и Технологии» (127614, Москва, ул. Крылатская, 17 а, стр. 3)

## Влияние воздействия ультрафиолетового облучения и циклических воздействий температуры на долговечность полимерных микропористых материалов для строительства кровельных и стеновых конструкций

Представлены сравнительные испытания различных видов диффузионных мембран методом искусственного старения путем воздействия ультрафиолетового облучения и циклических воздействий температуры. Показана зависимость прочностных показателей и гидроизоляционных свойств в зависимости от времени воздействия. На основании экспериментальных данных установлено, что долговечность (срок службы) ветрозащитных мембран из полиэтилена флэш-спанбонд (производства Люксембург) составляет более 20 лет эксплуатации. Образцы ветрозащитных мембран: трехслойная микропористая мембрана российского производства и трехслойная микропористая мембрана с двумя слоями полипропиленового спанбонда иностранного производства оказываются недостаточно стойкими к климатическим воздействиям. Долговечность этих мембран по результатам ускоренных циклических испытаний составляет менее 10 лет. Различие в результатах ускоренного старения полимерных материалов связано с различной структурой, толщиной функционального слоя и наличием/отсутствием антиоксидантов и УФ-стабилизаторов, которые защищают полимер от разрушения под воздействием температуры и УФ-излучения. В связи с этим представляется целесообразным и актуальным определять стойкость полимерных мембран, используемых в строительстве кровли и стеновых ограждающих конструкций, к воздействию УФ и высокой температуры.

**Ключевые слова:** диффузионная мембрана, долговечность, УФ-облучение, временная кровля.

N.D. SEREBRENNIKOVA<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Head of Building materials' durability and sealing laboratory, S.I. BOYARINOV<sup>1</sup>, senior researcher, Building materials' durability and sealing laboratory; S.I. FEDOTOV<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences, Head of Innovations in construction department, DuPont Science and Technologies, Ltd, G.V. AFANASIEVA<sup>2</sup>, Candidate of Chemical Sciences, specialist in business development, Tyvek®

<sup>1</sup> SUE "NIIMosstroy" (8, Vinnitskaya Street, Moscow, 119122, Russian Federation)

<sup>2</sup> DuPont Science and Technologies, Ltd (Structure 3, 17a, Krylatskaya Street, Moscow, 127614, Russian Federation)

### The impact of exposure to ultraviolet radiation and cyclical influences of temperature on the durability of microporous polymeric materials for construction of roofing and wall structures

Comparative tests of different types of diffusion membranes with the use of the artificial aging method by means of exposure to ultraviolet radiation and cyclic influence of different temperatures are presented. The dependence of strength indexes and waterproofing properties on time of exposure is shown. On the basis of experimental data it is established that the durability (service life) of wind-protective membranes made of flash-spunbond polyethylene (produced in Luxemburg) is over 20 years of operation. The following wind-protective membranes – a three-layer microporous membrane of Russian production and three-layer microporous membrane with two layers of spunbond polypropylene of foreign production – are insufficiently resistant to climatic influences. Durability of these membranes according to the results of accelerated tests is less than 10 years. The difference in the results of accelerated aging of polymeric materials is associated with different structure, thickness of a functional layer and the presence/absence of antioxidants and UV-stabilizers, which protect the polymer from destruction under the influence of temperature and UV-radiation. In connection with this it is reasonable and actual to determine the stability of polymeric membranes used in construction of roofs and wall enclosing structures to the UV-radiation and high temperature.

**Keywords:** diffusion membrane, durability, UV-radiation, temporary roof.

В последние годы появилось большое количество производителей, предлагающих ветрогидроизоляционные полимерные материалы для строительства — диффузионные мембраны, микропористые материалы, микроперфорированные пленки. При выборе категории материалов для испытаний были приняты гидроветроизоляционные материалы, которые монтируются непосредственно на утеплитель без дополнительного вентиляционного зазора, что связано с распространением таких технологий монтажа на российском строительном рынке. Основная функция таких материалов в защите утеплителя от внешней влаги и воздействия ветра, выведение водяных паров из конструкции, а также предотвращение эмиссии волокон утеплителя. При этом стоимость материалов варьируется в очень широком диапазоне. В данном исследова-

нии представляло интерес проведение сравнительных испытаний разных категорий материалов, присутствующих на рынке и дифференцирование их в процессе эксплуатации в зависимости от стойкости и долговечности, а также сохранение необходимых свойств (водонепроницаемость и прочность материала) при эксплуатации.

Целью данной работы была оценка стойкости к климатическим воздействиям ветрозащитных мембран различных марок ветрогидроизоляционных материалов, применяемых в кровельных и стеновых конструкциях, по результатам ускоренных испытаний в течение 24 условно-годовых циклов старения в соответствии с ГОСТ 30973—2002. Работа проводилась в лаборатории долговечности строительных материалов и герметизации ГУП «НИИМосстрой».

Таблица 1

Режим	Орошение соляным раствором	Облучение УФ, ч	Орошение щелочным раствором	Замораживание, ч	Орошение кислотным раствором	Нагрев	Длительность цикла, ч
III	–	3	–	3,5	–	15	21,5

**Примечания:** 1. Температура выдержки при замораживании для режима III – минус 30°C; минус 50°C – каждый шестой цикл.  
2. Температура выдержки при нагреве для всех режимов – (60±2)°C при относительной влажности воздуха (90–100%).

В качестве образцов для испытаний были выбраны изоляционные материалы, которые монтируют непосредственно на утеплитель. В эксперименте были использованы: диффузионная мембрана из полиэтилена флэш-спанбонд ПЭ (производство Люксембурга), трехслойная микропористая мембрана ПП1 (производство РФ) и трехслойная микропористая мембрана с двумя слоями полипропиленового спанбонда ПП2 (иностранный производитель). Образцы мембран – полотна шириной 1,5 м (акт отбора образцов от 17 мая 2013 г.). Для испытаний было подготовлено по 6 образцов размерами 300×250 мм и по одному образцу размерами 200×200 мм каждой марки ветрозащитных мембран.

Испытания на стойкость к климатическим воздействиям проводили в соответствии с нормативным документом, предназначенным для испытания полимерных материалов, эксплуатирующихся в естественных условиях (ГОСТ 30973–2002 «Профили поливинилхлоридные для оконных и дверных блоков. Метод определения сопротивления климатическим воздействиям и оценки долговечности»).

Сущность метода заключается в определении изменений характерных показателей старения материала в процессе циклического влияния положительных и отрицательных значений температуры, влажности, ультрафиолетового облучения и слабоагрессивных химических растворов, имитирующих критические эксплуатационные нагрузки.

При испытании ветрозащитных мембран в режим климатических воздействий были внесены некоторые изменения. Исключено действие агрессивных сред как не имеющих место в условиях эксплуатации ветрозащитных мембран. Дополнительно материал подвергали УФ облучению в течение 24 ч перед проведением циклических испытаний образцов по принятому режиму для имитации условий эксплуатации мембраны в качестве временной кровли или покрытия стен до монтажа кровельного или фасадного покрытия.

Общее количество УФ-излучения в аппарате искусственной погоды (АИП) в течение 24 ч составляло по-

рядка 2000 Вт/(м<sup>2</sup>·ч) (интенсивность УФ-излучения в АИП 70–80 Вт/м<sup>2</sup>), это соответствует примерно 2–4 неделям воздействия солнца в июле на поверхность кровли или стеновой конструкции для широты Москвы (ГОСТ 16350–80).

В качестве характерных показателей старения при определении стойкости к климатическим условиям и оценке долговечности были приняты следующие:

- разрывная сила при растяжении в продольном направлении на образцах-полосках размером (300×50) мм;
- разрывная сила при растяжении в поперечном направлении на образцах-полосках размером (300×50) мм;
- водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение 72 ч.

Материал считается выдержавшим испытание в течение определенного количества циклов, если разрывная сила при растяжении в поперечном и продольном направлениях не изменялась более чем на 40% от исходного значения и материал при этом оставался водонепроницаемым (ГОСТ 30937–2002).

- В работе были использованы аппаратура и приборы:
- аппарат искусственной погоды АИП с ксеноновой лампой (ГОСТ 23750–79), обеспечивающий интенсивность УФ-излучения в диапазоне длин волн 280 – 400 нм 70–80 Вт/м<sup>2</sup> при (53±2)°C, и с системой периодического орошения образцов водой;
  - морозильная камера, обеспечивающая поддержание минус 50°С;
  - гигростат с повышенной влажностью (97±3) % при 60°С;
  - разрывная машина Инстрон (Англия), обеспечивающая измерение нагрузки с погрешностью не более 1% от измеряемой величины, с автоматической записью кривой нагрузка – деформация; скорость подвижного захвата 1–1000 мм/мин;
  - прибор для определения водонепроницаемости образцов (ГОСТ 2678).

Испытание проводилось в течение 24 циклов старения по режиму III (табл. 1), что соответствует 20 годам

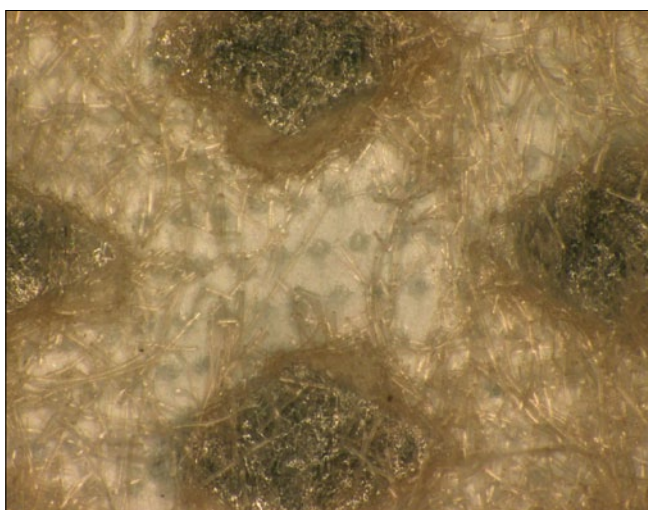


Рис. 1. Макроструктура поверхности ветрозащитной мембраны: образец 2 (ПП1) после 24 циклов испытаний

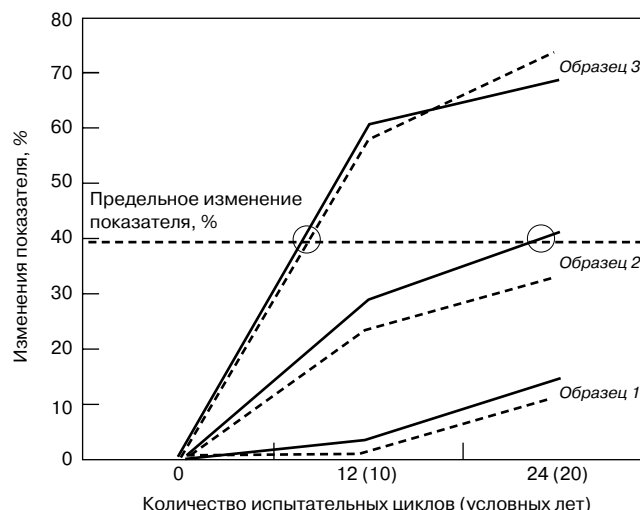


Рис. 2. Зависимость изменения разрывной силы при растяжении в % от количества циклов испытания: 1 – образец 1 (ПЭ); 2 – образец 2 (ПП1); 3 – образец 3 (ПП2); растяжение: - - - - вдоль; — поперек образца

Таблица 2

Наименование показателя	Материал	Исходные значения	После 12 циклов			После 24 циклов		
			Фактические данные	Изменение показателя, %		Фактические данные	Изменение показателя, %	
				фактич.	норма		фактич.	норма
Разрывная сила при растяжении в продольном направлении на образцах-полосках (300×50) мм, МПа	Образец 1 (ПЭ)	1,62	1,61	0,6	Не более 40	1,44	1,11	Не более 40
	Образец 2 (ПП1)	1,5	0,63	5,8		0,39	7,4	
	Образец 3 (ПП2)	2,11	1,61	2,36		1,42	3,27	
Разрывная сила при растяжении в поперечном направлении на образцах-полосках (300×50) мм, МПа	Образец 1 (ПЭ)	1,17	1,13	0,34		1	1,45	
	Образец 2 (ПП1)	0,93	0,37	6,02		0,29	6,88	
	Образец 3 (ПП2)	1,46	0,104	2,87		0,86	4,11	
Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение 72 ч	Образец 1 (ПЭ)	Отсутствие признаков проникновения воды	Нет признаков проникновения воды	Не изменился	Нет признаков проникновения воды	Не изменился		
	Образец 2 (ПП1)	Отсутствие признаков проникновения воды	Нет признаков проникновения воды	Не изменился	Нет признаков проникновения воды	Не изменился		
	Образец 3 (ПП2)	Отсутствие признаков проникновения воды	Нет признаков проникновения воды	Не изменился	Нет признаков проникновения воды	Не изменился		

эксплуатации материала в климатических условиях со среднемесячной температурой воздуха в январе  $-20^{\circ}\text{C}$  (ГОСТ 30973–2002).

Характерные показатели определяли по ГОСТ 2678. Испытание образцов выполняли при растяжении со скоростью 500 мм/мин.

Результаты визуального обследования после 24 циклов ускоренных испытаний показали, что образцы сохранили целостность размеров, отсутствуют трещины, дефекты, не отмечено изменений цвета.

Результаты испытаний образцов ветрозащитных мембран после 12 и 24 циклов климатических воздействий приведены в табл. 2.

Полученные результаты показывают, что образец 1 (ПЭ) является стойким к климатическим воздействиям. После 24 циклов старения показатели силы при растяжении в поперечном и продольном направлениях изменяются на 11–14%, что значительно ниже предельно допустимого значения (ГОСТ 30973–2002). Мембрана водонепроницаема при давлении 0,001 МПа в течение 72 ч при испытании по ГОСТ 2678.

Ветрозащитные мембраны образцов 2 (ПП1) и 3 (ПП2) оказываются недостаточно стойкими к климатическим воздействиям. У образца 2 (ПП1) существенно снижаются прочностные показатели в поперечном и продольном направлениях: после 12 циклов испытаний они изменяются на 58–60%, что ниже предельно допустимого значения, равного 40%. После 24 циклов отмечается дальнейшее снижение разрывной силы при растяжении этой мембраны на 69–74%, что связано с разрушением защитного слоя нетканого полипропилена; это хорошо видно на фотографии, сделанной на оптическом микроскопе (рис. 1).

Изменения характерных прочностных показателей образца 2 после 12 циклов климатических воздействий находятся в пределах нормы. После 24 циклов изменение показателя разрывной силы при растяжении в по-

перечном направлении несколько превышает норму, снижается на 41,1. Кроме того, при испытании на водонепроницаемость (ГОСТ 2678) при давлении 0,001 МПа в течение 72 ч отмечается проникновение воды по периметру образцов. При испытании образца при давлении 0,002 МПа в течение 2 ч отмечается проникновение воды по всей площади образца.

При исследовании образцов 2 и 3 отмечается понижение адгезии между слоями, уменьшение силы сцепления между ними, наблюдается расслоение образцов при испытании на растяжение. Данные изменения у образца 1 не зафиксированы в связи с монослойной структурой.

На основании экспериментальных данных по результатам 24 циклов ускоренных испытаний (режим III, ГОСТ 30973–2002) долговечность ветрозащитных мембран образца 1 составляет более 20 лет эксплуатации. Ветрозащитные мембраны образцов 2 и 3 оказываются недостаточно стойкими к климатическим воздействиям. Долговечность этих мембран по результатам ускоренных циклических испытаний составляет менее 10 лет эксплуатации.

Зависимость изменения разрывной силы при растяжении (вдоль и поперек) от количества циклов представлена рис. 2.

#### Выводы

Различие в результатах ускоренного старения полимерных материалов связано с различной структурой, толщиной функционального слоя и наличием/отсутствием антиоксидантов и УФ-стабилизаторов, которые защищают полимер от разрушения под воздействием температуры и УФ-излучения. В результате воздействия ультрафиолетового излучения и повышенной температуры в массе полимера начинаются процессы термоокислительной и фотохимической деструкции, которые протекают по свободнорадикальному механизму и характеризуются появлением активных центров. Данные про-

цессы, их механизм и способ стабилизации полимеров описаны в литературе, например [1, 2, 3, 4, 5].

В условиях реальной эксплуатации строительной мембраны в описанном выше процессе участвует атмосферный кислород, под действием которого полимерная цепь начинает разрушаться. После монтажа кровельного покрытия или облицовки данные процессы замедляются в полимерной массе мембраны, но при этом не прекращаются. Отсутствие антиоксидантов и УФ-стабилизаторов неблагоприятно сказывается на долговечности полимерных материалов, что описано в работах [6, 7, 8] на примере полимеров различного назначения.

В связи с этим представляется целесообразным и актуальным определять стойкость полимерных мембран, используемых в строительстве кровли и стеновых ограждающих конструкций, к воздействию УФ и высоким значений температуры. Данный показатель особенно важен для материалов, которые используются в качестве временной кровли. Учитывая, что производители в качестве срока использования мембран как временной кровли заявляют 3–4 месяца, данный показатель соответствует примерно 250 ч УФ-облучения в АИП при использовании мембраны в кровельной конструкции и 200 ч УФ-облучения в АИП для стеновых конструкций южной ориентации в летний период (ГОСТ 16350-80). Климат СССР. Районирование и статистические параметры для технических целей). Данные результаты могут быть использованы при разработке методики испытаний изоляционных полимерных материалов на долговечность для повышения качества и срока службы конструкции.

**Список литературы / References**

1. P. Vink and Th.J. van Veen The Mechanism of U.V. Stabilization of polypropylene films by 2-Hydroxy-4-

octyloxybenzophenone. *European Polymer Journal*. Vol. 14, pp. 533–537.

2. L. Audouin, S. Girois, L. Achimsky and J. Verdu. Effect of temperature on the photooxidation of polypropylene films. *Polymer Degradation and Stability*. 1998. Vol. 60, pp. 131–143.

3. Abdelkader Dehbi, Amar Bouaza, Ahmed Hamou, Boulos Youssef, Jean Marc Saiter. Artificial ageing of tri-layer polyethylene film used as greenhouse cover under the effect of the temperature and the UV-A simultaneously. *Materials & Design*. 2010. Vol. 31. No. 2, pp. 864–869.

4. J.W. Chin, T. Nguyen, X. Gu, E. Byrd, J. Martin. Accelerated UV weathering of polymeric systems: recent innovations and new perspectives. *Journal of Coatings Technology*. 2006. No. 3, pp. 20–26.

5. Alexandre Francois-Heude, Emmanuel Richaud, Eric Desnoux, Xavier Colin. Influence of temperature, UV-light wavelength and intensity on polypropylene photothermal oxidation. *Polymer degradation and stability*. 2014. No. 100, pp. 10–20.

6. Grassi N., Skott Dzh. Destruktsiya i stabilizatsiya polimerov [Degradation and Stabilization of Polymers]. Moscow. Mir. 1988. 446 p.  
Грасси Н., Скотт Дж. Деструкция и стабилизация полимеров / Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 446 с.

7. Zaikov G.E. Ageing and stabilization of polymers. *Uspekhi khimii*. 1991. Vol. 60. № 10, pp. 2220–2249.  
Зайков Г.Е. Старение и стабилизация полимеров // *Успехи химии*. 1991. Т. 60. № 10. С. 2220–2249.

8. S.W. Bigger, J. Scheirs, O. Delatycki. Effect of light intensity on the photooxidation kinetics of high-density polyethylene. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. 1992. No. 30, pp. 2277–2280.

9. F. Gugumus. Effect of temperature on the lifetime of stabilized and unstabilized PP films. *Polymer degradation and stability*. 1999. No. 63, pp. 41–52.

Организатор:

При поддержке и участии:

Российский союз промышленников и предпринимателей  
Министерство строительства и ЖКК Омской области  
Омская торгово-промышленная палата  
Союз строителей Омской области

генеральный  
информационный  
спосор

Тел./факс:  
(3812) 25-84-87, 23-23-30  
e-mail: stroy@intersib.ru  
**www.intersib.ru**





Tyvek.

# ВОЗГОРАНИЯ ЗАТУХАЮТ МГНОВЕННО. TYVEK® FIRECURB™.

Р  
е  
к  
л  
а  
м  
а

FLAME  
RETARDANT

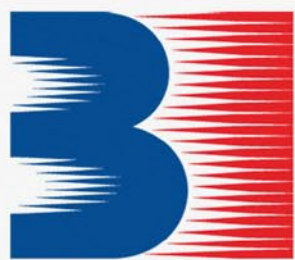


Благодаря DuPont, противопожарная защита зданий выходит на более высокий уровень. Когда огонь попадает на Tyvek® FireCurb™, он останавливается, утихает... и гаснет. Новая, выдающаяся запатентованная технология, повышающая безопасность вашего здания и его жителей: DuPont™ Tyvek® FireCurb™, паропроницаемая мембрана, замедляющая распространение пламени. (EN 13501-1, до Еврокласса - B).

**Повышение безопасности - сокращение убытков.**



[flameretardant.tyvek.ru](http://flameretardant.tyvek.ru)



Встретимся на «Mosbuild 2014», павильон 2/4  
стенд № Г223 Экспоцентр

# Beralmar

## ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРОЕКТЫ



## ЗАВОДЫ ПОД КЛЮЧ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КИРПИЧА И ЧЕРЕПИЦЫ



## ПРОФЕССИОНАЛИЗМ, ТЕХНОЛОГИИ И КОМАНДА ТЕХНИКОВ



**BERALMAR TECNOLOGIC, S.A.**  
Avda. Polígono del Vallés, 304  
P.O. BOX 559 - 08227 TERRASSA  
(BARCELONA-SPAIN)

телефон: +34 93 731 22 00/факс: +34 93 731 44 83  
емейл: [info@beralmar.com](mailto:info@beralmar.com)  
Перейдите на нашу веб страницу и зарегистрируйтесь  
бесплатно на наш ежемесячный информационный  
бюллетень. [www.beralmar.com](http://www.beralmar.com)

Организатор:

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ®**

научно-технический журнал

При поддержке:



РГСУ



ЮжНИИСтром

Генеральный спонсор:



28–29 МАЯ 2014  
РОСТОВ-НА-ДОНУ  
КОНГРЕСС-ОТЕЛЬ  
«DON-PLAZA»

THE SCIENTIFICALLY-PRACTICAL CONFERENCE  
«DEVELOPMENT OF THE CERAMIC INDUSTRY OF RUSSIA»

ON MAY 28-29, 2014  
ROSTOV-ON-DON  
DON-PLAZA  
CONGRESS HOTEL

**KERAMTEX**



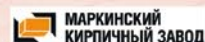
Партнеры МИАП КЕРАМТЭКС:



**28.05.2014**

**Посещение Маркинского кирпичного завода  
и Владимировского карьера тугоплавких глин**

VISIT TO THE VLADIMIROVSKY PIT OF REFRACTORY CLAYS AND MARKINSKY BRICK-PLANT



**29.05.2014**

**Пленарное заседание/Plenary session  
Гала-ужин с вручением профессиональных наград в ресторане «Атаманская усадьба»  
CERAMIC AWARDS DINNER AT RESTAURANT «ATAMANSKY»**

Руководитель проекта – Юмашева Елена Ивановна  
Менеджер проекта – Лескова Елена Львовна

Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 9, стр. 3  
Тел./факс: +7 (499) 976-22-08, 976-20-36, моб. +7 (910) 437-03-98

[www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)

[mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru)

[www.keramtex.ru](http://www.keramtex.ru)

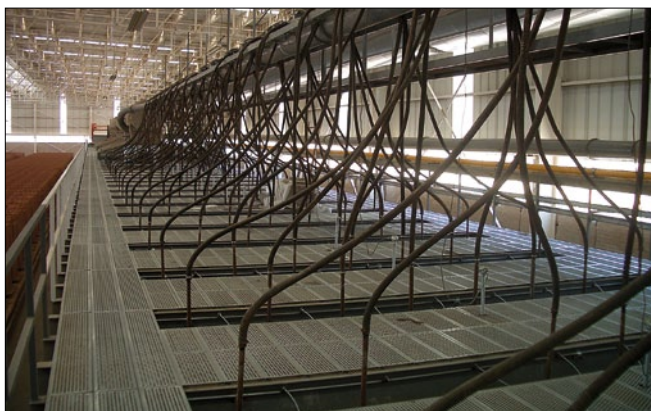
# Сушка и обжиг керамических изделий при прямой погрузке на печные вагонетки

Фирма BERALMAR TECNOLOGIC (БЕРАЛМАР ТЕХНОЛОЖИ) на основе современных технологий и оборудования разработала проект кирпичного завода для строительной компании АРБАН (г. Канск, Красноярский край) производительностью 200 т/сут, учитывая такие основные факторы, как качество готового продукта и максимальная экономия энергоресурсов.

Данная технология включает туннельную сушилку модели LLEVANT (ЛЕВАНТ) с загрузкой сырца на печные вагонетки и туннельную печь модели PRESTERMIC (ПРЕСТЕРМИК) с установкой обжига на твердом топливе. Для обжига используется минеральный уголь, который сжигается в системе PROMATIC (ПРОМАТИК), разработанной фирмой BERALMAR TECNOLOGIC. Горячий воздух для сушилки LLEVANT забирается из зоны рекуперации печи и используется как единый источник теплоносителя для сушилки. Все технологические процессы завода: резка, загрузка на печные вагонетки, перемещения вагонеток в печи и в сушилке, разгрузка с печных вагонеток – работают в автоматическом режиме с применением роботов.

В европейских странах наиболее распространенными являются туннельные сушилки с прямой погрузкой сырца на печные вагонетки.

Научно-технические исследования и большой практический опыт европейских производителей керамики показали, что вариант прямой погрузки сырца на печные вагонетки является идеальным для каолиновых и иллитовых глин, которые характеризуются хорошими технологическими характеристиками: малой усадкой в процессе сушки, высокой механической прочностью и возможностью формовки бруса с низкой влажностью и при повышенном давлении при экструзии. Вариант прямой погрузки на печные вагонетки не рекомендуется для монтмориллонитовых глин, характеризующихся тонкой гранулометрией и низкой пористостью, высокой формовочной влажностью и, следовательно, большой усадкой при сушке.



Печь PRESTERMIC с системой сжигания угля PROMATIC

Сушилка модели LLEVANT – сушилка непрерывного действия. В связи с этим необходимо предусматривать определенный резерв сырого изделия для возможности его подачи в сушилку в то время, когда не работает отделение формовки. Для обеспечения данного резерва предусмотрен специальный склад – holding room, смонтированный из панелей с термической изоляцией, которые позволяют удерживать тепло, необходимое для сушки, и избежать потери влаги и деформации изделий при хранении.

Преимущество метода прямой погрузки сырца на обжигные вагонетки заключается в том, что изделиями манипулируют только на выходе из обжиговой печи, это позволяет избежать возможных повреждений при манипуляции с сухими изделиями во время их перегрузки с сушильных тележек на печные вагонетки.

Сушилка модели LLEVANT может иметь один или два канала, длина которых равна длине печи обжига. Это позволяет сушилке и печи обжига работать в одинаковом ритме и оптимизировать тепловой баланс системы с полным использованием регенерационного тепла от печи. Большим преимуществом данной системы является инновационное решение фирмы BERALMAR, когда с изменением ритма обжига в печи производительность сушилки регулируется автоматически без необходимости изменения оборудования или автоматов в конструкции сушилки.

В сушилке имеется три циркуляционных потока: поток горячего воздуха на входе, поток рециркуляции внутри печи и поток удаления влажного воздуха из сушилки.

Эти потоки имеют различную направленность между керамическими изделиями. Сушилка оборудована инновационной системой инъекции горячего воздуха и удаления влажного воздуха. Горячий воздух подается коническими вентиляторами и распределяется по всей длине туннеля. Необходимая рециркуляция обеспечивается осевыми вентиляторами, расположенными в своде сушилки. Потоки влажного воздуха забираются одним или несколькими осевыми вентиляторами, расположенными у вытяжной трубы около входа вагонеток в сушилку.

Необходимое количество тепловой энергии, забираемой из печи обжига,

Печь PRESTERMIC с установкой сжигания угля PROMATIC





Применение роботов в технологических процессах

используется полностью в процессах рециркуляции потоков внутри сушилки. В проекте предусмотрена возможность получения дополнительной тепловой энергии путем сжигания угля в специальных установках и, таким образом, выполняется условие использования только одного вида топлива для всего технологического процесса производства. Однако при нормальных климатических условиях этот метод получения дополнительного тепла будет использоваться очень редко, так как печь обжига дает количество тепловой энергии вполне достаточное для полного технологического цикла.

Данный процесс сушки полностью контролируется и управляется системой электронного контроля **MICROSEC (МИКРОСЕК)**. Основная стратегия контроля заключается в разделении сушилки на три контролируемые зоны, в которых будут определяться и автоматически устанавливаться температура и влажность, соответствующие идеальной кривой сушки. Регулировка данных параметров производится через контрольные клапаны и вариаторы скорости вентиляции с последующей их корректировкой в соответствии с величиной давления. Система контроля **MICROSEC** позволяет совместно с системой контроля процесса обжига **MICROBER (МИКРОБЕР)** оптимизировать потребление тепловой энергии как в сушилке, так и в печи обжига.

Туннельная печь модели **PRESTHERMIC (ПРЕСТЕРМИК)** представляет собой достаточно гибкую конструкцию, позволяющую варьировать параметры процесса обжига в широких пределах и проводить обжиг различных видов керамических изделий. Стены и свод печи сконструированы из металлической водонепроницаемой рубашки, выполненной из сварных металлических листов, которая не позволяет проникать внутрь лишнему воздуху. Данный воздух оказывает негативное влияние на процесс обжига, нарушая и изменяя градиент температуры в каждой зоне печи (предварительного обжига, обжига и охлаждения). Водо- и газонепроницаемость конструкции печи способствуют более равномерному распределению горячих газов вокруг пакетов с обжигаемым продуктом и, следовательно, более стабильному и однородному обжигу.

Проведенные исследования по балансу тепловой энергии в печи **PRESTHERMIC** позволили отметить следующие положительные моменты по сравнению со стандартными печами обжига:

#### Спецификация топлива для установки **PROMATIC**

	Уголь без обработки	Уголь, обработанный на установке <b>PROMATIC</b>	Уголь, вводимый в виде топлива
Гранулометрия	Менее 25 мм	Менее 100 мк	90% менее 100 мк
Влажность	Менее 8%	Менее 8%	Менее 2%

- снижение длительности всех циклов процесса обжига примерно на 10%;
- снижение потерь тепла через стены и свод печи, а также с дымовыми газами дает общую экономию тепловой энергии до 6–8%;
- улучшение качества продукта за счет более равномерного распределения газов внутри пакета;
- равномерное распределение газов вокруг пакета дает возможность вести обжиг при установленной температуре с полезным расходом топлива (угля) на 100%.

Следующая система данного технологического процесса, позволяющая экономить тепловую энергию, это установка **PROMATIC (ПРОМАТИК)**, которая служит для получения тепла при использовании в качестве топлива минерального угля – low cost.

Минеральный уголь, хорошо просеянный, с определенным уровнем влажности и гранулометрии, представляет собой топливо, при использовании которого получают большое количество тепловой энергии при полном контроле процесса обжига.

Система **PROMATIC** исследована и разработана в соответствии с требованиями к данным характеристикам топлива и гарантирует высокую микронизацию угля для пульверизации и оптимальное соотношение воздух/уголь по всей длине пламени горелки. Одновременно печь **PRESTHERMIC** корректирует время и температуру горения угля в зоне обжига, необходимые и достаточные для полного его сжигания.

Конструкция системы **PROMATIC** и принципиальные основы ее функционирования базируются на следующих позициях: уголь направляется в ротационную мельницу, где измельчается до необходимой гранулометрии (90% < 100 мк), и затем направленным потоком воздуха, создаваемым вентилятором, в виде суспензии транспортируется в закрытую циркуляционную трубу. На данном потоке расположены эжекторы, через которые смесь воздух/уголь вводится в печь для последующего сжигания. Неиспользованные остатки смеси возвращаются в ротационную мельницу, чтобы их вновь направить в циркуляционную трубу, что позволяет при такой манипуляции с топливом избежать его контакта с окружающей средой и корректировать необходимое количество угля, направляемого в мельницу для дробления.

Таким образом, на основании многочисленных экспериментальных исследований и внедренных проектов с применением системы **PROMATIC** можно сделать выводы, что данная система позволяет получить эффективный обжиг вне зависимости от атмосферных или климатических условий и без проведения и внедрения дополнительных манипуляций или установок.

В соответствии с характеристиками топлива (битумный уголь), имеющегося в данном регионе, фирма **BERALMAR** смонтировала дополнительную установку для подготовки и просушивания угля без его обработки и в соответствии со специфическими условиями работы системы **PROMATIC** (см. таблицу).

Данная установка по сушке включает две основные позиции:

- дробление: подача исходного сырья в дробилку полностью автоматизирована;
- сушка: необходимое количество тепловой энергии для данного процесса поступает с газами, образующимися внутри камеры сгорания угля. Сушка угля производится в ротационной сушилке производительностью 1,500 кг/ч по сухому продукту. Фирма **BERALMAR TECHNOLOGIC** разработала проект кирпичного завода АРБАН, используя новейшие технологии и оборудование, которые способствуют эффективной работе завода и позволяют получать конкурентоспособную продукцию.

- Основные позиции проекта:
- внедрение высокоэффективных систем сушки и обжига – сушилки **LLEVANT** и печи обжига **PRESTHERMIC**;
  - использование альтернативного вида топлива в установке сжигания угля **PROMATIC**;
  - оптимальное использование тепловой энергии, получаемой в печи обжига;
  - упрощение систем манипулирования продуктом за счет прямой погрузки сырья на печные вагонетки.

# Работать по-другому

Компания MORTE (МОРТЭ) с 2012 г. начала поставлять свою продукцию – мундштуки для экструдирования кирпича в Германию. Прошло больше года, и уже есть миллионы единиц продукции, произведенной с помощью мундштуков МОРТЭ.

Мортэ Маркос,  
генеральный директор Talleres Morte S.L. (Испания)



МОРТЭ стала хорошей альтернативой немецким производителям аналогичной продукции. Предложения МОРТЭ привлекли клиентов, **так как компания работает по-другому.**

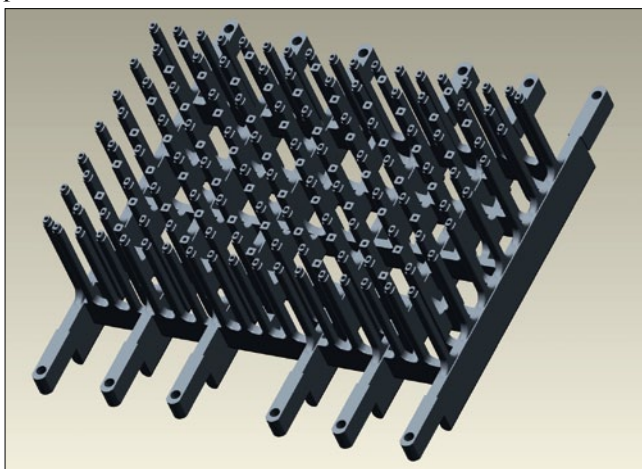
- Продукты МОРТЭ очень гибкие, имеют модульную концепцию. Это отличает компанию от других производителей мундштуков.

- Материалы, которые использует МОРТЭ, дают дополнительную стабильность продуктам и имеют высокую износостойкость. Это означает более длительное время их использования и гарантирует более качественную экструзию. В отличие от обычных хромированных мундштуков, используемых в Германии, материалы, которые предлагает МОРТЭ для зон с большим износом (рама, керны и пустообразователи), гарантируют более длительное время использования и большее количество экструдированного кирпича.

- Гарантированные высокие сервисные услуги. МОРТЭ работает вместе с заказчиком с самого начала пробных экструзий, экспериментирует, находит возможные улучшения и воплощает их. Специалисты компании посещают заводы заказчика столько раз, сколько необходимо, чтобы убедиться, что мундштуки МОРТЭ полностью удовлетворяют требованиям заказчика. Компания предоставляет техническую консультацию при монтаже и использовании мундштуков. При необходимости специалисты МОРТЭ переделывают конструкцию столько раз, сколько нужно, и вновь испытывают мундштук.

Г-н Мортэ убежден, что это и означает **«работать по-другому»**, и дает хорошие результаты. Немецкие заводы производят керамические изделия высокого качества и довольны услугами МОРТЭ.

На протяжении 2013 г. компания убедилась, что клиенты довольны формой начальных и послепродажных услуг, оказываемых МОРТЭ вместе с партнером – компанией HUP, и прежде всего технической конструкцией мундштуков, износостойкостью материалов, что отразилось на качестве изделий.



Переход к твердым сплавам и более стойким к абразивному износу материалам позволяет использовать всю структуру мундштука и гарантирует меньше затрат в процессе работ.

**Работать по-другому:** сначала предлагается мундштук, изготовленный из стали. Учитываются и анализируются все детали и всевозможные проблемы, после их решения элементы, которые больше всего изнашиваются, заменяются на детали из более стойкого материала. Это лучший способ для экструдирования любых керамических изделий с наилучшим качеством и наименьшей стоимостью.

«Конкуренция оживляет бизнес»: компания уверена, что на немецком рынке недоставало конкурентного поставщика, который мог бы предлагать альтернативные мундштуки для керамической промышленности, и убеждена, что МОРТЭ со своими специалистами и технологией является этим конкурентным поставщиком.

За последние два года в Германии компания смогла гарантировать технический сервис послепродажного обслуживания и на данный момент работает для консолидации своего присутствия на этом рынке, который считает стратегическим. Успех был достигнут благодаря тому, что компания продвигалась на рынок постепенно, шаг за шагом. Окончательно свое присутствие на немецком рынке МОРТЭ закрепила в 2012 г., это явилось результатом полутора лет предварительной работы: изучение рынка и посещение керамических заводов для определения потребностей предприятий.

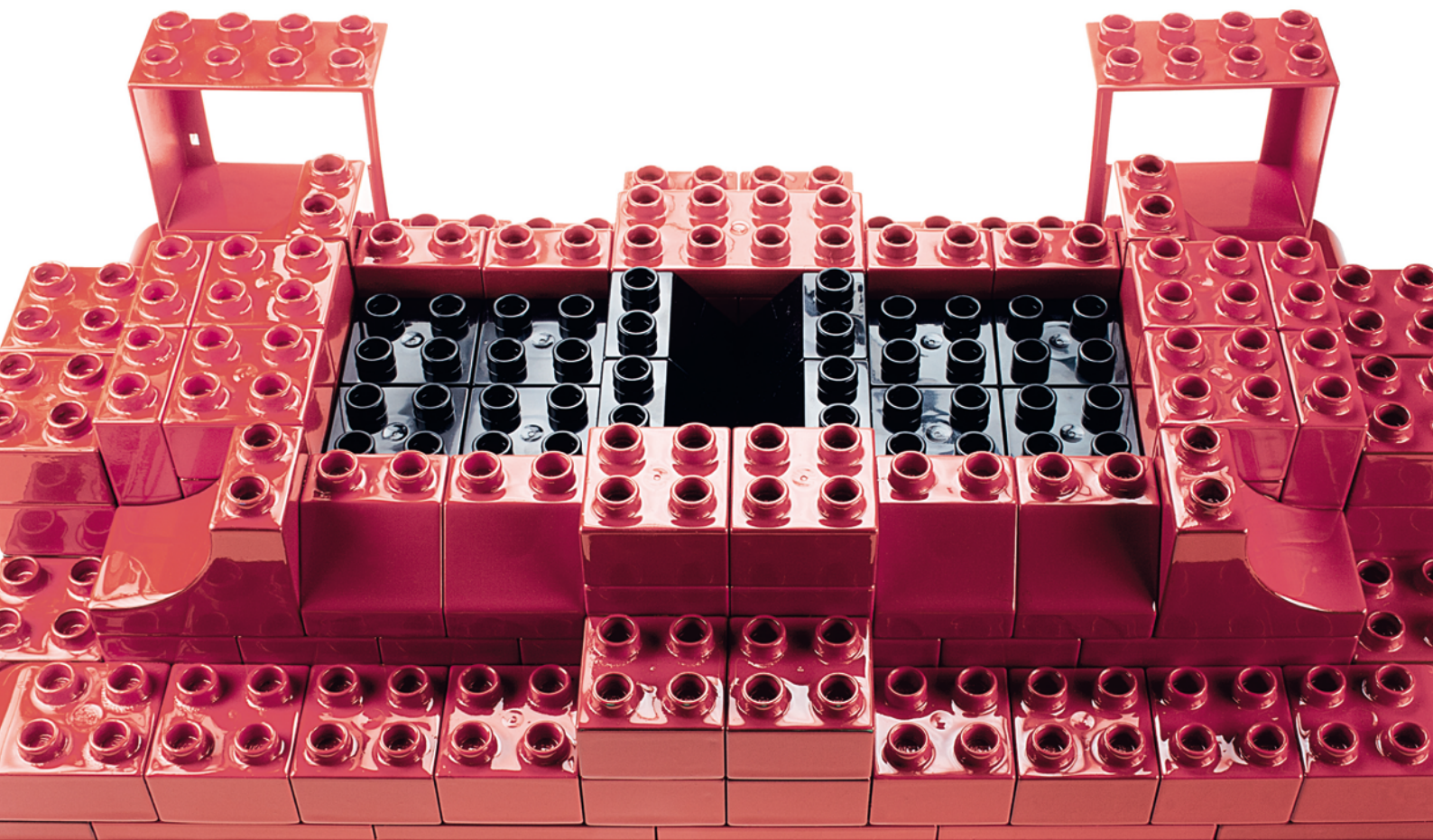
**Принцип «работать по-другому»** и иметь надежных долгосрочных партнеров в каждой стране позволяет достичь значительной международной экспансии. В 2013 г. МОРТЭ консолидировалась в Германии и открыла для себя новые рынки, такие как: Россия, Балканы, Румыния, Ирак, страны Латинской Америки (Аргентина, Куба, Панама и др.). МОРТЭ экспортирует мундштуки по всему миру. В Европе главными заказчиками компании являются: Германия, Голландия, Франция, Португалия, Бельгия, Сербия, Черногория, Босния и Герцеговина, Хорватия, Словения, Косово и Турция; в Латинской Америке: Аргентина, Чили, Бразилия, Мексика, Панама, Куба, Венесуэла; в Азии: Китай, Иран; в Африке: Алжир, Ливия, Тунис, Ботсвана и Ангола.

МОРТЭ проектирует и изготавливает мундштуки, головки пресса и запасные детали для экструзии любого керамического изделия. Компания является несомненным лидером в своем секторе благодаря высококвалифицированным специалистам и высоким технологиям, благодаря компромиссу с клиентами и постоянным инновациям в материалах и решениях. Продукция МОРТЭ имеет сертификаты качества и защиты окружающей среды ISO 9001 и ISO 14001.

Девиз МОРТЭ: **«Изготовим мундштук для каждого керамического завода!»**

# ДЕЛАЙ ПРОСТО, НАСКОЛЬКО ВОЗМОЖНО, НО НЕ ПРОЩЕ ЭТОГО.

Альберт Эйнштейн



Мы применяем технологии и инновации + развитие к мундштукам, в которых простота сопровождает возможность освободить, заменить и монтировать с лёгкостью каждую деталь, она может быть установлена только на своём месте, без ошибок.

Наши продукты считаются самыми рентабельными на рынке, благодаря низкой стоимости их обслуживания, меньших остановок в процессе производства и быстрому и лёгкому запуску.



**MORTE**  
MOLDES PARA EXTRUSIÓN CERÁMICA

**MosBuild**

1-4 and 15-18 April 2014  
Expocentre, V.V.C. Moscow  
Pavilion 21 - Stand G249

Distributeur für Deutschland



Tel.: -49 7955 9333-0

E-mail: info@hup-pietz.de

Дистрибьютор для России



тел: +7 (499) 550 50 11; +7 (499) 550 50 12

www.salvena.fr

Tel. +34 941 150 133  
morte@talleresmorte.com  
www.talleresmorte.com



EN-1541/2003

# Компания SABO S.A. (Греция) в России

## Новые проекты

В мае 2013 г. компания «Винербергер» (WBI) доверила компании SABO S.A. модернизацию завода Кипрево I во Владимирской области Российской Федерации, а позже WBI вновь доверила SABO S.A. установку линии автоматизации на заводе Кипрево II.

В середине февраля 2014 г. SABO S.A. успешно завершила проект Кипрево I в соответствии с первоначальным графиком работ.

Проекты включали модернизацию и обновление линий садки и разгрузки для увеличения производственной мощности завода до 130 млн NF/год на первом этапе и с последующим увеличением производственной мощности до 180 млн NF/год в будущем.

На линии садки SABO S.A. заменила существующие традиционные захваты на роботы, оснащенные специальными захватами для перемещения блоков POROTHERM и стандартных кирпичей. Также компанией SABO S.A. был поставлен новый конвейер для транспортировки кирпича.

На линии разгрузки существующие традиционные захваты были заменены на два робота для разгрузки печных вагонеток и робот для укладки кирпичей послонно на существующие столы.

Всего было установлено шесть роботов и два столотранспортера для перемещения запрограммированных слоев кирпича к роботам загрузки и роботам разгрузки. Обе зоны перепрограммированы компанией SABO S.A. для возможности новой садки на печные вагонетки.

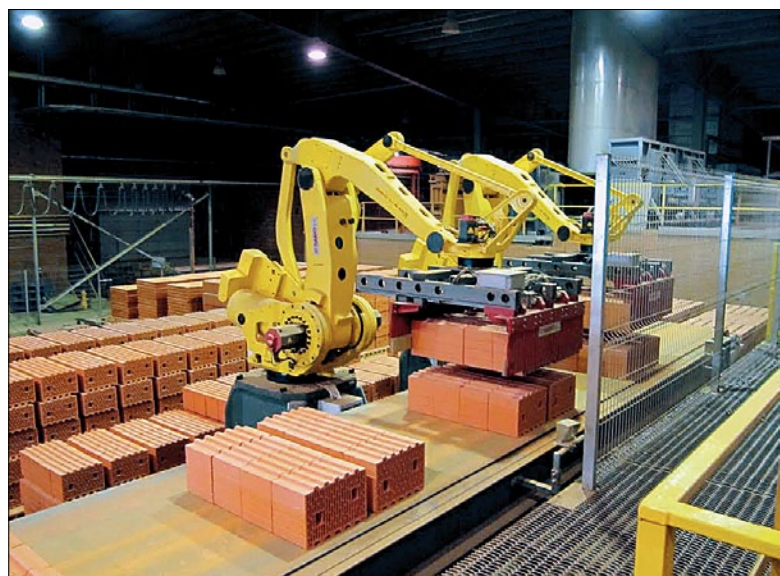
Проект был успешно сдан «под ключ» и все стандарты качества, безопасности и производственной мощности, которые были заданы компанией WBI, были полностью выполнены, как во всех проектах, в которых сотрудничали SABO S.A. и WBI.

После проекта Кипрево I во Владимирской области для компании «Винербергер» в настоящее время компания SABO S.A. осуществляет еще один проект в России.

Кинель-Черкасский кирпичный завод поручил SABO S.A. модернизацию предприятия, расположенного в Самарской области.

SABO S.A. заключила контракт с Кинель-Черкасским кирпичным заводом, после того как продемонстрировала заказчику высокий стандарт качества и большой опыт в реконструкции и модернизации кирпичных заводов по всему миру.

В рамках этого проекта SABO S.A. проведет реконструкцию от зоны разгрузки сушила до зоны садки на печные вагонетки для увеличения производительности и качества выпускаемой продукции. Кроме того, компа-



ния поставит новые автоматические передаточные тележки для существующего сушила. Проект также предусматривает необходимые изменения в существующей системе загрузки и разгрузки сушила для улучшения ее функционирования в соответствии с увеличением производительности.

После разгрузки с сушильной вагонетки кирпич будет перемещаться посредством новой системы транспортировки, разработанной компанией SABO S.A. специально для автоматической линии садки. Программный стол линии садки оснащен устройством кантования, чтобы иметь возможность укладывать кирпич перевернутым или «на постель» на печные вагонетки. Загрузка печных вагонеток производится с помощью робота, который обеспечивает точную садку изделия на печные вагонетки и гибкость в различных условиях садки.

После реконструкции производственная мощность линии составит 68 млн NF/год, а ее модернизация позволит предприятию сэкономить значительные средства, так как, например, для линии садки будет необходим только один оператор в смену.

Оборудование для Кинель-Черкасского кирпичного завода в настоящее время находится на предприятии компании SABO S.A., успешно прошло все испытания и полностью готово к отправке.

 SABO S.A.

34002 Василико – Халкис – Эвбея – Греция  
Тел.: +30 22210 51805-9, факс: +30 22210 54073

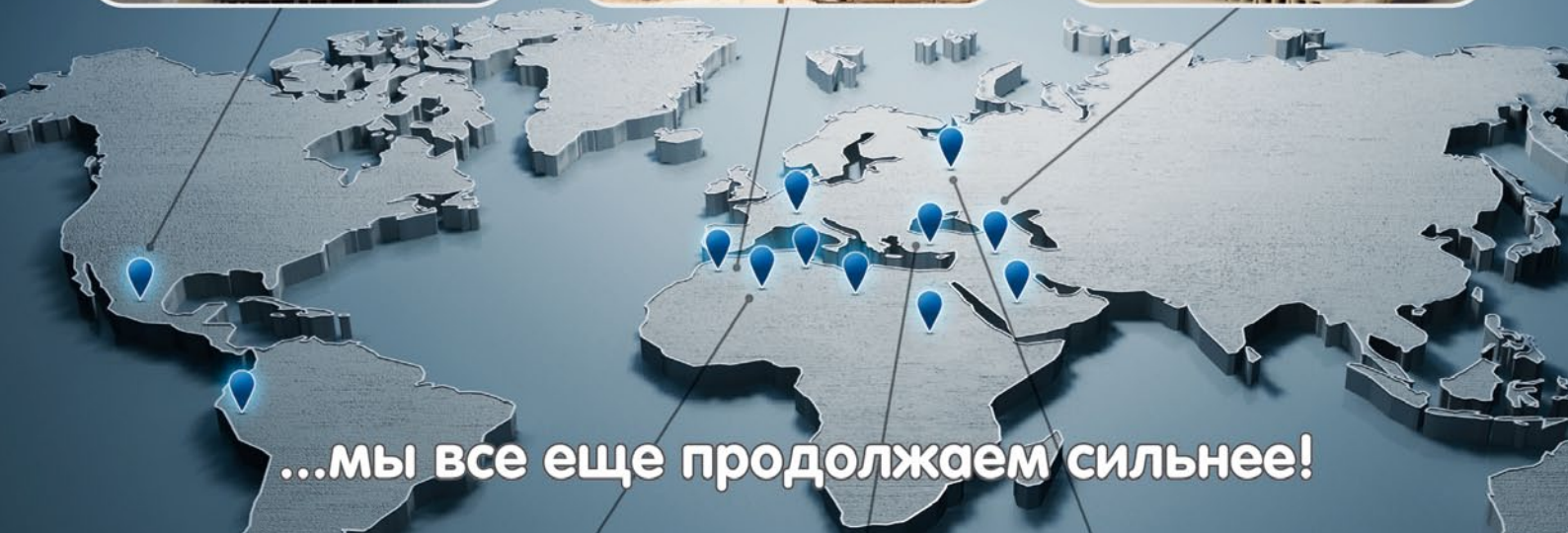
E-mail: [sb\\_sales@SABO.gr](mailto:sb_sales@SABO.gr)

РФ, Москва, Ленинский проспект, 146,  
Аструс-Отель, 10-й этаж

[www.sabo.gr](http://www.sabo.gr)



# После 60 завершенных проектов по всему миру в течение последних пяти лет...



...мы все еще продолжаем сильнее!

**28 ПРОЕКТОВ  
В СТАДИИ  
РЕАЛИЗАЦИИ**

#### АЛЖИР

- BMSD
- Briqueterie Amouri
- Sarl Briqueterie Des Oasis
- Briqueterie Sarl Boumerdes
- Briqueterie Djabri
- Briqueterie Sarl Edhaia
- Briqueterie Sarl Ettu
- Sarl El-Barakate
- Grand Briqueterie Des Oasis
- Sarl BGO
- Trust - Hadjout

#### КУРДИСТАН

- Halabja Group

#### ЛИВИЯ

- Al Nuebat

#### МАРОККО

- Soly Briq Sarl
- Briqueterie Samarra

#### МЕКСИКА

- Laminados de Barros

#### ПЕРУ

- Latercor

#### РОССИЯ

- Кипрево 1 - Винербергер
- Мелеузовский кирпичный завод
- Киинель Черкасский кирпичный завод
- Куганакский кирпичный завод
- Кирпичный завод на Закаменной

#### САУДОВСКАЯ АРАВИЯ

- Al Watania

#### СУДАН

- Urban Development Co

#### ШВЕЙЦАРИЯ

- ZZ Wancor
- Wienerberger Group

#### ТУНИС

- Societe Maghrebine de produit Ceramiques

#### ТУРЦИЯ

- Basak
- Ipek

**Спасибо за доверие и добро пожаловать в нашу семью!**



С самого начала нашего партнерства, мы стремимся разрабатывать все вместе, всегда в соответствии с вашими конкретными потребностями. Мы адаптируем наши методы работы с вашими требованиями на протяжении всего жизненного цикла ваших инвестиций. Мы всегда рядом с вами, чтобы определить потенциальные фрагменты и помочь вам избежать их или преодолеть их, без дополнительной оплаты. И это потому, что SABO не предлагает ничего меньше, чем самого высшего качества в материалах, строительстве и человеческих ресурсах.

**Доверьтесь надежному партнеру!**

**MosBuild**  До встречи на выставке строительной  
Выставке MosBuild 2014, 1-4 апреля  
Номер стенда G135, Павильон 2-4

 **SABO** S.A.  
brick & tile

**SABO S.A.** 34002 Василико - Халкис - Эвбея - Греция, Тел.: +30 22210 51805-9, Факс: +30 22210 54073  
**SABO S.A. в России:** Москва, Ленинский проспект 146, Аструс Отель, 10 этаж, Тел.: +7-917-763-95-69

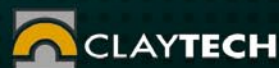
e-mail: sb\_sales@sabo.gr  
[www.sabo.gr](http://www.sabo.gr)

23-я Международная выставка технологий и оборудования для производства керамики и кирпича

omniadvert.com

# TECNARGILLA 2014

22 - 26 Сентября 2014 . Римини . Италия



ОРГАНИЗАТОР RIMINI FIERA – ПРИ ПОДДЕРЖКЕ АСИМАС

[www.tecnargilla.it](http://www.tecnargilla.it)

# Новинки компании Сарассиоли (Италия) 2014

Следуя политике единого поставщика, компания Сарассиоли (Капачиоли) выбрала стратегию вертикальной интеграции. Предоставляя весь спектр оборудования для кирпичных заводов, компания Сарассиоли предлагает заказчику выбор, стремясь удовлетворить все его потребности в индустрии производства кирпича и строительной керамики. Заказчик получает единого поставщика, гарантирующего все этапы производственного процесса, что возможно только в случае проектирования и производства полной комплектной линии.

На сегодняшний день компания Сарассиоли проектирует и производит полный комплект оборудования для кирпичных заводов и заводов строительной керамики, который включает следующие блоки: массоподготовка, автоматика, сушка и обжиг, упаковка.

В 2014 г. Сарассиоли представляет некоторые новые продукты, дополняющие существующую линейку оборудования, тем самым увеличивая вертикальную интеграцию, являющуюся основой успеха компании.

## ЛИНИЯ СУХОЙ МАССОПОДГОТОВКИ

Сарассиоли представляет новую продукцию заказчиком, которым по технологическим параметрам необходимо поддержание низкой гранулометрии глины и необходим очень точный контроль за составом сырья. Особенно это актуально для:

- производителей черепицы;
- производителей полнотелого кирпича;
- производителей специальной продукции;
- производителей кирпича, применяющих глины с высоким содержанием карбонатов кальция.

Линия сухой массоподготовки состоит из следующего комплекта оборудования:

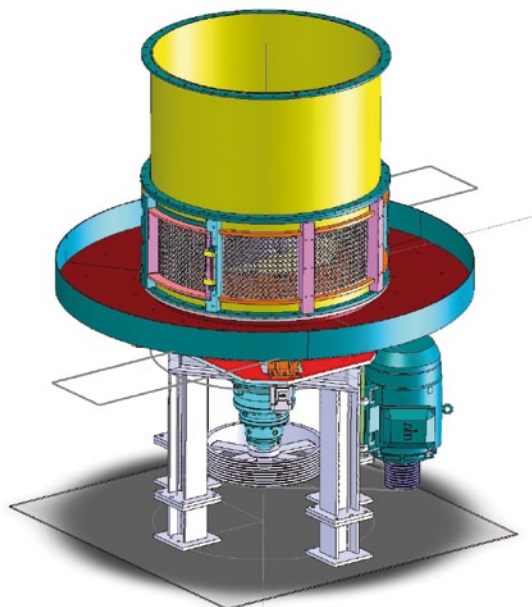
- серия вальцев;
- просеиватели;
- система увлажнения;
- многоковшовые экскаваторы;
- система хранения.

## ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАСТИРАТЕЛЬ ARAL MV 1900

Новый вертикальный растиратель был создан для рынка производителей кирпича, желающих улучшить качество производимой продукции. В одной машине соединены функции перемешивания и промежуточного хранения.

Компания Сарассиоли при проектировании данной машины сделала основной акцент на следующих факторах:

- прочность;
- низкое потребление энергии;
- перемешивание и гомогенизация материала;
- легкость в обслуживании и очистке;
- максимальная надежность.



## ХАРАКТЕРИСТИКИ ARAL MV 1900

### Структурные характеристики:

- рама изготовлена из сварного стального профиля,
- смеситель изготовлен из сварного стального профиля с решеткой,
- верхняя чаша изготовлена из сварного стального профиля,
- комплект из 8 сменных перфорированных решеток, изготовленных из износостойкой стали,
- вал с вращающимися лезвиями, изготовленными из упрочненной стали – 1 шт.,
- поворотное основание рычага дополнено лезвиями и сменными износостойкими элементами, изготовленными из стального листа,
- верхний рычаг смесителя изготовлен из сварной стали и снабжен сменными лезвиями, изготовленными из износостойкой стали
- нижняя поворачивающаяся чаша изготовлена из стальной профилированной рамы со сменными тарелками из износостойкого стального листа,
- тарелка с поворотным механизмом снабжена шариковыми подшипниками и внешней кольцевой шестерней
- 2 пневматических устройства для очистки от глины,
- главный приводной вал состоит из электрического двигателя, шкива передач и клиновых ремней,
- эпициклоидальный редуктор,
- оборудование для установки автоматической системы увлажнения с верхним трубчатым кольцом и форсунком,
- контроль циркуляции и охлаждения масляного редуктора,
- 3 мотор-редуктора оснащены шестерней для управления вращения чаша,
- установка автоматической смазки.

### Технические характеристики:

Диаметр чаши, мм .....	1900
Общая высота чаши, мм.....	2500
Длина вала, мм .....	1700
Общая высота машины, мм .....	5000
Скорость вращения рычага, об./мин .....	3–10
Мощность, кВт .....	110
Скорость вращения чаши, об./мин .....	6
Мощность вращения чаши, кВт .....	4,5
Мощность блоков управления (охлаждение), кВт .....	1,5
Производительность, т/ч .....	50
Общий вес, т.....	13

**CAPACCIOLI SRL**  
Via Piave, 51  
Sinalunga, Italia  
Tel. +39 0577679296  
Email: capacciolisrl@gmail.com

**ЖДЕМ ВАС НА ВЫСТАВКЕ МОСБИЛД, ПАВИЛЬОН 2.4., СТЕНД G215**



# Первая в России линия по производству клинкерного кирпича готова к промышленной эксплуатации

В декабре 2012 г. Группа ЛСР официально объявила о запуске первой линии нового кирпичного завода в г. Никольское Ленинградской области [1]. В настоящее время на заводе проходят последние тесты вторая линия по производству клинкерного кирпича.

После запуска второй линии новый завод Группы ЛСР станет крупнейшим в России и Европе, что существенно повлияет на структуру рынка в этом сегменте строительных материалов на Северо-Западе России, позволит получить конкурентное преимущество на рынке России в целом, а также на стратегических рынках Москвы и Санкт-Петербурга. Этому будет способствовать также значительное снижение себестоимости выпускаемой продукции за счет повышения эффективности производства и производительности труда. Однако главным результатом руководства предприятия и группы считает вывод на рынок инновационного продукта — клинкерного кирпича.

С учетом существенных изменений, происходящих на рынке строительных материалов в России за последние годы, топ-менеджеры компании предусмотрели потребности как со стороны строительных компаний, так и со стороны частных застройщиков. Поэтому в задание для контракта вошли такие виды изделий, как дорожный клинкер, кирпич лицевой полнотелый и пустотелый, более двадцати видов кирпича лицевого фигурного, керамическая фасадная плитка и др.

При подготовке контракта, руководством компании была поставлена задача построить линию способную выпускать продукцию, отвечающую самым жестким требованиям качества широкой цветовой гаммы: от различных оттенков красного, кремового, коричневого, желтого, до белого и черного. Выпускаемая продукция должна соответствовать российскому ГОСТ 530–2012 и европейскому DIN EN 1344.

Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	
– для пустотных изделий и плитки .....	25
– для полнотелого кирпича .....	45
– для дорожного клинкера .....	70
Морозостойкость, циклов, не менее .....	75
Водопоглощение, мас. %, не более .....	6
– для дорожного клинкера .....	2
Базовый формат клинкера, мм .....	200×100×50
Масса обожженного изделия базового формата с глубокой фаской, кг .....	2,35

Установленная производительность линии 43,51 млн шт. клинкерного кирпича базового формата в год или эквивалент для других форматов для облицовочного кирпича и аксессуаров. Производственная



мощность рассчитана исходя из двусменной работы по 8 ч 7 дней в неделю. Количество операторов в зоне производства 6 человек.

Общее потребление энергии для базового формата – 2000 кДж/ на кг обожженного продукта.

С целью расширения ассортимента за счет различных видов отделки спроектированы и смонтированы машины для получения рустированной, ангобированной лицевых поверхностей, а также нанесения декоративных напылений.

Основной продукцией второй линии нового завода Группы ЛСР в г. Никольском станет клинкер [2]. Керамический клинкер является специальным видом кирпича, разработанным для использования в ландшафте. Поскольку обжиг клинкера проводится при более высокой температуре, чем традиционный облицовочный кирпич, он более прочен и долговечен. Керамический клинкер может производиться широкой цветовой гаммы, некоторые виды клинкера разрабатываются в дизайне «под старину». Данная поверхность получается при вальцевании кирпича после выхода глиняного бруса из экструдера, и проявляется после обжига. Под заказ возможно создание искусственно состаренных кирпичей.

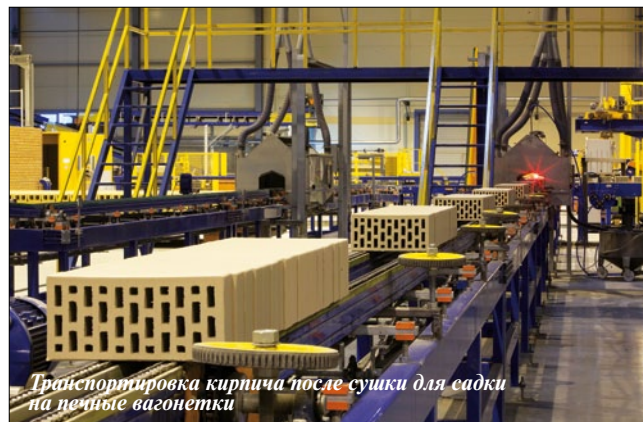
Контракт на поставку оборудования Группа ЛСР заключила в начале 2008 г. с компанией ТЕСТОН GmbH Keramikanlagen, для которой это был первый контракт в России такой сложности и объема. Однако в связи с разразившимся финансово-экономическим кризисом в конце 2008 г. было принято обоюдное решение о замораживании контракта.

Активная реализация контракта была возобновлена в июне 2011 г. Компания ТЕСТОН GmbH Keramikanlagen – это объединение фирм, которые в течение десятилетий производят машины и оборудование





Загрузка сушильных вагоночек



Транспортировка кирпича после сушки для садки на печные вагоночки

для керамической индустрии. За каждым отдельным именем стоят передовые высокотехнологические системы в своем секторе рынка.

UNITED SYMBOL – проектирование, производство, поставка и монтаж садово-разгрузочного оборудования.

INSTALAT B.V. – проектирование, производство и поставка сушильных установок и обжиговых печей различных типов.

CERAMDRY – проектирование и монтаж любых типов сушильных установок.

Muenstermann GmbH – производитель системы перемещения печных и сушильных вагонов

При проектировании и строительстве линии по производству клинкера технологами ЛСР и специалистами TECTON GmbH Keramikanlagen был реализован ряд оригинальных технических и технологических решений.

### Массоподготовка

Все кирпичные заводы Группы ЛСР в Ленинградской области находятся в непосредственной близости от крупнейшего в России Чкаловского месторождения кембрийских глин, которые являются основным сырьем. Поскольку кембрийские глины красножгущиеся, то для получения продукции других цветов применяются добавки, смеси привозных глин других месторождений.

Для этих целей проектом предусмотрен встроенный в главный корпус, отапливаемый склад хранения сырьевых добавок и добавок для ангобирования продукции. Также реализовано оригинальное решение внутреннего склада привозной глины, который находится непосредственно в отапливаемом массозаготовительном отделении. Поставка глины прямо в склад осуществляется железнодорожными вагонами. Разгрузка вагонов и подача глины в производство предусмотрена одним и тем же грейферным двадцатитонным краном.

### Формование

Планируемый широкий ассортимент разноплановой продукции обусловил необходимость двух линий формования. Одна линия предназначена для формования клинкера как дорожного, так и фасадного, а также других пустотелых изделий, в том числе различных видов лицевого кирпича и фигурных элементов.



Группирование сухого кирпича

На этой линии предусмотрен пескоструйный агрегат, а также комплекс устройств, позволяющих текстурировать и рустировать поверхность кирпича. Различные комбинации этих устройств позволяют получить до 15 различных видов поверхностей продукта.

Вторая линия формования предназначена для выпуска расщепляемой плитки размером от 250 мм до 500 мм в зависимости от характеристики глины. Помимо этого, на линии предусмотрена возможность производства керамических плиток для ступеней и подоконников.

Здесь текстурирование поверхности выполняется специальными боковыми конвейерами с заданным дизайном, которые позволяют изменять рисунок на поверхности. Возможна дооснастка для получения новых типов текстурирования. Также установлен специальный резчик с устройством нанесения фаски.

Предусмотрена комбинация универсального и многострунного резчика, включая устройства нанесения фаски различной глубины.

Далее выполнены две линии садки. Одна также для кирпича, другая – для плитки. Для садки изделий необычных форм предполагается также возможность ручной садки с отдельного поста.

### Сушка

Сушка изделий осуществляется в 12 камерных сушилках. Каждая камера вмещает 12 сушильных вагонов, что обеспечивает возможность выпускать различные виды продукции небольшими партиями, а также вести сушку по разным режимам. Каждая камера оснащена собственным компактным теплогенератором, который подсоединен к трубе для использования поступающего из зоны охлаждения печи теплого воздуха. Циркуляция воздуха внутри камер выполняется с помощью шести ротомиксеров, каждый производительностью примерно 22 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Параметры сушки контролируются датчиками влажности и температуры. Регулирование работы сушильных камер полностью автоматическое. Время сушки в зависимости от формата 35–45 ч. Габаритные размеры сушильных камер: рабочая глубина ~14 м, рабочая ширина ~6,1 м, высота ~5,5 м.

Для сушки применены паллеты, вместо традиционных сушильных реек. Такое решение позволяет формовать и сушить изделия разных размеров и форм.

На линии сушки установлены камеры ангобирования.



Сушилка. Вид сверху



*Установка садки на печные вагонетки*

В целях уменьшения затрат для монтажа печи и сушилок специалисты компании «Победа ЛСР» использовали строительный и лицевой кирпич собственного производства с других заводов.

На линии расщепляемой плитки предусмотрены три различные глазурочные кабины стандартной комплектации. Их можно менять согласно требованиям и желаемой к применению обработке.

Над одним пути находятся две отдельные установки садки на печные вагонетки для садки клинкера, облицовочного кирпича или расщепляемой плитки.

**Обжиг**

Туннельная печь спроектирована на температуру 1200°C с шириной канала 6,7 м и длиной 156,6 м с дополнительным входным шлюзом. Высота обжигового канала составляет 1,085 м. По длине печи оборудование обжига распределено следующим образом:

- в зоне предварительного подогрева печи 15 групп, каждая по 10 высокоскоростных горелок;
- в зоне обжига 14 групп, каждая по 19 горелок,
- для флэшинга 2 группы, каждая по 19 горелок.

В зоне обжига и по поперечному сечению печи обеспечивается однородность температуры с максимальным перепадом <10°C. Высокоскоростные горелки в зоне предварительного подогрева необходимы для выдержки температуры 600–750°C в течение периода времени заданного кривой обжига, что предотвращает образование черной сердцевины в кирпиче из-за органических включений в глиняном сырье.

Проектом предусмотрено достаточно места и необходимая система транспортировки печных вагонеток для последующей установки печи периодического действия, в которой можно вести обжиг в восстановительной среде будущих специальных продуктов, а также так называемый, синий восстановительный обжиг. Это одна из специализаций фирмы Instalat b.v.

В решении TECTON GmbH Keramikanlagen предпечь используется как часть печи, то есть форкамера. Благодаря этому начальная температура при входе вагонеток в печь может быть более высокой. В предпечи установлен термостат и предусмотрен печной затвор для повышения температуры, что позволяет досушить кирпич перед загрузкой в печь. Назначение предпечи – полностью высушить кирпич, удалив остаточную влажность и прогреть сам кирпич и печную вагонетку.



*Печь и туннель ожидания (предпечь)*



*Кирпич на печной вагонетке*

Прогрев происходит за счет подачи горячего воздуха из подвагонеточного канала печи, максимальная температура достигает 85°C.

Предусмотрена техническая возможность установки в предпечи горелки с целью поднятия температуры до 120°C. Если прогревать кирпич-сырец до температуры 110°C, то на входе в печь температура дымовых газов может быть уже более 200°C, за счет этого можно снизить время обжига минимум на 2 ч.

**Разгрузка печных вагонеток**

Над двумя путями расположены две отдельные установки для разгрузки печных вагонеток - одна для разгрузки кирпича, включая линии сортировки и упаковки. И ручной пост для плитки и кирпича.

Линия упаковки состоит из кабины для силиконизации, машин горизонтальной и вертикальной обвязки и машины для упаковки в термоусадочную пленку. Предусмотрены машины прокладки картона, упаковки поддонов в пленку с обвязкой полипропиленовой лентой.

В настоящее время в перечень выпускаемой продукции «ЛСР – Стеновые Северо-Запад» уже включен красный и коричневый дорожный клинкер М900 с морозостойкостью F100 и водопоглощением до 4%. На складе готовой продукции Никольского кирпичного завода находятся партии белого, желтого и коричневого лицевого кирпича отличного качества, полученные на новой линии. Выпущено несколько партий с применением флэшинга и первые партии фасадной плитки.

Специалистов ЛСР и TECTON GmbH Keramikanlagen ждет много совместной работы. Однако уже сейчас можно утверждать, что реализован уникальный для России проект в керамической строительной отрасли. Поэтому пожелаем удачи всем, кто принимал в нем участие, и своим примером продвигает новые технологические и маркетинговые решения.

**Список литературы**

1. Первая технологическая линия нового кирпичного завода Группы ЛСР введена в строй // Строительные материалы. 2012. № 12. С. 54–55.
2. Гаврилов А.В., Гринфельд Г.И. Краткий обзор истории, состояния и перспектив рынка клинкерного кирпича в России // Строительные материалы. 2013. № 4. С. 20–22.

[www.tecton-germany.de](http://www.tecton-germany.de)



*Готовая продукция*

# KELLER H.C.W.

## Гибкость, эффективность и экологическая рациональность – три основных принципа работы новейшего кирпичного завода, сооружаемого фирмой **КЕЛЛЕР ХЦВ** в Мордовии (РФ)

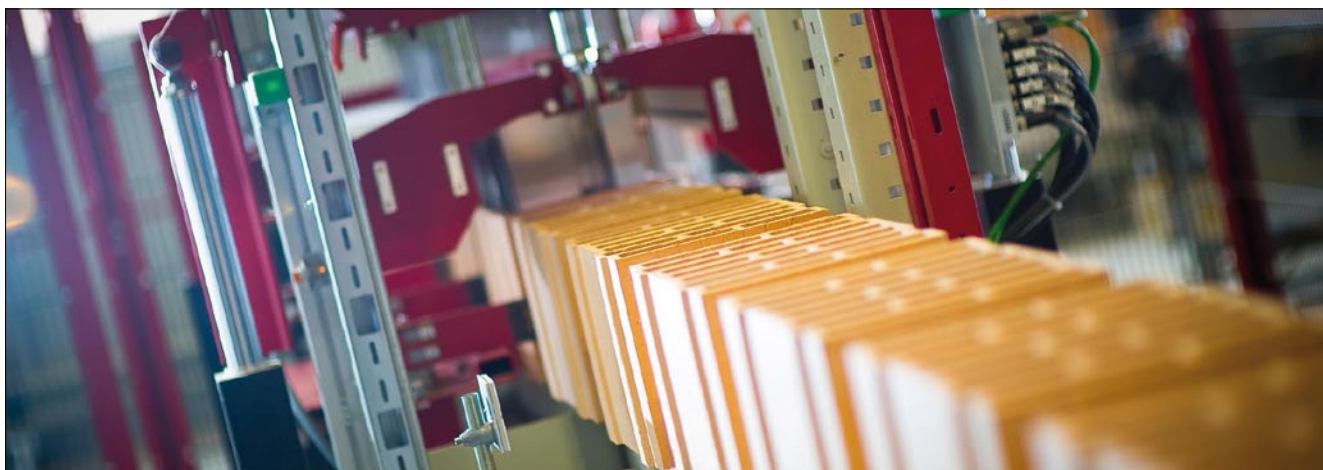
Перспективная инвестиция известной холдинговой компании ОАО «Мордовцемент» в дочернее предприятие ООО «Дубенский кирпичный завод», расположенное в Республике Мордовия, стала следующим значимым примером устойчивого развития строительного сектора в регионе с быстро развивающейся экономикой.

В селе Дубёнки, где уже на протяжении многих лет существует кирпичное производство, совместно с опытным заказчиком разрабатывается и реализуется проект по сооружению гибкой и ориентированной на потребности рынка комплексной линии, начиная от предварительной обработки сырья и заканчивая конечной продукцией.

В ассортимент кирпичного завода с энергетически эффективным производством входит высококачественный облицовочный кирпич и дорожный клинкер с широкой цветовой гаммой, а также высокопоризованные блоки. Благодаря более чем столетнему опыту компании КЕЛЛЕР ХЦВ в реализации комплексных технологических линий на территории Российской Федерации и предпринимательскому духу заказчика первая вагонет-



ка с готовой продукцией выйдет из келлеровской туннельной печи последнего поколения предположительно в июле 2014 г. В преддверии этого волнующего события в истории молодого кирпичного завода все участники проекта работают ежедневно с максимальной отдачей, высокой эффективностью и завидным упорством.



### **КЕЛЛЕР ХЦВ** и Морандо на выставке MosBuild 01–04 апреля 2014 г.

В 2014 г. компания КЕЛЛЕР в очередной раз принимает участие в выставке MosBuild – Тесноceramica в выставочном комплексе Экспоцентр на Красной Пресне в Москве.

В павильоне 2, зал 4, стенд № G243 компания КЕЛЛЕР представит инновационные технологии, применяемые в машиностроительной отрасли, робототехнике, массоподготовке и формовании, а также в технике автоматизации.

Кроме того, компания поделится опытом в сфере экологически чистых технологий и энергосбережения в работе печи и сушилки. Как и в прошлом году, в выставке будет принимать участие отдел контрольно-измерительной техники и автоматизации. Будут представлены различные модели пирометров – приборов, используемых для измерения температур не только в кирпичной промышленности, но и в других отраслях.

[www.keller-hcw.ru](http://www.keller-hcw.ru)



# 2014中国国际陶瓷技术装备 及建筑陶瓷卫生洁具产品展览会

2014 China International Ceramics Technology, Equipment,  
Building Ceramics & Sanitaryware Exhibition

## CERAMICS CHINA 2014

May 21-24, 2014  
China Import and Export Fair  
Pazhou Complex · Guangzhou

### The World's Largest Exhibition in Ceramic Industry

**100,000** Square Meters

**60,000** Professional Visitors

**1,000** Exhibitors

**5,000** Mechanical Equipments

#### Contact:

CCPIT Building Materials Sub-Council  
11 San Li He Rd., Baiwanzhuang,  
Beijing 100831, China  
Mr. Oneal Kang Ms. Dido Liu  
Tel: +86 10 88082338  
+86 10 88082339  
Fax: +86 10 88082339  
E-mail: [info@ceramicschina.net](mailto:info@ceramicschina.net)  
Web: [www.ceramicschina.net](http://www.ceramicschina.net)

#### Organizer:

China Building Materials Federation  
China Building Ceramics & Sanitaryware Association  
CCPIT Building Materials Sub-Council

#### Sponsor:

BMET Co.,Ltd





УДК 666.7:658.567.1:669.1

А.Ю. СТОЛБОУШКИН<sup>1</sup>, канд. техн. наук; Г.И. БЕРДОВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук; В.Н. ЗОРЯ<sup>1</sup>, инженер;  
 О.А. СТОЛБОУШКИНА<sup>1</sup>, канд. техн. наук; А.А. ПЕРМЯКОВ<sup>1</sup>, канд. геол.-мин. наук

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет (654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

<sup>2</sup> Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113)

## Влияние добавки ванадиевого шлака на процессы структурообразования стеновой керамики из техногенного сырья

Приведены результаты исследований по влиянию ванадийсодержащих отходов на процессы спекания керамического черепка из шламистой части отходов обогащения железных руд. Установлено, что добавка ванадиевого шлака приводит к изменению объемной окраски керамических изделий, а оксид ванадия, содержащийся в нем, интенсифицирует процессы спекания в заключительную стадию затвердевания силикатного расплава и служит катализатором в минералообразовании керамики на основе железорудных отходов, наиболее характерными из которых являются цепочечные силикаты авгита, мелилита и волластонита. Методами петрографического анализа, сканирующей электронной микроскопии, спектрального анализа и рентгеновской дифрактометрии изучена структура и фазовый состав керамических материалов на основе шламов железорудных отходов с корректирующими добавками. Введение добавок приводит к формированию черепка с выраженной стеклокристаллической структурой, характеризующейся пористой текстурой. При этом поровое пространство полностью или частично заполнено криптокристаллическим веществом, что увеличивает прочность керамики.

**Ключевые слова:** техногенное сырье, ванадиевый шлак, железорудные отходы, спекание, стеновая керамика.

A.Yu. STOLBOUSHKIN<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences; G.I. BERDOV<sup>2</sup>, Doctor of Technical Sciences; V.N. ZORYA<sup>1</sup>, Engineer,  
 O.A. STOLBOUSHKINA<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, A.A. PERMYAKOV<sup>1</sup>, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

<sup>1</sup> Siberian State Industrial University (42, Kirov Street, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation)

<sup>2</sup> Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (113, Leningradskaya Street, Novosibirsk, 630008, Russian Federation)

### The impact of vanadium slag addition on structure forming processes in wall ceramics made of technogenic material

Results of the study of influence of vanadium-containing waste on the processes of sintering of a ceramic body from the slurry part of waste of the iron ore enrichment are presented. It is established that the addition of vanadium slag leads to changing the volumetric coloration of ceramic products, and vanadium oxide contained in it intensifies the processes of sintering into the final stage of the silicate melt curing and serves as a catalyst in mineralization of ceramics on the base of iron ore waste, the most typical of which are chain silicates of augite, melilite and wollastonite. Methods of petrographic analysis, scanning electronic microscopy, spectral analysis and X-ray diffractometry are used for studying the structure and phase composition of ceramic materials on the basis of slimes of iron ore waste with corrective additives. The introducing of additives leads to formation of a ceramic body with an expressed glass- crystalline structure characterized by porous texture. In this case the pore space is fully or partly filled with a cryptocrystalline substance that increases the strength of ceramics.

**Keywords:** technogenic resources, vanadium slag, iron ore wastes, sintering, wall ceramics.

Стратегическим направлением развития производства строительных материалов является расширение сырьевой базы за счет использования нетрадиционного сырья и промышленных отходов [1]. Сегодня необходимость рационального использования ресурсов и сохранения экологического равновесия в природе находит понимание у большинства специалистов отрасли [2, 3].

При производстве стеновых керамических материалов из малопластичного неспекающегося техногенного сырья наряду с новыми методами их получения часто необходима корректировка состава шихты для формирования прочной структуры изделий. Согласно модели формирования микроуровневой структуры керамических матричных композитов [4] для достаточного внутреннего насыщения гранул из отходов пиропластичной связкой и развития жидкофазного спекания при температуре обжига не более 1000–1050°C целесообразно искусственное обогащение техногенного сырья добавкой легкоплавкой глины или плавня.

Проведенные исследования по улучшению декоративных свойств стеновой керамики на основе шламистых железорудных отходов показали выраженный эффект одновременно и окрашивающей и структурирующей добавки при использовании пентавалентного оксида ванадия, обеспечившего спекание черепка и практически «кирпичные» характеристики керамики [5].

Strategic direction of building materials development is the expansion of raw materials base through the use of unconventional raw materials and industrial wastes. Today the need for rational use of resources and maintenance of ecological balance is understood by the most of industry experts.

In production of ceramic wall materials made of low-plastic non-sintering technogenic resources along with new methods for their production modification of the charge composition is often required for firm product structure forming. According to the model of ceramic matrix composites micro-level structure formation [1] for sufficient internal saturation of pellets made of wastes with piroplastic binder and development of liquid-phase sintering at firing temperature of no more than 1000–1050°C artificial enrichment of technogenic raw material by adding fusible clay or flux is reasonable.

Research on improvement of decorative properties of new wall ceramics made of slimy iron wastes had shown the apparent effect of both coloring and structuring additive using pentavalent vanadium oxide providing sintering of the crock and practically «clinker» characteristics of ceramics [2].

The aim of the present work was to study the impact of vanadium containing wastes on sintering processes in ceramic crock made of slimy part of iron ore tailings.

The study was conducted at the example of slimy part of iron ore wet magnetic separation tails after enrichment

Целью настоящей работы являлось изучение влияния ванадийсодержащих отходов на процессы спекания керамического черепка из шламистой части отходов обогащения железных руд.

Исследование проводилось на примере наиболее массовых промышленных отходов Кузбасса: шламистой части хвостов мокрой магнитной сепарации после обогащения железных руд (ОЖР), которые являются тонкодисперсным (средний размер частиц составляет 15–50 мкм), малопластичным (число пластичности составляет 3–4), неспекающимся техногенным сырьем. Описание химического и минерального состава железорудных отходов Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики (Новокузнецк) приведено в [6].

В работе в качестве корректирующих добавок был выбран ванадиевый шлак Нижнетагильского металлургического комбината (холдинг Evraz Group). Выбор шлака был обусловлен тем, что присутствующий в нем  $V_2O_5$  вызывает значительное снижение вязкости щелочно-силикатных стекол, образуя со щелочами легкоплавкие соединения – ванадаты. Такие соединения оксид ванадия образует даже с оксидами  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , и  $CaO$  [7]. Так, все смеси  $SiO_2$  с  $V_2O_5$  при соотношении оксидов от 3:1 до 1:3 плавятся при температурах ниже  $800^\circ C$ . По способности резко снижать температуру размягчения щелочных силикатных стекол  $V_2O_5$  превосходит все другие оксиды элементов со степенью окисления +5.

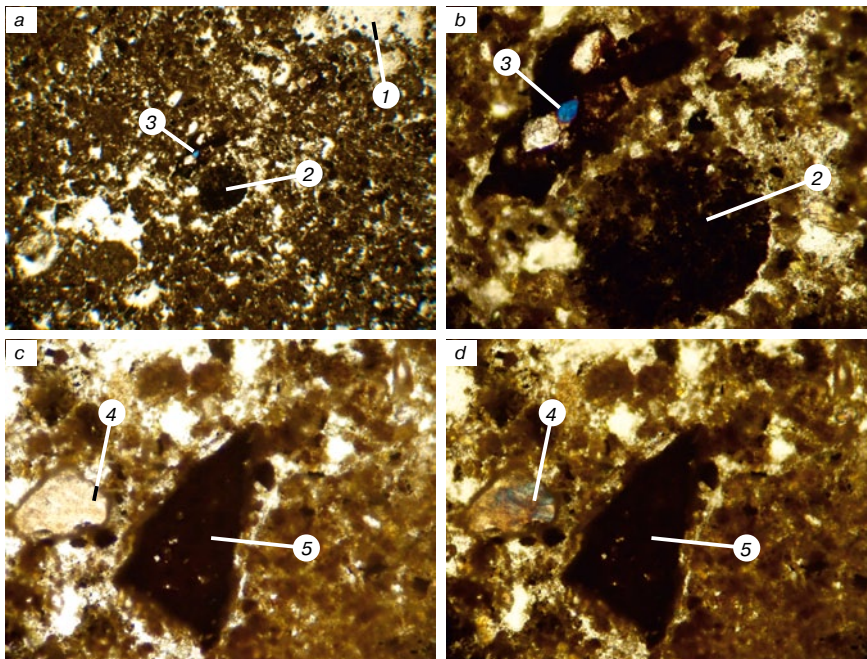
Исследованная проба ванадиевого шлака представляла собой бурый тонкодисперсный порошок, легко разрушающийся в лабораторных бегунах. Химический состав шлака представлен в табл. 1.

В отличие от металлургических шлаков в ванадиевом практически нет рентгеноаморфной фазы, состав его представлен в основном сложными соединениями со структурой шпинели  $(Fe, Mg, V, Ti)_{3-x}O_4$ . Потери при прокаливании составляют 8,6%.

Керамические образцы диаметром 45 мм и высотой 45–50 мм формовались методом полусухого прессования. Влажность пресс-порошка составляла 8–9%. Режим прессования двухступенчатый с односторонним приложением нагрузки, давление прессования 15 МПа. Обжиг проводился в лабораторной муфельной печи при температуре  $1050^\circ C$ .

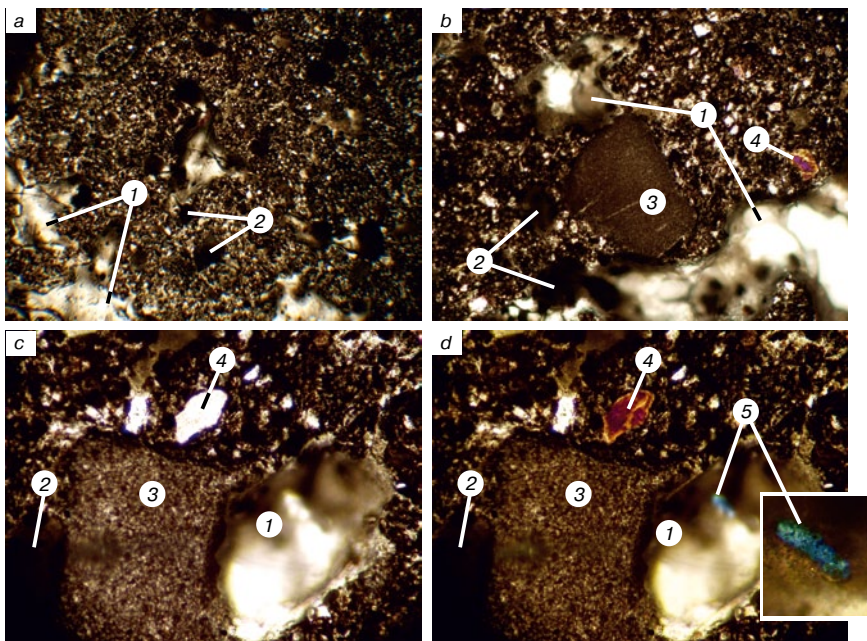
Составы керамических смесей и экспериментальные данные физико-механических свойств полученных образцов приведены в табл. 2.

Ванадиевый шлак, как и пентоксид ванадия, приводит к изменению



**Рис. 1.** Микрофотографии керамического черепка на основе шламистой части железорудных отходов с добавкой 10 мас. % ванадиевого шлака. Шлиф, проходящий свет, 25×; николи + (a); 100×; николи + (b, d), николи II (c): 1 – поры; 2 – мелилит; 3 – авгит; 4 – пироксен; 5 – гематит

**Fig. 1.** Micrographs of the ceramic crock made of slimy part of iron ore wastes with 10 wt. % addition of vanadium slag. Section, transmitted light, 25×: nicols + (a), 100×, nicols + (b, d), nicols II (c): 1 – pores; 2 – melilite; 3 – augite; 4 – pyroxene; 5 – hematite



**Рис. 2.** Микрофотографии керамического черепка на основе шламистой части железорудных отходов с добавкой 20 мас. % ванадиевого шлака. Шлиф, проходящий свет, 25×; николи + (a); 100×; николи + (b, d), николи II (c): 1 – поры; 2 – железистая стеклофаза; 3 – реликтовый пирит; 4 – пироксен; 5 – авгит

**Fig. 2.** Micrographs of the ceramic crock made of slimy part of iron ore wastes with 20 wt. % addition of vanadium slag. Section, transmitted light, 25×, nicols + (a), 100×: nicols + (b, d), nicols II (c): 1 – pores; 2 – ferriferous vitreous phase; 3 – relict pyrite; 4 – pyroxene; 5 – augite

**Таблица 1  
Table 1**

Массовая доля компонентов, % (на абсолютно сухую навеску) Mass fraction of components, % (for absolutely dry charge)					
V	MnO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	CaO
14,24	8,77	9,52	12,65	5,4	2,14

Таблица 2  
Table 2

Состав шихты, мас. % Charge mixture composition, wt., %	Прочность при сжатии, МПа Compressive strength, MPa	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> Average density, kg/m <sup>3</sup>	Водопоглощение, % Water absorption, %	ККК CQC	Морозостойкость, цикл Freeze resistance, cycle
Шламовая часть ОЖР – 75 Slimy part of IOW – 75 Суглинок – 25 Clay loam – 25	19,2	1760	15,6	10,9	25
Шламовая часть ОЖР – 75 Slimy part of IOW – 75 Суглинок – 15 Clay loam – 15 Ванадиевый шлак – 10 Vanadium slag – 10	32,5	1802	13,6	11,2	63
Шламовая часть ОЖР – 65 Slimy part of IOW – 65 Суглинок – 15 Clay loam – 15 Ванадиевый шлак – 20 Vanadium slag – 20	63,2	2034	9,7	12,9	90

Таблица 3  
Table 3

Химический элемент Chemical element	Элементный состав кристаллической фазы участка образца The element composition of crystalline phase of the sample part					
	Ванадиевый шлак 10 мас. % Vanadium slag 10 wt. %			Ванадиевый шлак 20 мас. % Vanadium slag 20 wt. %		
	Весовой % Weight percent	Атомный % Atomic percent	Количество атомов Amount of atoms	Весовой % Weight percent	Атомный % Atomic percent	Количество атомов Amount of atoms
C	–	–	–	11,68	21,72	40
O	45,07	63,57	100	33,96	47,4	80
Na	–	–	–	1,44	1,4	2
Mg	9,29	8,5	18	2,42	2,22	5
Al	4,15	3,42	6	4,18	3,46	6
Si	14,61	12,45	25	11,41	9,07	20
K	–	–	–	0,41	0,24	1
Ca	8,44	4,68	5	3,41	1,9	2
Ti	–	–	–	1,72	0,8	1
V	1,06	0,46	1	3,11	1,23	2
Fe	17,38	6,92	13	26,26	10,56	20

окраски образцов, причем с увеличением его содержания до 20 мас. % красящий эффект усиливается до насыщенного коричневого цвета.

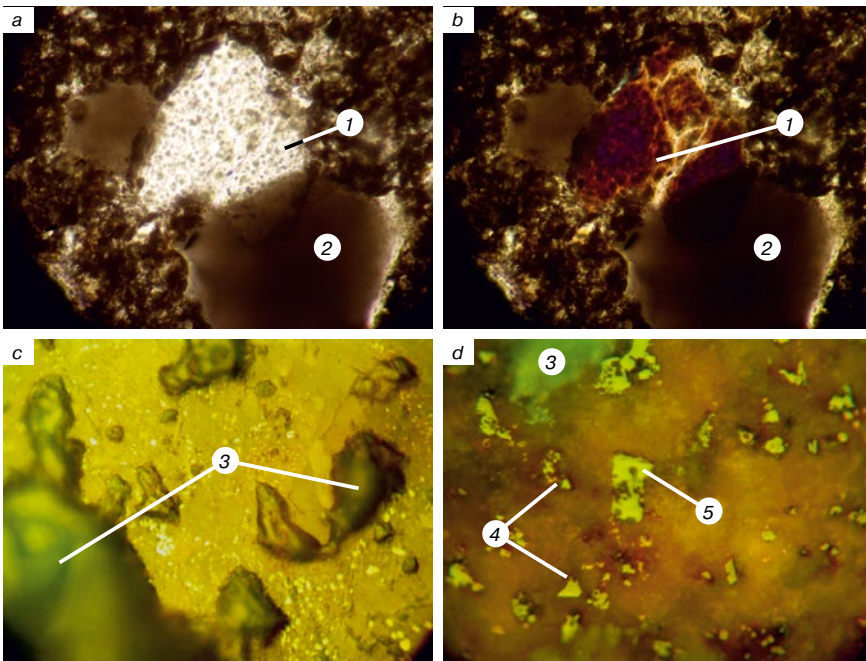
Изучение фазового состава и структуры керамических образцов проводилось комплексом методов. Дифрактометрические исследования позволили установить, что основными минеральными фазами керамического черепка являются авгит, гематит, мелилит, кварц и анортит.

В шлифах керамического черепка на основе шламовой части железорудных отходов с добавкой 10 мас. % ванадиевого шлака наблюдается поликристаллическая разнородная структура, от крипто- до мелкокристаллической, с равномерным распределением пор. Можно отметить характерное заполнение порового пространства крипнокристаллическим веществом. Стенки пор покрыты зародышевыми кристаллами, сцементированными стеклофазой. Встречаются железистые минералы в виде сложных минеральных агрегатов. Сферолиты из кристаллов мелилита (рис. 1, *b*) и темные кристаллы гематита пластинчатой формы (рис. 1, *d*). Выделяются

(IOW) – the largest scale industrial wastes of Kuzbass that are fine-disperse (with average particle size of 15–50 microns), low-plastic (plasticity index of 3–4), non-sintering technogenic raw material. Description of chemical and mineral composition of iron wastes of Abagurskaya enrichment and sintering plant (Novokuznetsk) is given in the article [2].

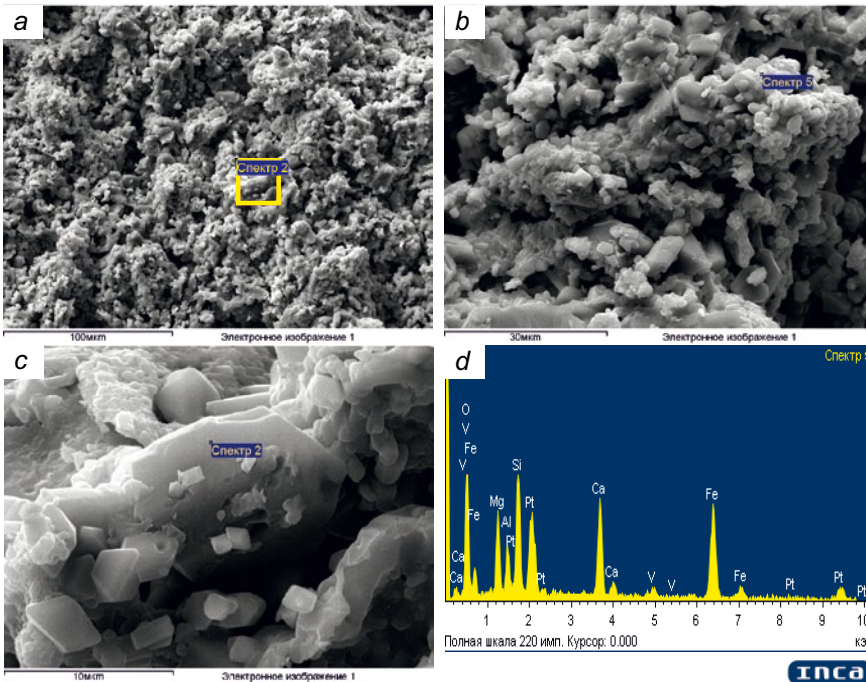
As a corrective additive for this work vanadium slag of Nizhny Tagil Metallurgical Plant (Evraz Group Holding) was selected. The slag selection was determined by presence of  $V_2O_5$  which causes significant reduction in viscosity of alkaline silicate glass, forming fusible compounds – vanadates with alkalis. Such compounds vanadium oxide forms even with  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , и  $CaO$  oxides [3]. Thus, all mixtures of  $SiO_2$  with  $V_2O_5$  at oxides ratio from 3:1 to 1:3 melt at temperatures below 800°C. By its ability to reduce the softening point of the alkali silicate glasses dramatically  $V_2O_5$  surpasses all other oxides of elements with the oxidation rate +5.

Examined samples of vanadium slag represent brown fine-disperse powder, easily destroyed in laboratory runners. Chemical composition of the slag is shown in Table 1.



**Рис. 3.** Микрофотографии керамического черепка на основе шламистой части железорудных отходов с добавкой 20 мас. % ванадиевого шлака. Шлиф, проходящий свет, 200×, николи II (а), николи + (b); иммерсионный объектив, аншлиф, отраженный свет, 1000× (с), 1500× (d): 1 – пироксен; 2 – железистая стеклофаза; 3 – поры; 4 – гематит; 5 – шпинель

**Fig. 3.** Micrographs of ceramic crock made of slimy part of iron ore wastes with 20 wt. % addition of vanadium slag. Section, transmitted light, 200×, nicols II (a), nicols + (b) immersion lens, section, polished section, reflected light, 1000× (c) 1500× (g): 1 – pyroxene; 2 – ferriferous vitreous phase; 3 – pores; 4 – hematite; 5 – spinel



**Рис. 4.** Микрофотографии керамического черепка на основе шламистой части железорудных отходов с добавкой 10 мас. % ванадиевого шлака. Сканирующий электронный микроскоп (а–с) и спектр кристаллической фазы (d)

**Fig. 4.** Micrographs of the ceramic crock made of slimy part of iron ore wastes with 10 wt. % addition of vanadium slag. Scanning electron microscope (a–c) and the crystalline phase spectrum (d)

пироксеновые агрегаты с характерной поляризацией при скрещенных николях (поз. 4, рис. 1, с, d).

Увеличение содержания ванадиевого шлака до 20 мас. % приводит к формированию черепка с более выраженной стеклокристаллической структурой, ха-

are the minerals that are the main carriers of isomorphic admixture of vanadium and that increase strength properties of ceramics.

The study of sections and polished sections makes it possible to conclude that the cause of high firing shrinkage

Unlike metallurgic slags vanadium slag has almost no radio-amorphous phase, its composition is represented mainly by complex compounds of spinel structure  $(Fe, Mg, V, Ti)_{3-x}O_4$ . Calcination losses make up 8,6%.

Ceramic samples with diameter of 45 mm and height of 45–50 mm were molded by dry pressing. Humidity of press powder was 8–9%. Pressing mode was two-step with single-way load application, compaction pressure of 15 MPa. Firing was carried out in laboratory muffle furnace at 1050°C.

Composition of ceramic mixtures and experimental data on physical and mechanical properties of obtained samples are shown in Table 2.

Vanadium slag, as well as vanadium pentoxide, causes change of samples color, and, increasing content up to 20 wt. % coloring effect is amplified to saturated brown.

Study of ceramic samples phase composition and structure was carried out by set of methods. Diffractometric studies revealed that the main mineral phases of ceramic crock are augite, hematite, melilite, quartz and anorthite.

In the sections of ceramic crock made of slimy iron ore wastes with the addition of 10 wt. % of vanadium slag polycrystalline anisomeric structure ranged from crypto- to fine-crystalline with even pore distribution is observed. Typical filling of the pore space by cryptocrystalline substance may be noted. Pore walls are covered with nucleus crystals cemented by vitreous phase. Ferrous minerals in form of complex mineral aggregates are found. Spherulites of melilite crystals (Fig. 1, b) and dark hematite platelet-shaped crystals (Fig. 1, d). Pyroxene aggregates with characteristic polarization are allocated when nicols are crossed (item 4, Fig. 1, c, d).

Increase in content of vanadium slag to 20 wt. % leads to formation of crock with stronger glass crystal structure, characterized by porous texture (Fig. 2). Pore space is completely or partially filled with cryptocrystalline substance in which minerals of pyroxene group, augite, in particular, can be traced (item 5, Fig. 2, d).

Pyrite burnout pseudomorphosis with formation of new minerals such as wustite  $(Fe_{1-x}O)$ , troilite  $(FeS)$  and magnetite  $(Fe_3O_4)$  is observed at Fig. 2 (item 3). Data on petrographic studies of sections coincide with the results of X-ray phase analysis, diagnosing significant content of augite and hematite mineral phase. These

рактеризующейся пористой текстурой (рис. 2). Поровое пространство полностью или частично заполнено крипнокристаллическим веществом, в котором можно обнаружить минералы пироксеновой группы, в частности авгит (поз. 5, рис. 2, *d*).

На рис. 2 (поз. 3) наблюдается псевдоморфоза выгорания по пириту с образованием новых минералов: вюстита ( $\text{Fe}_{1-x}\text{O}$ ), трюилита ( $\text{FeS}$ ) и магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Данные петрографических исследований шлифов совпадают с результатами рентгенофазового анализа, диагностирующего значительное содержание минеральной фазы авгита и гематита. Именно эти минералы являются главными носителями изоморфной примеси ванадия и повышают прочностные свойства керамики.

Изучение шлифов и аншлифов позволяет сделать заключение, что причиной высокой огневой усадки, обуславливающей спекание черепка и придающей коричневую окраску керамическим образцам, является железистая стеклофаза (рис. 3, *a, b*).

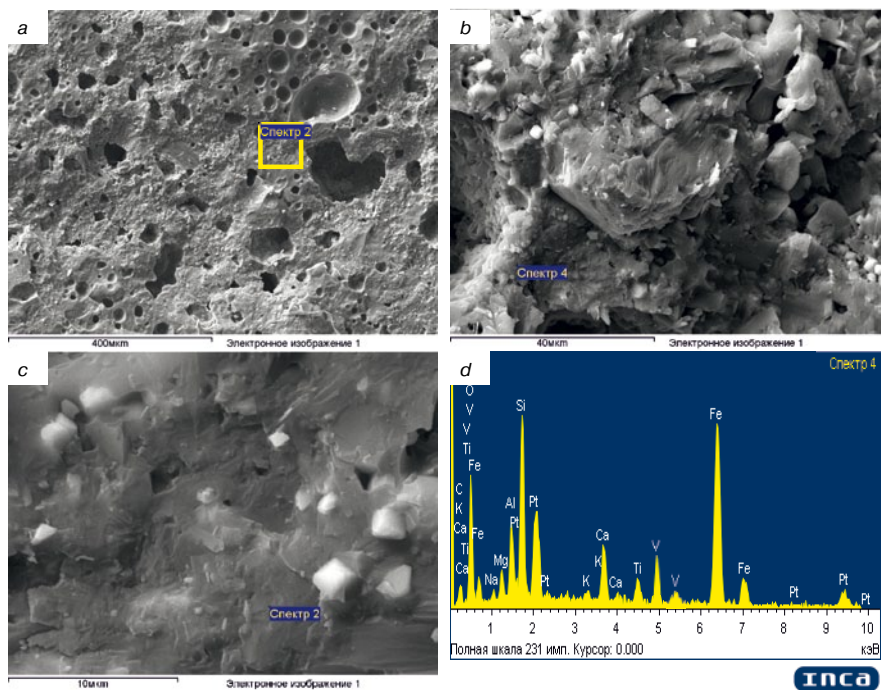
При большем увеличении в иммерсии (рис. 3, *c, d*) можно заметить в стеклофазе распределенную фазу гематита, имеющую красноватый оттенок, и формирование зародышевых кристаллов шпинели выраженной огранки с включениями кальциевых ферритов. Очевидно, именно формирование железистых минералов упрочняет стеклофазу и придает ей темно-коричневый оттенок.

Исследование керамических образцов при помощи растрового электронного микроскопа выявило различия в структуре материала в зависимости от количества ванадиевого шлака в составе шихты (рис. 4, 5). При добавке 10 мас. % ванадиевого шлака преобладает агломератная структура с зернами минералов выраженной огранки, имеющих острые или оплавленные углы. Например, шестигранная форма кристалла характерна для флогопита, ромбовидная – для авгита (рис. 4, *b, c*).

В образцах с содержанием 20 мас. % ванадиевого шлака преобладает монолитная структура с участками из ограненных и скелетных кристаллов и затвердевшего расплава в виде стекла, имеющего развитую поровую текстуру с замкнутыми порами сферической или неправильной формы, сформировавшимися в результате процессов газыделения при обжиге материала (рис. 5, *a*). При большем увеличении можно заметить, что затвердевший агрегат имеет порфирированную структуру, обусловленную формированием новых минеральных фаз (рис. 5, *c*). Очевидно, образующийся расплав после кристаллизации объединяет реликтовые зерна минералов и новообразованные кристаллы авгита, мелилита и гематита в единое целое и обеспечивает высокие прочностные показатели материала (более 60 МПа).

Результаты спектрального анализа (рис. 4, 5, табл. 3) показали, что введение в шихту ванадиевого шлака, как и пентоксида ванадия, приводит к образованию оплавленной структуры и с увеличением его содержания в составе шихты количество расплава увеличивается (рис. 5, *c*).

Одними из кристаллических новообразований в керамическом черепке являются цепочечные силикаты авгита, мелилита и волластонита. Такой вывод можно сделать на основании анализа соотношения атомов Si и O



**Рис. 5.** Микрофотографии керамического черепка на основе шламистой части железорудных отходов с добавкой 20 мас. % ванадиевого шлака. Сканирующий электронный микроскоп (*a–c*) и спектр кристаллической фазы (*d*)

**Fig. 5.** Micrographs of the ceramic crock made of slimy part of iron ore wastes with 20 wt. % addition of vanadium slag. Scanning electron microscope (*a–c*) and the crystalline phase spectrum (*d*)

which causes sintering of the crock and gives brown color to ceramic samples is ferriferous vitreous phase (Fig. 3, *a, b*).

At higher magnification in immersion (Fig. 3, *c, d*) distributed phase of hematite of reddish tint, and formation of seed crystals of spinel of definite faceting with inclusions of calcium ferrites can be seen in vitreous phase. Obviously, it is formation of ferriferous minerals that strengthens vitreous phase and gives it dark brown tint.

Investigation of ceramic samples using raster electron microscope revealed differences in structure of material, depending on the amount of vanadium slag in charge (Fig. 4, 5). When vanadium slag additive makes up to 10 wt. % agglomerate structure with mineral grains of pronounced faceting with sharp or flowed corners prevails. For example, hexagonal form of crystal is typical for phlogopite, diamond-shaped – for augite (Fig. 4, *b, c*).

In samples containing 20 wt. % of vanadium slag prevailing is monolithic structure with parts of faceted and skeletal crystals and solidified melt in form of glass, having the developed pore structure with closed pores of spherical or irregular shape, formed as a result of processes of gas emission during firing of the material (Fig. 5, *a*). At higher magnification, it can be seen that solidified aggregate has porphyritic structure, due to new mineral phases formation (Fig. 5, *c*). Obviously, the melt after crystallization combines relict grains of minerals and newly formed crystals of augite, melilite and hematite in single integrity and provides high strength characteristics of the material (over 60 MPa).

The results of spectral analysis (Fig. 4, 5, Table 3) have shown that introduction of vanadium slag, as well as vanadium pentoxide, into charge causes formation of fused structure, and increase of its content in charge composition leads to increase of quantity of melt (Fig. 5, *c*).

Some of crystalline growths in ceramic crock are augite, melilite and wollastonite chain silicates. Such a conclusion can be made based on analysis of the Si and O at-

(табл. 3), которое характерно для кремнекислородных тетраэдров  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Наиболее вероятным носителем ванадия из них является авгит  $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{V})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , что подтверждается рентгенофазовым и петрографическим анализом. Минералы группы мелилита также содержат примесь ванадия и представлены изоморфной смесью двух силикатов: окерманита  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{V})_2\text{Si}_2\text{O}_7$  и геленита  $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{V})_2\text{SiO}_7$ . В процессе спекания оксид ванадия служит катализатором в минералообразовании керамики на основе железорудных отходов. Интенсивно способствует спеканию в заключительную стадию затвердевания силикатного расплава и взаимодействует со щелочами, главным образом с натрием и калием (рис. 5, d).

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- введение ванадиевого шлака в состав шихты на основе шламистых железорудных отходов приводит к значительному росту физико-механических показателей образцов при отсутствии признаков пережога. При 10 и 20% содержании шлака предел прочности при сжатии возрастает соответственно в 1,7 и 3,2 раза, морозостойкость – в 2,5 и 3,6 раза, водопоглощение снижается на 13 и 38%, что свидетельствует о спекании керамического черепка;

- оптимальные составы сырьевой смеси для изготовления стеновых керамических изделий содержат в качестве компонентов шламистую часть отходов обогащения железных руд в количестве 75–85%, природное глинистое сырье – 10–15% и ванадиевый шлак – 5–15% (Патент № 2487844. А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко, Г.И. Бердов и др. Опубл. в БИ 2013. № 20);

- ванадиевый шлак содержит оксиды ванадия и железа, выполняющие функцию плавяния в силикатных стеклообразующих системах, и в сочетании со шламистой частью отходов обогащения железных руд интенсифицирует процессы спекания керамического черепка.

**Список литературы**

1. Чернышов Е.М. К проблеме развития исследований и разработок в области материаловедения и высоких строительных технологий: основные акценты // *Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: Материалы XV Академических чтений РААСН. Международная научно-техническая конференция*. Казань: КазГАСУ, 2010. Т. 1. С. 8–9.
2. Гуров Н.Г., Котлярова Л.В., Иванов Н.Н. Расширение сырьевой базы для производства высококачественной стеновой керамики // *Строительные материалы*. 2007. № 4. С. 62–64.
3. Котляр В.Д., Устинов А.В., Ковалев В.Ю. и др. Керамические камни компрессионного формования на основе опок и отходов углеобогащения // *Строительные материалы*. 2013. № 4. С. 44–46.
4. Столбоушкин А.Ю. Получение качественной стеновой керамики на основе неспекающегося малопластичного техногенного сырья // *Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: Сб. трудов Международная научная конференция*. М.: МГСУ, 2011. Т. 2. С. 175–180.
5. Столбоушкин А.Ю. Улучшение декоративных свойств стеновых керамических материалов на основе техногенного и природного сырья // *Строительные материалы*. 2013. № 8. С. 24–29.
6. Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И. Необходимость и перспективы утилизации шламистых железорудных отходов Кузбасса в технологии стеновых керамических материалов // *Строительные материалы*. 2009. № 4. С. 77–80.
7. Аппен А.А. *Химия стекла*. Л.: Химия, 1974. 352 с.

oms ratio (Table 3), which is typical for  $\text{SiO}_4^{4-}$  silicon-oxygen tetrahedra. Augite  $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{V})_2\text{Si}_2\text{O}_6$  is the most probable carrier of vanadium, that is confirmed by X-ray phase and petrographic analysis. Minerals of melilite group also contain admixture of vanadium and are presented by isomorphous mixture of two silicates: akermanite  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{V})_2\text{Si}_2\text{O}_7$  and helenite  $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{V})_2\text{SiO}_7$ . During sintering vanadium oxide serves as a catalyst in the mineral forming of ceramics made of iron wastes. It intensively promotes sintering into the final stage of solidification of silicate melt and reacts with alkalis, mainly with sodium and potassium (Fig. 5, d).

Based on the results of research the following conclusions can be made:

- introduction of vanadium slag into charge made of slimy iron wastes leads to a significant increase in physical and mechanical properties of samples with no signs of overbaking. At content of slag of 10 and 20% compressive strength increases respectively in 1,7 and 3,2 times, freeze resistance in 2,5 and 3,6 times, water absorption is reduced by 13 and 38 percent, that indicates sintering of ceramic crock;

- optimal composition of the raw mixture for wall ceramic products contains slimy part of iron ore enrichment wastes in the amount of 75–85%, natural clay – 10–15% and vanadium slag – 5–15% as components (Patent number 2487844. A.Yu. Stolboushkin, G.I. Storozhenko, G.I. Berdov etc. Published at BI in 2013, № 20);

- vanadium slag contains iron and vanadium oxides, performing the function of flux in silicate glass-forming systems, and in aggregate with the slimy part of iron ore tailings intensifying processes of sintering of ceramic crock.

**References**

1. Chernyshev E.M. To the problem of fundamental and applied research in field of material science and high-tech constructional processes: the main emphasis. *Achievements and problems of material science and modernization of construction industry: Materials of the XVth Academic readings of RAACES – International Scientific and Technical Conference*. Kazan: KSUAE, 2010. V. 1, pp. 8–9 (In Russian).
2. Gurov N.G., Kotlyarova L.V., Ivanov N.N. Expanding the resource base of high quality wall ceramic production. *Stroitel'nye Materialy [Construction materials]*. 2007. No. 4, pp. 62–64 (In Russian).
3. Kotlyar V.D., Ustinov A.V., Kovalev V.Yu. Ceramic stones produced of flasks and coal enrichment wastes by means of compression molding. *Stroitel'nye Materialy [Construction materials]*. 2013. No. 4, pp. 44–46 (In Russian).
4. Stolboushkin A.Yu. Production of wall ceramics of high quality based on non-sintering low plastic technogenic resources. *Integration, partnership and innovation in construction science and education: Papers of International scientific conference*. Moscow MGSU 2011. No. 2, pp. 175–180 (In Russian).
5. Stolboushkin A.Yu. Improving decorative properties of ceramic wall materials produced of technogenic and natural resources *Stroitel'nye Materialy [Construction materials]*. 2013. No. 8, pp. 24–29 (In Russian).
6. Stolboushkin A.Yu., Storozhenko G.I. Need and prospects of Kuzbass slimy iron ore wastes disposal in ceramic wall materials production technology. *Stroitel'nye Materialy [Construction materials]*. 2009. No. 4, pp. 77–80 (In Russian).
7. Appen A.A. *Khimiya stekla [Chemistry of glass]*. Leningrad: Khimiya, 1974. 352 p. (In Russian).



Юбилейный год 55-летия Экспоцентра открыла встреча с представителями центральных и отраслевых СМИ.

На ней присутствовали генеральный директор ЗАО «Экспоцентр» Сергей Беднов, советник Президента ТПП РФ Владимир Губернаторов, директор Департамента выставочной, ярмарочной и конгрессной деятельности ТПП РФ Игорь Коротин, Исполнительный директор Российского союза выставок и ярмарок Людмила Смородова, генеральный директор компании «Мессе Франкфурт Рус» Ойген Аллес, генеральный директор «Мессе Дюссельдорф Москва» Томас Штенцель и другие.

В своем выступлении **Сергей Беднов** представил статистические и финансовые показатели деятельности Экспоцентра в 2013 г. Проведено 95 выставок (из них – 31 собственная и 64 гостевых) и более 800 конгрессных мероприятий. В них приняли участие 32400 компаний со всего мира и из всех регионов России. Посетителями выставочно-конгрессных мероприятий стали 1,8 млн человек, среди которых более 90% – специалисты.

В честь 55-летия своей деятельности Экспоцентр запускает юбилейный сайт, посвященный этому торжественному событию, работает над памятной книгой-альбомом, снимает фильм. Однако юбилей – это не только праздничные мероприятия. Это прежде всего повод посмотреть на свою работу через призму десятилетий, чтобы точнее планировать будущее. Экспоцентр и впредь планирует внедрять новые технологии, организовать новые отраслевые промышленные выставочные смотры. Прежде всего смотры, которые нацелены на развитие приоритетных направлений российской экономики, реализацию национальных проектов, федеральных целевых программ в промышленности и социальной сфере.

Выставочная деятельность играет важную роль в развитии ключевых отраслей современного производства, в скорейшем внедрении инноваций и распространении передовых технологий и опыта. Ежегодно в России проводится более 1700 выставок (общей площадью около 2 млн м<sup>2</sup>) с участием 140 тыс. российских и 20 тыс. зарубежных экспонентов. На российском рынке выставочно-конгрессных услуг действует более 270 операторов.

Как отметил **Владимир Губернаторов**, советник Президента ТПП РФ: «Среди выставочных компаний Экспоцентр является несомненным лидером. На его долю, если взять экспозиционную пло-



щадь нетто, приходится свыше 30% всех выставок в нашей стране. Около четверти всех зарубежных экспонентов в России – это участники смотров Экспоцентра. Около трети всех посетителей российских выставок – посетители ЦВК на Красной Пресне. И вполне закономерно, что в конце прошлого года Экспоцентр был признан лучшей российской выставочной компанией и награжден национальной премией в области бизнеса «Компания года-2013» в номинации «Выставочная деятельность».

**Игорь Коротин**, директор Департамента выставочной, ярмарочной и конгрессной деятельности ТПП РФ, назвал Экспоцентр «флагманом экспобизнеса», потому что он идет вперед в совершенствовании технологии выставочного дела и щедро делится своими наработками с выставочным сообществом, особенно региональным.

**Ойген Аллес**, генеральный директор компании «Мессе Франкфурт Рус», подчеркнул, что Экспоцентр уже 12 лет является стратегическим партнером компании «Мессе Франкфурт Рус» в России. Он отметил крайнюю актуальность и пользу нового проекта «Экспоцентр – за выставки без контрафакта», направленного на противодействие демонстрации на выставках контрафактной продукции и незаконному копированию экспонируемых новых разработок.

**Томас Штенцель**, генеральный директор «Мессе Дюссельдорф Москва», которая в сентябре 2013 г. отметила 50-летие работы в России, сказал: «Все эти годы мы работаем вместе с Экспоцентром и наблюдаем, как модернизируется и совершенствуется эта выставочная площадка, становясь по настоящему комфортным местом для экспонентов и посетителей. Мы и в дальнейшем собираемся проводить и развивать наши специализированные выставки в Центральном выставочном комплексе «Экспоцентр».

«Для нас Экспоцентр – это лидер отечественной выставочной индустрии, – отметила **Людмила Смородова**, исполнительный директор Российского союза выставок и ярмарок, – это школа внедрения передового опыта и идей. Это образец профессионального мастерства». Она рассказала об активном участии Экспоцентра в продвижении таких прогрессивных начинаний, как выставочный аудит и выставочный рейтинг. Эти два инструмента выставочного маркетинга позволяют сделать выставочную деятельность прозрачной, дают возможность экспонентам и посетителям выбирать выставку по объективным показателям, а следовательно, повышать эффективность своего участия и финансовый результат.

**По материалам пресс-службы ЗАО «Экспоцентр»**

*Мы благодарны нашему постоянному партнеру ЦВК «Экспоцентр» за плодотворное сотрудничество и желаем дальнейшего процветания.*



Министерство регионального развития РФ  
 Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН)  
 Российский союз строителей



Центральный научно-исследовательский и проектный институт  
 жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища)



Объединенная редакция научно-технических журналов  
 «Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®

## IV Международная научно-практическая конференция «Развитие крупнопанельного домостроения в России»

# InterConPan-IV

International Conference of Large-panel Construction

24–25 июня 2014 г.

Николаевский дворец, Санкт-Петербург, пл. Труда, 4

### Тематика конференции:

- Состояние базы крупнопанельного домостроения в РФ
- Опыт модернизации предприятий КПД
- Оборудование и технологии
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Проблемы тепловлажностной обработки изделий и конструкций
- Архитектурно-планировочные решения крупнопанельных домов
- Качество и энергоэффективность полносборных зданий
- Расчет и конструирование узлов сборных элементов
- Применение архитектурного бетона
- Проблемы армирования ЖБК и КПД
- Опыт строительства крупнопанельного жилья

### Программа конференции включает:

#### Пленарное заседание

#### Секции:

- «Архитектура и особенности проектных решений крупнопанельных зданий»
- «Гибкая технология предприятий ДСК и КПД»

#### Посещение

- Домостроительный комбинат «Группы ЛСР» (ЗАО «ДСК «Блок»)
- Строящийся жилой комплекс в Санкт-Петербурге



Спонсоры  
 конференции:



Партнеры конференции:



К проведению конференции готовятся тематические номера журналов «Жилищное строительство» №5–2014 г. и «Строительные материалы»® №5–2014 г., в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 15.04.2014

### Организационный комитет:

Телефон/факс: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08  
 E-mail: kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3  
 редакция журнала «Жилищное строительство»



УДК 691

А.А. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук, генеральный директор

ООО «ГС-Эксперт» (125047, г. Москва, 1-й Тверской-Ямской пер., 18, офис 207)

## Итоги развития строительного комплекса и промышленности строительных материалов в 2013 г. Прогноз на 2014 г.

Приведена оценка состояния строительного комплекса и промышленности строительных материалов. Отмечено, что даже несмотря на то, что данные официальной статистики носят более оптимистичный характер, чем экспертные оценки, результаты 2013 г. свидетельствуют о стагнации и вероятном начале снижения базовых показателей в строительном комплексе. Инвестиции в основной капитал по виду деятельности «Строительство» по итогам 2013 г. снизились на 1,5% по сравнению с предыдущим годом (в сопоставимых ценах). Ввод жилья составил 69,39 млн м<sup>2</sup>, что на 5,6% больше, чем в 2012 г. Основную роль в развитии жилищного строительства играет ипотечное кредитование. Средний рост объемов производства строительных материалов на 0,3% по итогам 2013 г. был достигнут в основном за счет наращивания объемов производства отдельных видов материалов, которые используются в индивидуальном жилищном строительстве и при ремонте существующих зданий и сооружений. Основными драйверами роста строительства на ближайшую перспективу могут стать программы дорожного и жилищного строительства, финансируемые из бюджетов различных уровней, а также прогнозируемый рост объемов строительства в некоторых сегментах коммерческой недвижимости.

**Ключевые слова:** итоги работы за 2013 г., строительство, промышленность строительных материалов, макроэкономические показатели, темпы роста, стагнация, динамика производства, прогноз.

A.A. SEMENOV, Candidate of Sciences (Engineering), General Director,  
ООО "GS-Expert" (18, off. 207, 1st Tverskoy-Yamskoy lane, Moscow, 125047, Russian Federation)

### Results of development of the construction complex and building materials industry in 2013, the forecast for 2014

The assessment of the state of the construction complex and building materials industry is presented. It is noted that despite the fact that official statistics data are more optimistic than the expert evaluation, data of 2013 indicate the stagnation and possible beginning of lowering of basic indicators in the construction industry. As a result of 2013, investments in fixed capital by the «Construction» type of activity decreased by 1.5% comparing with the previous year (at comparable prices). The commissioning of housing was 69.39 million m<sup>2</sup>, that is by 5.6% more than in 2012. Mortgage lending plays a major role in the development of housing construction. The average growth of volume of building materials production by 0.3% at the end of 2013 was achieved mainly by increasing production volumes of certain types of materials used in the construction of individual housing and renovation of existing buildings and structures. Programs of road and housing construction, financed from the budgets of different levels, as well as the predicted growth in construction in some segments of commercial real estate may become the main drivers of the growth of construction in the near future.

**Keywords:** results of work in 2013, construction, building materials industry, macroeconomic indexes, rates of growth, stagnation, dynamic of production, forecast.

Состояние российского строительного комплекса и перспективы его развития во многом зависят от общего состояния экономики страны. Оценка состояния строительного комплекса и промышленности строительных материалов, приведенная в настоящей публикации, в основном базируется на анализе данных официальной статистики. Однако необходимо отметить, что эти данные не всегда вполне корректно отражают действительную ситуацию в отечественной экономике, это неоднократно отмечалось в ряде публикаций и выступлений. Как правило, данные официальной статистики носят более оптимистичный характер. Однако даже несмотря на это, результаты 2013 г. свидетельствуют о стагнации и вероятном начале снижения базовых показателей.

Начиная с 2012 г. в экономике России отмечается устойчивое снижение темпов развития. По итогам 2013 г. рост российской экономики составил всего 1,3% при планируемом Правительством РФ росте ВВП 3,6%. Минувший год ознаменовался сокращением инвестиций в основной капитал (-0,3% к уровню 2012 г.), продолжился отток капитала (по данным ЦБ РФ, чистый отток капитала в 2013 г. составил 62,7 млрд долл. США против 54,6 млрд долл. США в 2012 г.), рост промышленного производства составил 0,3%. Меры правительства по ускорению роста пока не работают: в январе 2014 г. зафиксированы спад производства, дальнейшее сокращение инвестиций и реальных доходов населения.

На протяжении 6 из 12 месяцев 2013 г. объемы инвестиций в основной капитал в целом по российской экономике сокращались. По итогам года впервые с 2009 г. отмечено снижение этого показателя в годовом выраже-

нии. Если проследить динамику изменения объемов инвестиций в основной капитал за последние шесть лет, то можно увидеть, что уровень инвестиций в основной капитал в 2011 г. достиг докризисного уровня. Однако при анализе инвестиций в основной капитал по видам экономической деятельности можно увидеть, что этот показатель по виду деятельности «Строительство» после незначительного роста в 2010 г. стабильно сокращается. По итогам 9 мес 2013 г. объем инвестиций в строительстве составил всего 67% от уровня 2008 г.



**Рис. 1.** Индексы макроэкономических показателей в 2008–2013 гг. (2008 г. = 100%). Источник: оценка «ГС-Эксперт»

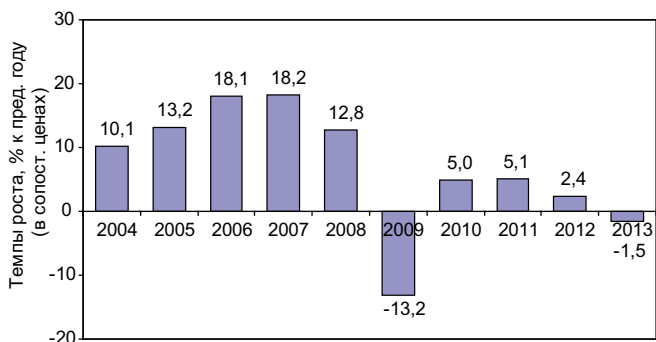


Рис. 2. Динамика изменения объемов работ по виду деятельности «Строительство» в 2004–2013 гг. Источники: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

В 2010 г. началось посткризисное восстановление строительного комплекса. В 2010–2011 гг. объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство», ежегодно увеличивался не менее чем на 5% по сравнению с предыдущим годом (в сопоставимых ценах). В 2012 г. рост объемов строительных работ в стране продолжился, однако темпы роста этого показателя снизились до 2,4%. При этом докризисных показателей в сопоставимых ценах достичь так и не удалось.

По итогам первых трех месяцев 2013 г. объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство», увеличился на 0,6% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. При этом на протяжении всего отчетного периода отмечалось замедление темпов роста данного показателя. Во II квартале объемы работ сократились и в натуральном выражении: снижение составило 2,5% по сравнению со II кварталом 2012 г. В III квартале 2013 г., после незначительного роста в июле объемов строительства в августе–сентябре вновь отмечалась негативная динамика, что обусловило общее сокращение объемов работ по виду деятельности «Строительство» по итогам III–IV кварталов 2013 г. В результате по итогам 2013 г. объем работ по виду деятельности «Строительство» в стране снизился на 1,5% по сравнению с предыдущим годом (в сопоставимых ценах) и составил 5917,2 млрд р. По отношению к уровню 2008 г. (последний докризисный год) объем работ по виду деятельности «Строительство» в сопоставимых ценах составил всего 96,6% (рис. 2).

При этом, по данным Росстата, ввод зданий нежилого назначения в России в 2013 г. сократился на 7,8% по сравнению с предыдущим годом, что является абсолют-

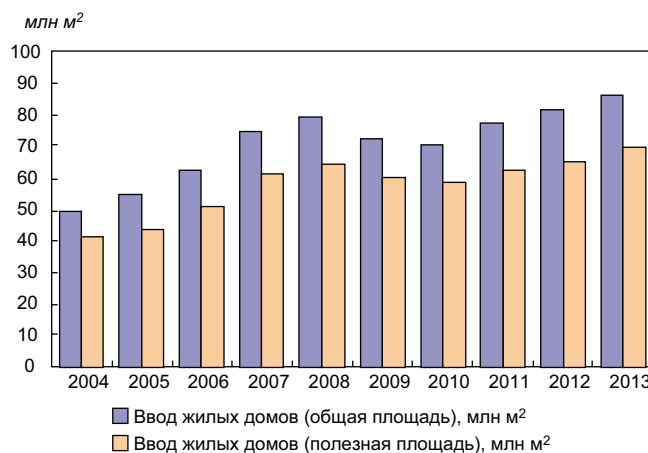


Рис. 3. Объемы ввода жилых домов в России в 2004–2013 гг. Источник: Росстат

ным антирекордом за последнее десятилетие. Даже в условиях кризиса объемы ввода нежилых зданий не снижались более чем на 6,2%.

Ситуация в жилищном строительстве в 2013 г. была неоднозначной (рис. 3). Несмотря на высокие темпы роста объемов ввода жилых домов в целом по году (105,6% к уровню 2012 г. против 104,7% годом ранее), темпы роста этого показателя к концу года снизились до 100,6%, хотя традиционно в конце года наблюдались наиболее высокие темпы роста ввода жилья. Всего в 2013 г. в стране было введено 69390,8 тыс. м² жилой площади (общая площадь введенных жилых зданий составила 86384,7 тыс. м²).

При этом стоит отметить, что значительная часть жилых домов в стране строится за счет средств населения (как собственных, так и привлеченных кредитов). На их долю приходится более 43% общей площади возводимых жилых домов и около 25–27% от общего числа возводимых зданий.

Ипотечное кредитование играет все большую роль в развитии рынка жилищного строительства. Об этом свидетельствует рост количества ипотечных сделок на фоне общего сокращения сделок с жилой недвижимостью. Например, по данным Росреестра, каждое четвертое право собственности (24,6%), зарегистрированное в сделках с жильем в 2013 г., приобреталось с использованием ипотечного кредита. Этот показатель является рекордным с 2010 г.

Рост ипотечного рынка стал одним из основных драйверов жилищного строительства в последние годы. В 2013 г. в России было выдано 824792 ипотечных кредита на общую сумму 1354 млрд р., что в 1,2 раза превышает уровень 2012 г. в количественном и в 1,3 раза в де-

Положительные факторы	Отрицательные факторы
<ul style="list-style-type: none"> <li>низкая текущая обеспеченность населения жильем;</li> <li>высокая доля ветхих и аварийных жилых домов, требующих переселения жителей;</li> <li>планируемое Правительством РФ дальнейшее увеличение объемов строительства, реализация государственных программ в области жилищного строительства;</li> <li>рост объемов ипотечного кредитования и его доли в структуре финансирования приобретения жилья населением</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>вероятная рецессия российской экономики;</li> <li>падение курса рубля;</li> <li>падение реальных располагаемых доходов населения</li> </ul>

Рис. 4. Факторы, влияющие на дальнейшее развитие жилищного строительства

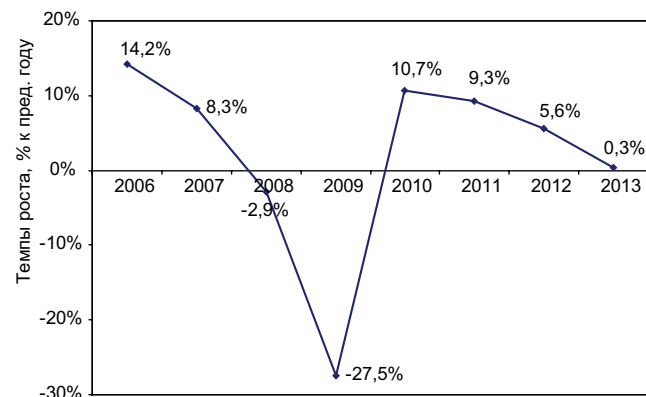


Рис. 5. Темпы роста производства в промышленности строительных материалов в 2006–2013 гг., % к предыдущему году. Источник: Росстат

нежном выражении. Средневзвешенная ставка по ипотечным кредитам в 2013 г. составила 12,4%.

По прогнозам Агентства по ипотечному жилищному кредитованию в 2014 г. будет выдано порядка 847–960 тыс. ипотечных кредитов на сумму 1,5–1,7 трлн р. Этот объем кредитов позволит населению приобрести 39,3–42,5 млн м<sup>2</sup> жилья, в том числе 16,6–17,9 млн м<sup>2</sup> вновь построенного.

В 2014 г., по оценкам «ГС-Эксперт», несмотря на стагнацию и вероятную рецессию российской экономики, в сегменте жилищного строительства сохранится положительная динамика (рис. 4). Однако темпы роста объемов ввода жилья могут снизиться до 3–4,7%. По нашим прогнозам в текущем году в стране будет введено порядка 71,8–72,7 млн м<sup>2</sup> жилых домов.

Состояние промышленности строительных материалов соответствует ситуации в строительстве. После динамичного роста производства в отрасли в 2010 г. в последующие годы отмечалось снижение темпов роста. И если снижение темпов роста в 2011 г. можно было объяснить «завышенными» темпами роста в 2010 г. в связи с эффектом «низкой базы» кризисного 2009 г., то отчетливо прослеживаемая тенденция сокращения темпов роста производства в отрасли в 2012–2013 гг. свидетель-

ствует о негативных тенденциях как в экономике в целом, так и в строительном секторе. Рост объемов производства на 0,3% по итогам 2013 г. можно назвать условным, во многом он был достигнут за счет наращивания объемов производства узкого спектра строительных материалов. В целом же объем производства в отечественной промышленности строительных материалов по итогам года составил около 90% от уровня докризисного 2007 г. (рис. 5).

В 2010 г. в промышленности строительных материалов на протяжении всего года наблюдался устойчивый рост темпов роста производства. Уже к маю они достигли 10% и сохранялись на этом уровне до конца года. В 2011–2012 гг. достаточно высокие темпы роста производства наблюдались только в начале года – свыше 10% в январе–апреле, что было связано с надеждами на рост объемов строительных работ в стране, которые, как известно, не оправдались. И на протяжении всего 2011 г. темпы роста объемов строительных работ стабильно сокращались. Аналогичная ситуация сохранилась и в 2012 г. При этом снижение темпов роста производства в промышленности строительных материалов было более существенным. По итогам 2012 г. рост производства в промышленности строительных мате-

**Таблица 1**

**Ввод новых производственных мощностей в 2008–2013 гг.**

Продукция	Ед. изм.	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Материалы строительные нерудные	млн м <sup>3</sup>	6,5	70	5,4	4,7	7,7	1,1
Цемент	млн т	0,3		7,3	9	8,6	1,7
Сборные железобетонные конструкции и изделия	тыс. м <sup>3</sup>	106	173	358	87	188	256
Кирпич керамический	млн шт. усл. кирп.	223	536	272	135	642	230
Кирпич силикатный	млн шт. усл. кирп.	24		224	80		
Блоки из ячеистых бетонов	млн шт. усл. кирп.	236	300	1225	1045	691	480
Стекло листовое	млн м <sup>2</sup>	35		14		30	
Плитка керамическая	млн м <sup>2</sup>	6,1		0,3	3,1	19,1	
Теплоизоляционные материалы	млн м <sup>3</sup>	4,3	0,7	4,3	0,7	1,8	

Источник: Росстат

**Таблица 2**

**Баланс производственных мощностей в 2010–2012 гг.**

Продукция	Единицы измерения	Баланс мощностей		
		2010	2011	2012
Материалы строительные нерудные	млн м <sup>3</sup>	-8,7	51,1	-20,5
Цемент	млн т	0,5	8,8	9,5
Сборные железобетонные конструкции и изделия	млн м <sup>3</sup>	0,5	-2,7	0,2
Кирпич керамический	млн шт. усл. кирп.	127,4	-79,8	893,7
Кирпич силикатный	млн шт. усл. кирп.	-16	74,4	71,8
Блоки из ячеистых бетонов (газобетон)	млн шт. усл. кирп.	704	595,5	1494,4
Стекло листовое	млн м <sup>2</sup>	42,6	-26,1	35,4
Керамзит	млн м <sup>3</sup>	-0,3	-0,1	-0,6
Минеральная вата	млн м <sup>3</sup>	0,3	2,4	3,2
Листы асбестоцементные	млн шт.	66,5	-234,2	-187,6
Материалы мягкие кровельные и гидроизоляционные	млн м <sup>2</sup>	-117,5	-67,4	30,3
Плитка керамическая для внутренней облицовки	млн м <sup>2</sup>	-3,1	-1,4	1,2
Плитка керамическая для полов	млн м <sup>2</sup>	0,9	5	13,8
Плитка керамическая фасадные	млн м <sup>2</sup>	0,1	0,8	7,5
Изделия санитарно-технические из керамики	млн шт.	0,6	-2,1	-0,4

Источник: Росстат

Таблица 3

Темпы роста производства в промышленности строительных материалов в 2011–2013 гг.

Продукция	Темпы роста производства, %					2012	2011
	2013						
	январь–март	январь–июнь	январь–сентябрь	январь–декабрь			
В целом по виду деятельности «Прочие неметаллические минеральные продукты»	102,2	102,2	102,9	100,3	105,6	109,3	
Нерудные стройматериалы, в том числе	95,8	102,5	98,1	97,1	111,4	114,3	
щебень	103	101,5	100,3	97,2	109,3	117,1	
песок строительный	85,1	108	96,2	96,5	112,7	109,1	
Цемент	113,4	107,5	107,9	107,8	109,5	111,4	
Известь строительная	108,9	105,2	104,7	102,7	116,7	116,4	
Гипс	102,8	104,7	102	101	108	113,7	
Кирпич керамический	103,4	103,8	103,1	102,9	109,6	117,2	
Кирпич силикатный	120,7	111,2	109,3	110,3	110,6	111,6	
Блоки из ячеистого бетона	117,9	109,2	106,1	106,2	120	129,8	
ЖБИ	112,3	108,7	108,1	107,4	109,6	111,2	
Товарный бетон	111,8	105,2	104	101,5	106,8	119,3	
Стекло листовое термически полированное (флоат)	110	111	117,1	117,9	106,3	103,2	
Плитка керамическая	109,1	108,6	107,8	106,7	108,5	114,9	
Строительные гипсовые изделия	99,9	105,2	106	104,2	106,4	109,3	
Минераловатные теплоизоляционные материалы	114,6	114,8	116,2	115,5	123,6	118,9	

Источник: Росстат

риалов составил всего 5,6% против 9,3% в 2011 г. Впервые с 2009-го 2013 г. начался с падения объемов выпуска строительных материалов. Только в феврале индекс производства в отрасли вышел на положительный уровень. В последующие месяцы наблюдалось постепенное увеличение темпов роста объемов производства, которые к апрелю достигли 3,5%. Однако отсутствие адекватного роста спроса со стороны строительного комплекса привело к замедлению темпов роста в последующие месяцы. Как результат, по итогам 2013 г. объем производства строительных материалов в России увеличился всего на 0,3% по сравнению с предыдущим годом (рис. 6).

В 2013 г. на фоне снижения темпов роста объемов производства в отрасли также сократился и ввод новых производственных мощностей в некоторых подотраслях ПСМ. Исключение составляют производители сборных ЖБИ, где ввод новых производственных мощностей, по предварительным оценкам, превысил прошлогодний уровень (табл. 1).

Однако стоит отметить, что несмотря на ввод новых производственных мощностей, в ряде подотраслей ПСМ даже в 2012 г. был отмечен отрицательный баланс, т. е. объем выбытия мощностей превысил объем их ввода. В частности, мощности по добыче нерудных строительных материалов сократились на 20,5 млн м<sup>3</sup> (4,6% от объема производства в стране); мощности по производству керамзита снизились на 0,6 млн м<sup>3</sup>; асбестоцементных листов – на 187,6 млн шт.; санитарных керамических изделий – на 0,4 млн шт. (табл. 2).

Если проследить динамику изменения объемов производства некоторых видов строительных материалов в 2013 г. и сопоставить ее с данными за 2011–2012 гг., то можно увидеть отчетливую тенденцию сокращения темпов роста по большинству товарных позиций. В производстве нерудных строительных материалов по итогам года впервые с 2009 г. зафиксировано падение объемов

производства. Однако в целом, несмотря на сокращение темпов роста производства, объем выпуска большинства видов строительных материалов в 2013 г. на 3% и более превысил прошлогодний уровень. При этом стоит отметить, что наиболее высокие темпы роста показывают те сегменты строительных материалов, которые используются в индивидуальном жилищном строительстве и при ремонте существующих зданий и сооружений (табл. 3).

Сопоставив объемы производства в натуральном выражении, можно отметить, что большинство подотраслей ПСМ по итогам 2012 г. наконец достигло докризисных объемов производства, но ряд подотраслей еще очень далек от преодоления последствий кризиса. В 2013 г. объемы производства нерудных строительных материалов вновь сократились до уровня ниже докризисного. Среди основных видов строительных материалов наиболее высокие темпы роста показывают блоки из ячеистого бетона (объем выпуска этой продукции в 2013 г. в 1,9 раза превысил докризисный уровень), листовое флоат-стекло (рост в 1,5 раза), а также цемент и гипс (рост в 1,2 раза).

В рамках предыдущего анализа состояния промышленности строительных материалов, выполненного нами в прошлом году [1], специалисты «ГС-Эксперт» прогнозировали снижение темпов роста объемов производства в отрасли до 3–5% по итогам 2013 г., а в пессимистическом варианте развития экономической ситуации в стране – сохранение объемов производства на уровне 2012 г. Как можно видеть из приведенных выше данных, по итогам прошедшего года был реализован пессимистический вариант развития событий.

В настоящее время говорить о каких-либо определенных перспективах уже затянувшегося выхода из экономического кризиса не представляется возможным, тем более что все настойчивее в развитие экономической ситуации вмешивается политика. Тем не менее, несмотря на ухудшающуюся экономическую ситуацию

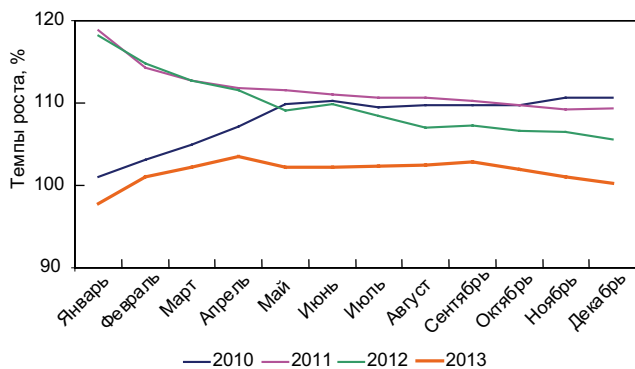


Рис. 6. Помесячные темпы роста объемов производства в промышленности строительных материалов в 2010–2013 гг., % к аналогичному периоду с начала предыдущего года. Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

в стране и снижение объемов инвестиций, мы считаем, что рост в промышленности строительных материалов в 2014 г. все же возможен. Основными драйверами роста могут стать программы дорожного и жилищного строительства, финансируемые из бюджетов различных уровней, а также прогнозируемый рост объемов строительства в некоторых сегментах коммерческой недвижимости. Также благоприятное влияние на отрасль должна оказать «заморозка» тарифов естественных монополий в 2014 г. Для экспортоориентированных подотраслей положительную роль может сыграть и наблюдающееся с конца 2013 г. снижение курса рубля, что позволит отечественной продукции успешно конкурировать на мировом рынке. Одновременно с этим в 2014 г., очевидно, можно ожидать существенного снижения объемов импорта строительных материалов в Россию. Прежде всего это может коснуться цемента (из-за роста курса доллара

США и евро цены на импортируемый цемент существенно вырастут) и щебня (в основном из-за нестабильной политической и экономической ситуации на Украине, являющейся основным поставщиком щебня в Россию).

В целом же ситуация в промышленности строительных материалов по-прежнему останется очень неоднородной. В текущем году наиболее вероятен рост объемов производства только в отдельных подотраслях, в частности: цемент, листовое стекло, штучные стеновые материалы, нерудные стройматериалы, сухие строительные смеси, кровельные и гидроизоляционные материалы, теплоизоляционные материалы и др.

При реализации оптимистического сценария развития экономической ситуации в России по нашим прогнозам по итогам 2014 г. рост производства в промышленности строительных материалов составит не более 1–3%. В случае реализации пессимистического сценария мы прогнозируем снижение объемов производства в отрасли на 2–4%.

Подробный аналитический отчет «Состояние строительного комплекса и промышленности строительных материалов в России: итоги 2013 г. и прогноз на 2014 г.» можно приобрести в компании «ГС-Эксперт».

Список литературы

1. Семенов А.А. Итоги развития строительного комплекса и промышленности строительных материалов в 2012 году, прогноз на 2013 год // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 62–65.

References

1. Semenov A.A. Results of development of a construction complex and the industry of construction materials in 2012, the forecast for 2013 // *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 62–65.

Специалистами маркетинговой компании «ГС-Эксперт» подготовлен аналитический отчет



«Состояние строительного комплекса и промышленности строительных материалов в России: итоги 2013 г. и прогноз на 2014 г.»

Отчет состоит из 3 глав, содержит 44 страниц, в том числе 14 таблиц, 10 рисунков. При подготовке использовались данные Федеральной службы государственной статистики РФ (Росстат), Министерства экономического развития РФ, Министерства регионального развития РФ, Министерства строительства РФ, материалы центральных и региональных СМИ, базы данных «ГС-Эксперт».

Первая глава посвящена анализу макроэкономической ситуации в России. Во второй главе приведены данные о состоянии строительства в России, в частности жилищного строительства, строительства нежилых зданий (торговая, офисная и складская недвижимость) и гражданского инженерного строительства (автомобильные и железные дороги, аэропорты, морские и речные порты и прочие объекты). В третьей главе приводится информация о текущем состоянии промышленности строительных материалов, объемах и динамике производства некоторых видов строительных материалов, динамике ввода новых производственных мощностей, а также прогноз развития отрасли в 2014 г.

Содержание отчета

1. Макроэкономические показатели.....	6
2. Строительство .....	9
2.1. Жилищное строительство.....	11
Объемы строительства .....	11
Стоимость строительства и цены на жилье .....	20
Ипотечное кредитование .....	22
Реализация государственных программ	
в области жилищного строительства.....	23
Прогноз развития жилищного строительства в 2014 г. ....	25
2.2. Строительство нежилых зданий.....	26
2.2.1. Торговая недвижимость .....	26
2.2.2. Офисная недвижимость .....	27
2.2.3. Складская недвижимость.....	30
2.3. Гражданское инженерное строительство .....	32
2.3.1. Автомобильные дороги .....	32
2.3.2. Железные дороги .....	34
2.3.3. Прочие объекты .....	35
3. Промышленность строительных материалов.....	38

Отчет предоставляется в электронном виде в формате \*.pdf

Цена 12 тыс. рублей

Заявки на приобретение направляйте

в компанию «ГС-Эксперт»  
по факсу: (499) 250-48-74,  
электронной почте e-mail: info@gs-expert.ru

В издательство «Стройматериалы»  
по факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36,  
электронной почте e-mail: mail@rifsm.ru

Стройте свои планы на базе объективной оперативной информации!

# Постоянно действующий семинар

«Физико-химические и математические аспекты строительного материаловедения и технологий»  
 академика РААСН Сергея Викторовича Федосова — достойное продолжение традиции

Традиция проведения постоянно действующих семинаров известна в научной среде давно. Ее расцвет приходится на начало XX в. Всемирно известны научные семинары А.Ф. Иоффе, П.Л. Капицы (знаменитые «капишники»), Л.Д. Ландау. Специалистам хорошо знакомы «Павловские среды», проводимые знаменитым физиологом И.П. Павловым. Постоянно действующими семинарами в Харькове руководил П.А. Ребиндер.

В рамках таких неформальных регулярных встреч ученые знакомились с наиболее интересными научными проблемами и обсуждали результаты своих исследований. Также на семинарах обсуждались публикации в последних выпусках научных журналов. Высоко было значение научных семинаров для молодых ученых, которые ко всему прочему учились формулировать свои мысли, отстаивать свою точку зрения, вести научную полемику.

Хочется надеяться, что данная традиция успешно привьется в современном строительном материаловедении. На этом пути сделан первый шаг – в рамках XX Международной научно-технической конференции «Информационная среда вуза» под эгидой РААСН в конце 2013 г. прошло первое заседание **постоянно действующего семинара «Физико-химические и математические аспекты строительного материаловедения и технологий»** д-ра техн. наук, профессора, академика РААСН, заслуженного деятеля науки РФ, лауреата премии Правительства РФ в области науки и техники, почетного строителя России Сергея Викторовича Федосова.

На семинаре предполагается обсуждать следующие основные направления и вопросы.

1. Математические методы описания, моделирования и расчета механизмов создания и эксплуатации строительных материалов на протяжении всего их жизненного цикла.
2. Информационные технологии и компьютерное моделирование в строительной науке.
3. Разработка эффективных строительных материалов, конструкций, технологий и оборудования для их производства.
4. Ресурс- и энергомимимизация в производстве строительных материалов. Обеспечение эксплуатационной безопасности материалов и конструкция при экстремальных природных и техногенных воздействиях.
5. Получение новых строительных материалов с использованием нанотехнологий. Новые высокопрочные, сверхвысокопрочные, легкие, сверхлегкие и долговечные бетоны и другие строительные композиционные и некомпозиционные материалы.
6. Полимеры и композиты в строительстве.
7. Экологические технологии в производстве строительных материалов. Переработка, рециклинг и утилизация техногенных образований и отходов.

8. Создание автоматизированной системы неразрушающего контроля строительных материалов на стадиях их изготовления и при эксплуатации строительных объектов.

9. Обеспечение эксплуатационной надежности строительных материалов и конструкций при максимальном снижении материалоемкости и совершенствовании технологии изготовления, монтажа и эксплуатации.

10. Исследования по проблеме переработки и вторичного использования строительных конструкций, изделий и материалов, получаемых в результате разборки и реконструкции зданий, а также техногенных минеральных отходов промышленных производств.

11. Развитие экспериментальных методов и современной экспериментальной базы по обеспечению заданного качества строительных материалов и конструкций, по определению физико-механических и эксплуатационно-технических показателей строительных материалов, изделий, конструкций, помещений и зданий.

12. Исследования и разработка новых строительных материалов для новых типов пространственных конструкций для покрытий большепролетных и высотных зданий и сооружений.

В работе первого заседания семинара приняли участие 6 докторов и 8 кандидатов наук, среди которых трое докторантов, а также четверо аспирантов. По личному приглашению академика РААСН С.В. Федосова на первом семинаре присутствовала главный редактор научно-технических и производственных журналов «Строительные материалы»® и «Жилищное строительство» Е.И. Юмашева. Она выступила с сообщением «Повышение роли научных и научно-технических журналов в продвижении достижений российских ученых на национальном и международном информационном пространстве».

На первый семинар был вынесен доклад «**Принципы создания композиционных строительных материалов. Специализация или универсализация?**» канд. техн. наук А.А. Овчинникова (Ивановский государственный политехнический университет). Он был посвящен общим и специальным принципам создания композиционных строительных материалов. Докладчик провел анализ и дал оценку современным направлениям развития материаловедения, предложил к использованию метод кластерного анализа, показав его эффективность на примере проявления структуры композитов и подтверждения полиструктурной теории бетона.

В докладе утверждалось, что из всего спектра стройматериалов – отделочных, изоляционных, монтажных и др. наибольшее значение имеют конструкционные материалы, ибо именно они формируют сам строительный объект и основные параметры его работы. Соответственно кроме экономичности, экологичности, эстетичности к конструкционным строительным материалам





предъявляют общее требование по прочности, от которой во многом будет зависеть долговечность и безопасность строительного объекта.

Сам композиционный строительный материал не является неким объектом с законченным комплексом свойств. В процессе эксплуатации он подвергается различного рода воздействиям как внутреннего, так и внешнего характера, которые по своей природе можно разделить на физические и химические. Различного рода сочетания таких воздействий в условиях эксплуатации строительного объекта обуславливают необходимость специализации композиционных строительных материалов. Так, традиционно для изготовления несущих и ограждающих конструкций сооружений различного рода, подвергающихся специфическим воздействиям агрессивных факторов, таких как высокая температура, агрессивная среда, частая смена условий эксплуатации, интенсивные механические нагрузки и т. п., используются специальные виды бетонов – жаростойкие, кислотоупорные, особовысокопрочные. Для таких бетонов применяют специальные виды вяжущих веществ, специфические добавки, наполнители и заполнители, что приводит к усложнению технологии и удорожанию конечного продукта. При этом часто специализированность композита обеспечивается за счет ухудшения иных технических характеристик.

Тем не менее общим для всех композиционных строительных материалов является то, что их прочностные свойства определяются энергией химических связей между элементарными частицами. Вопросами теории молекулярных сил притяжения и прочности твердых тел посвящены работы Е.М. Лифшица, П.А. Ребиндера, Е.Д. Шукина и других ученых.

Теоретическая прочность бетонов намного выше технической (реальной) – до двух порядков, что свидетельствует об огромных неиспользованных возможностях бетонов. Изучением сущности прочности бетона и других материалов занимались Я.И. Френкель, А.А. Гвоздев, Б.Г. Скрамтаев, Ю.М. Баженов, И.Н. Ахвердов, О.Я. Берг, П.А. Ребиндер, И.А. Рыбьев, П.Г. Комохов и многие другие.

Для объяснения процесса разрушения композиционных материалов учеными были предложены различные теории прочности, среди них основные: феноменологическая (А.А. Гвоздев и др.), статистическая (Т.А. Конторова, О.И. Френкель и др.) и физическая (А.А. Гриффитс, Б.Г. Скрамтаев, О.Я. Берг, Ю.В. Зайцев и др.). Все теории предполагают причиной разрыва между теоретической и фактической прочностями несовершенство структуры материала. И по отношению теоретической прочности к фактической судят о дефектности структуры материала. Таким образом, еще одним обобщающим принципом всех строительных композиционных материалов является их структура.

Единый подход к формированию структуры и свойств композиционных строительных материалов, изготовленных на различных вяжущих веществах, достаточно полно сформулирован в полиструктурной теории бетона. В соответствии с этой теорией композиционные строительные материалы представляются полиструктурными, то есть составленными из нескольких структур, переходящих одна в другую по принципу «структура в структуре».

Масштабная классификация, несмотря на ее привлекательность и практическое удобство, носит скорее эмпирико-интуитивный характер и более соответствует представлениям человека о масштабе структур и видов взаимодействия в них. Чтобы отделить субъективизм и расширить размерность факторного пространства, в докладе было предложено использовать для анализа структуры математический аппарат кластерного анализа.

Кластерный анализ (англ. cluster analysis) — многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы.

Большое достоинство кластерного анализа в том, что он позволяет производить разбиение объектов не по одному параметру, а по набору признаков. Кроме того, кластерный анализ в отличие от большинства математико-статистических методов не накладывает никаких ограничений на вид рассматриваемых объектов и позволяет рассматривать множество исходных данных практически произвольной природы.

Не вдаваясь в подробности математических процедур, докладчик продемонстрировал эффективность метода.

Например, для установления структурных элементов – кластеров по критерию прочности в зависимости от удельной поверхности и расхода компонентов в первом приближении анализ выделил два кластера, соответствующих макро- и микроструктуре полиструктурной теории, – с удельной поверхностью заполнителя в промежутке 0–5 см<sup>2</sup>/г и с удельной поверхностью 2500–3000 см<sup>2</sup>/г и с оптимальным содержанием этих фракций по результатам исследованной выборки.

В ходе обсуждения доклада были сделаны следующие выводы.

1. Общее требование ко всем видам конструкционных материалов – это наличие прочности, которая зависит от структуры. Структура материала и закономерности ее формирования являются универсальным признаком строительного композита.

2. Современная полиструктурная теория, решая критический ряд задач современного материаловедения, все же носит эмпирико-интуитивный характер и в значительной степени зависит от субъективизма исследователя.

3. Математический аппарат кластерного анализа позволяет перевести на новый уровень представления о структуре композитов, расширить их размерность как в количественном, так и в качественном направлениях, сделать независимым от исследователя и включить в анализ неопределенности (нечеткие множества).

Следует отметить, что обсуждение основного доклада на первом семинаре академика РААСН С.В. Федосова прошло с некоторой осторожностью. Очевидно, что над участниками семинара довели рамки традиционных формализованных научных мероприятий. Однако доброжелательность руководителя семинара и готовность докладчика к диалогу постепенно сгенерировали если не дискуссию, то вполне полноценное обсуждение доклада.

*Таков открытое неформальное общение без сомнения полезно как молодым ученым, так и их старшим коллегам. Поэтому есть уверенность в развитии перспективного начинания – постоянно действующего семинара «Физико-химические и математические аспекты строительного материаловедения и технологий».*



## Владимиру Трофимовичу ЕРОФЕЕВУ

# 60 лет

10 марта исполнилось 60 лет со дня рождения Владимира Трофимовича Ерофеева, д-ра техн. наук, профессора, члена-корр. РААСН, заведующего кафедрой строительных материалов и технологий, декана архитектурно-строительного факультета Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева.

По окончании строительного факультета Мордовского государственного университета В.Т. Ерофеев работал строительным мастером в объединении Мордовколхозстрой. С 1976 г. его трудовая деятельность неразрывно связана с Мордовским государственным университетом.

В 1986–1987 гг. В.Т. Ерофеев стажировался на кафедре «Строительные материалы и технологии» в Лейпцигской высшей технической школе (Германия).

По окончании очной докторантуры в 1993 г. В.Т. Ерофеев защитил докторскую диссертацию. В мае 1996 г. Владимира Трофимовича избрали заведующим кафедрой строительного производства (переименованной в 2004 г. в кафедру строительных материалов и технологий), которой он успешно руководит до настоящего времени.

В 2002 г. к научно-педагогической деятельности В.Т. Ерофеева добавилась административная — он принял должность декана строительного факультета (с 2006 г. — архитектурно-строительный факультет) Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева.

Являясь руководителем кафедры и факультета, В.Т. Ерофеев вносит большой вклад в развитие системы подготовки специалистов для строительного комплекса. Все виды учебных занятий максимально приближены к потребностям строительных организаций. Под его руководством подготовлены один доктор и 32 кандидата технических наук.

Научные интересы В.Т. Ерофеева связаны с исследованиями в области композиционных строительных материалов и ресурсосберегающих технологий, биологического сопротивления и долговечности материалов и изделий, безопасности зданий и сооружений. По этим научным направлениям В.Т. Ерофеевым неоднократно были выиграны гранты Российского фонда фундаментальных исследований, Министерства образования РФ, РААСН, главы Республики Мордовия, Правительства Республики Мордовия.

В.Т. Ерофеевым опубликовано более 1000 работ в периодических журналах и материалах конференций, в том числе 20 монографий, 55 учебно-методических работ, получено 115 авторских свидетельств и патентов на изобретения, 5 свидетельств на программы ЭВМ; 45 статей опубликовано за рубежом.

Результаты научных исследований В.Т. Ерофеева прошли производственную проверку при устройстве покрытий и полов стойких в условиях воздействия химически и биологически агрессивных сред в Мордовии, Латвии, Москве; разработки в области создания трехслойных ограждающих конструкций и модифицированных асфальтобетонов приняты для внедрения ОАО «ЖБК-1», ГОСУКС и дорожного хозяйства Республики Мордовия.

В.Т. Ерофеев — иностранный член Академии строительства Украины, действительный член Российской инженерной академии.

Заслуги в научно-педагогической деятельности Владимира Трофимовича Ерофеева отмечены многими наградами и почетными званиями. Он заслуженный деятель науки Республики Мордовия, почетный работник высшего профессионального образования РФ, почетный строитель России, награжден Малой медалью Российской академии архитектуры и строительных наук.

Редакция и редакционный совет, коллеги сердечно поздравляют Владимира Трофимовича Ерофеева с 60-летием и желают крепкого здоровья и долгих лет плодотворной научной деятельности.

УДК 666.64-413

В.Т. ЕРОФЕЕВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН,

С.А. КОРОТАЕВ, канд. техн. наук

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68)

## Каркасная технология обжигового материала с заполнителем на стеклообразном связующем\*

Крупные заполнители нашли широкое применение в строительных материалах на безобжиговых вяжущих. Возможность использования крупных заполнителей в обжиговых строительных материалах связана с решением задачи получения безусадочного обжигового связующего, имеющего прочную адгезию к поверхности зерен заполнителя. В работе предложен способ синтеза такого связующего из жидкого стекла и порошка натрово-известково-силикатного стекла в процессе термообработки материала. Для формования изделия с крупным заполнителем предложено использовать каркасную технологию, при которой компоненты связующего используются последовательно во времени в процессе склеивания каркаса из зерен заполнителя жидким стеклом и пропитки отвержденного каркаса водной суспензией порошка стекла. Каркасная технология позволяет получить крупнопористую структуру материала и уменьшить расход компонентов связующего. Пропитка отвержденного каркаса и обжиг изделия при температуре 740–780°C проводятся без формовой оснастки. С использованием предлагаемой технологии получен материал с заполнителем из керамзитового гравия на безусадочном поризованном стеклообразном связующем, имеющем прочные адгезионные контакты с поверхностью зерен заполнителя. Физико-механические характеристики материала позволяют использовать его для изготовления теплоизоляционных или конструктивно-теплоизоляционных изделий строительного назначения в виде блоков или плит.

**Ключевые слова:** крупный заполнитель, жидкое стекло, натрово-известково-силикатное стекло, обжиг.

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-08-97171 «Исследования в области создания новых полимер-бетонов, каркасных фибробетонов, бетонов различного фракционного состава с биоцидными добавками для организации промышленного производства строительных изделий с повышенной долговечностью, биологической и климатической стойкостью на предприятиях Республики Мордовия».



V.T. EROFEEV, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAABS, S.A. KOROTAEV, Candidate of Sciences (Engineering) Mordovia State University named after N.P. Ogarev (68 Bolshevistskaya str., 430005 Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation)

**Framework technology of fired material with filler on a vitreous binder**

Large fillers are widely used in building materials on non-fired binders. A possibility to use large fillers in fired building materials is connected with the solution of the problem of producing the non-shrink fired binder which possesses strong adhesion to the surface of filler grains. The article offers a method for the synthesis of such binder from liquid glass and sodium-lime-silicate glass powder in the process of material heat treatment. For molding the product with large filler it is proposed to use the framework technology, when binder components are used consistently over time in the process of gluing the framework of filler grains with liquid glass and impregnation of the hardened framework with an aqueous suspension of glass powder. The framework technology makes it possible to obtain the large-porous structure of material and reduce the consumption of binder components. Impregnation of the hardened frame and burning of the product are carried out at temperature of 740–780°C without moulding accessories. Using the proposed technology, the material with a filler of expanded clay gravel on the non-shrink vitreous porous binder with strong adhesive contacts with the surface of filler grains has been obtained. Physical-mechanical characteristics of the material make it possible to use it for manufacturing heat insulating or structural-heat insulating products for building purposes in the form of blocks or slabs.

**Keywords:** large filler, liquid glass, sodium-lime-silicate glass, burning.

Среди теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных строительных материалов широко распространение получили безобжиговые материалы с крупным наполнителем на различных связующих. Расширение свойств и области использования материалов с крупным наполнителем возможно при использовании в качестве связующих матриц низко- и высокотемпературных (обжиговых) связок [1, 2].

При разработке обжиговых материалов с крупным наполнителем в первую очередь необходимо решить две задачи: обеспечить достаточную прочность изделия-сырца, чтобы проводить обжиг без формовой оснастки, и высокую адгезию обжигового связующего к поверхности зерен наполнителя.

Для решения обозначенных задач при получении обжигового материала с крупным пористым наполнителем (керамзитом) предлагается использовать каркасную технологию. Каркасная технология для получения безобжиговых материалов включает предварительное склеивание зерен наполнителей друг с другом с последующим заполнением пустот полученного каркаса матрицей [3]. Сущность каркасной технологии обжигового материала заключается в том, что вначале из зерен крупного наполнителя в форме склеивается каркас, который после отверждения клея (связующего) извлекается из формы и пропитывается связующим, отверждаемым при последующем обжиге. Следует отметить, что каркасные композиты в отличие от композитов, изготавливаемых обычным смешиванием компонентов, можно получать на двух различных связующих (комплексном связующем).

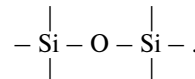
В работе в качестве связующих использовали натриево-жидкое стекло и порошок стекла, получаемый размолотом утилизируемого тарного и листового стеклослоя до остатка на сите с сеткой № 0063 5–6%. Жидкое стекло использовалось для склеивания каркаса из зерен крупного наполнителя. Малая удельная поверхность наполнителя способствовала снижению расхода жидкого стекла. Выбор жидкого стекла был обусловлен его широким использованием при получении строительных материалов [4] и высокой адгезией к подложкам различной природы [5]. Следует отметить, что жидкостекольное связующее без отвердителей приобретает водостойкость при термообработке выше 900°C [6]. Проведенными экспериментами установлено, что нагрев склеенного жидким стеклом каркаса из зерен керамзита выше температуры 800°C приводит к стеканию связующего и впитыванию его поверхностью наполнителя вследствие значительного снижения вязкости, что не позволяет сформировать слой связующего достаточной толщины на поверхности зерен наполнителя. Именно поэтому при изготовлении каркасного обжигового материала нельзя ограничиться использованием одного только жидкостекольного связующего. Выбор порошка стекла в качестве второго связующего обусловлен наличием у дисперсного стекла ионообменных свойств и химической активности, позволяющих использовать его при определенных условиях в качестве вяжущего [7], и тем, что порошок стекла при нагреве способен выполнять роль высоко-

температурного связующего. Таким образом, для получения материала с крупным наполнителем на обжиговой связке по каркасной технологии использовали два связующих, т. е. комплексное связующее. В качестве крупного наполнителя использовали керамзитовый гравий фракций 5–10 мм насыпной плотностью 530 кг/м<sup>3</sup> и фракций 10–20 мм насыпной плотностью 312, 425, 780 кг/м<sup>3</sup>.

Предлагаемая технология получения материала включает следующие операции:

1. Смешивание наполнителя с жидким стеклом и укладка приготовленной смеси в форму.
2. Отверждение жидкостекольного связующего каркаса в форме в процессе сушки при температуре 60–80°C и получение каркаса.
3. Извлечение отвержденного каркаса из формы и пропитка его водной суспензией порошка стекла.
4. Сушка пропитанного каркаса при температуре 60–80°C.
5. Обжиг пропитанного и высушенного каркаса при температуре 740–780°C.
6. Охлаждение обожженного изделия в остывающей печи.

Теоретическое обоснование механизма синтеза поризованного стеклообразного связующего из компонентов предлагаемого комплексного связующего в процессе последовательно проводимой термообработки на этапах сушки и обжига проведено на основе анализа современных представлений о строении и свойствах щелочных силикатных растворов, описанных в [5], и физико-химических закономерностей поведения щелочных силикатных стекол при взаимодействии с водой, приведенных в [8]. При сушке натриевого жидкого стекла, которым склеивается каркас, возникают пересыщенные метастабильные растворы с последующим переходом гидратных форм силикатов натрия при испарении влаги в стекловидное состояние. Отверждение сопровождается полимеризацией кремнийсодержащих химических связок при удалении гидроксильно-водородных групп с образованием кремний-полимерного каркаса объемной сетчатой структуры с ячейками типа:



Отвердевшая клеевая связка имеет высокую адгезию к поверхности пористого наполнителя и высокую прочность, но не обладает водостойкостью. При последующей сушке пропитанного водной суспензией порошка стекла каркаса в процессе взаимодействия слоя суспензии стекла со стеклообразной жидкостекольной связкой будет происходить растворение последней. Процесс растворения гидратированного натриевого стекла сопровождается переходом в раствор катионов натрия за счет сольватационного взаимодействия. Кинетика растворения определяется силикатным модулем стекла и температурой. Навстречу катионам натрия в фазу стекла диффундируют молекулы воды, часть которых вступает в реакцию гидролиза с анионным каркасом стекла по реакции:

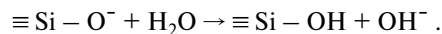




Рис. 1. Фрагменты материала после обжига без вспучивания (а) и со вспучиванием (б) стеклообразного связующего

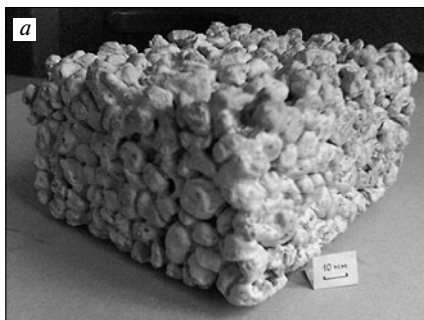


Рис. 2. Материал крупнопористой структуры с керамзитом фракции 10–20 мм (а) и двухслойного поперечного сечения с керамзитом фракции 5–10 мм (б)

Образующиеся гидроксильные ионы, обладающие высокой подвижностью, будут покидать реакционную зону на границе раздела фаз и переходить в раствор. Также способны переходить в раствор высвобождающиеся мономерные и полимерные анионы, существующие в стекле. Для катионов скорость перехода в раствор выше, чем для анионов. Следствием этого является создание условий для увеличения концентрации гидратированного кремнезема на границе раздела фаз. При повышении температуры в процессе высушивания материала и понижении рН происходит полимеризация гидратированного кремнезема и образование пленки геля кремниевой кислоты. На определенном этапе сушки образующиеся вязкие гелевые слои замедляют процесс растворения стеклообразной жидкостекольной связки каркаса, что способствует сохранению связкой определенной прочности и позволяет проводить сушку пропитанного каркаса без формы. Одновременно с процессом взаимодействия растворной части суспензии стекла с жидкостекольным клеем каркаса происходит выщелачивание и обводнение исходной структуры стекла частиц суспензии, механизм которых основан на взаимодействии водных растворов щелочей с кремнеземом. Обводнение стекла происходит при его гидратации и гидролизе и сопровождается адсорбцией гидратированных катионов щелочных металлов на активных участках поверхности кремнезема, возникающих при помолу стекла, с последующей деполимеризацией кремнезема вследствие гидролиза связей  $\equiv \text{Si} - \text{O} - \text{Si} \equiv$  с образованием силаноловых групп  $\equiv \text{Si} - \text{OH}$ . Гидратированный кремнезем переносится при сушке к поверхности частиц стекла и при увеличении его концентрации в процессе сушки происходит полимеризация кремнекислоты с образованием плотной эластичной пленки геля, обладающей вяжущими свойствами. По мере удаления свободной воды из высушиваемого материала в объеме связки образуются гидросиликаты натрия из продуктов деструкции клеевой связки каркаса и частиц стекла суспензии. Оставшаяся после сушки свободная вода образует водородные связи с силанольной водой. Последующий нагрев изделия-сырца в обжиговой печи до 400°C сопровождается удалением воды из гидросиликатов натрия. При дальнейшем повышении температуры

до температуры обжига 740–780°C разрушаются связи кремнекислоты, полимеризуются кремнекислородные тетраэдры и происходит выделение воды при дегидратации гидроксильного покрова стекла. В этом же температурном интервале образующаяся из компонентов комплексного связующего эвтектическая смесь системы  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$  при плавлении обеспечивает накопление значительного количества расплава, обладающего необходимой пиропластической подвижностью, и образование в объеме обжигаемой связки замкнутых пор. При совпадении процессов газовой выделения и образования в расплаве замкнутых пор создаются условия для вспучивания связующего при резком повышении давления пара в порах.

Результаты проведенных экспериментов показали, что в процессе последовательно проводимых этапов термообработки из компонентов комплексного связующего формируется безусадочная поризованная стеклообразная матрица, связывающая зерна крупного заполнителя. Диаметр пор стеклообразного связующего, определенных микроскопическим исследованием, составляет 0,02–0,5 мм. Поризация происходит в результате вспучивания матричного связующего. Результаты ИК-спектроскопических исследований подтверждают, что вспучивающим агентом являются пары воды. На ИК-спектре поглощения комплексного связующего после сушки пропитанного каркаса фиксируются широкая полоса поглощения в интервале 3300–3600  $\text{см}^{-1}$ , связанная с валентными колебаниями O–H связи в оксигидрильных группах  $\text{O}_m\text{H}_n$  [9], и полоса поглощения при 1446  $\text{см}^{-1}$ , связанная с присутствием карбонат-ионов. После обжига комплексного связующего интенсивность полосы поглощения, связанной с валентными колебаниями связи O–H, уменьшается, а полосы поглощения карбонат-ионов полностью исчезают. Таким образом, наличие поглощения в области 3300–3600  $\text{см}^{-1}$  в связующем после обжига свидетельствует, что вспучивающим агентом являются пары воды. Вспучивание связующего компенсирует его усадку при обжиге, что предотвращает образование усадочных трещин при взаимодействии связующего с жестким каркасом из зерен крупного заполнителя. Эффект устранения усадочных трещин показан на рис. 1. Получаемый материал имеет крупнопористую структуру. Крупнопористая структура повышает адгезию материала к соединительным и фактурным растворным слоям. Предлагаемая технология позволяет также получать комбинированную макроструктуру материала, состоящую из монолитного и крупнопористого слоев (материал двухслойного поперечного сечения). При изготовлении образца двухслойного поперечного сечения верхний монолитный (лицевой) слой формируется путем заполнения пор каркаса с лицевой поверхности на небольшую глубину концентрированной суспензией стекла. Вид материала каркасной структуры двухслойного поперечного сечения показан на рис. 2.

Проведенные обжиги образцов показали, что реологические характеристики предлагаемого комплексного связующего при рабочих температурах обжига обеспечивают устойчивость изделий к деформациям и сохранение ими правильной геометрической формы при некотором увеличении объема, что позволяет проводить обжиг изделий без формовой оснастки, используя лишь жаростойкие поддоны с ровной поверхностью.

Физико-механические характеристики полученных образцов крупнопористой структуры изменяются в зависимости от крупности и плотности используемого заполнителя, степени заполнения связующей матрицей объема пор между зернами заполнителя и характеризуются следующими показателями: плотность 600–846 кг/м<sup>3</sup>; водопоглощение, определенное после кипячения образцов в воде в течение 30 мин, 10,6–24,2%; теплопроводность образца плотностью 730 кг/м<sup>3</sup> – 0,17 Вт/(м·°С); прочность при сжатии 1,5–2,5 МПа, имеет тенденцию к увеличению с уменьшением крупности заполнителя.

Полученный материал обладает водостойкостью, пожаробезопасностью, экологической чистотой как на стадии изготовления, так и при эксплуатации и может быть использован в строительстве в качестве теплоизоляционного или конструкционно-теплоизоляционного материала в виде блоков или плит.

Таким образом, результаты проведенных исследований, носящих в большой степени поисковый характер, доказывают возможность получения крупнопористого материала с крупным заполнителем на обжиговом поризованном стеклообразном связующем по каркасной технологии.

Развитие описанного в статье направления исследований предполагает замену утилизируемого бытового и строительного стеклобоя местными кремнистыми породами дисперсного строения, в значительной мере сложные опалом, в композиции с добавками активаторов плавления.

Преимуществами разработанной каркасной технологии крупнопористого обжигового материала являются: возможность использования в обжиговом материале крупных заполнителей, в том числе получаемых из отходов промышленности; возможность комбинирования различных сырьевых материалов, использование которых при получении материала разделено во времени и из которых в процессе термообработки синтезируется связующее; сокращение расхода связующего обусловленного крупнопористой структурой материала; отсутствие формовой оснастки при сушке и обжиге пропитанного каркаса, относительно низкая (по сравнению с обжиговыми материалами) температура обжига.

Промышленный выпуск изделий из разработанного материала может быть осуществлен на производственной базе кирпичных заводов с добавлением в перечень технологического оборудования смесителя для обработки заполнителя жидким стеклом, дробилки и мельницы (при использовании стеклобоя), мешалки для приготовления пропитывающей матричной суспензии, участков для склеивания каркасов из зерен крупного заполнителя в формах, распалубливания отвержденных каркасов и их пропитки матричной суспензией. Термообработку отформованных изделий целесообразно проводить в конвейерных противоточных или радиационных сушильках и шелевых печах для однорядного обжига изделий.

#### Список литературы

1. Мизюряев С.А., Мамонов А.Н., Горин В.М. и др. Структурированный высокопористый силикатнатриевый материал повышенной тепло- и термостойкости // *Строительные материалы*. 2011. № 7. С. 7–9.
2. Пичутин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф. и др. Прогрессивная концепция формирования стеновых блоков из легкого бетона на обжиговой связке // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 22–24.
3. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козомазов В.Н. *Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем*. СПб.: Наука, 2012. 476 с.
4. Михайленко Н.Ю., Клименко Н.Н., Саркисов П.Д. *Строительные материалы на жидкостекольном свя-*

зующем. Ч. 1. Жидкое стекло как связующее в производстве строительных материалов // *Техника и технология силикатов*. 2012. Т. 19. № 2. С. 25–28.

5. Корнеев В.И., Данилов В.В. *Производство и применение растворимого стекла: Жидкое стекло*. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд., 1991. 176 с.
6. *Каркасные строительные композиты: В 2 ч. Ч. 1. Структурообразование. Свойства. Технология* / В.Т. Ерофеев, Н.И. Мищенко, В.П. Селяев, В.И. Соломатов. Саранск: Изд. Мордов.ун-та, 1995. 200 с.
7. Кетов А.А., Пузанов С. Нанотехнологии при производстве пеностеклянных материалов нового поколения // *Строительство: новые технологии – новое оборудование*. 2010. № 1. С. 15–19.
8. Шелковникова Т.И., Баранов Е.В., Петухова Н.С., Тищенко И.В. Основные физико-химические закономерности получения пористых материалов из техногенных стекол, обводненных в различных условиях // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения*. 2012. № 5. С. 50–56.
9. Юхневич Г.В. *Инфракрасная спектроскопия воды*. М.: Наука, 1973. 208 с.

#### References

1. Mizyuryaev S.A., Mamonov A.N., Gorin V.M. i dr. The structured high-porous silikatnatrievy material raised warm and thermal stability. *Stroitel'nye materialy [Construction materials]*. 2011. No. 7, pp. 7–9 (In Russian).
2. Pichugin A.P., Denisov A.S., Khritankov V.F. i dr. The progressive concept of formation of wall blocks from light concrete on an obzhigovy sheaf. *Stroitel'nye materialy [Construction materials]*. 2011. No. 12, pp. 22–24 (In Russian).
3. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.N. *Fizika i sinergetika dis-persno-neuporyadochennykh kondensirovannykh kompozitnykh sistem* [Physics and synergetics of the disperse and disorder condensed composite systems]. SPb.: Nauka, 2012. 476 p. (In Russian).
4. Mikhailenko N.Yu., Klimenko N.N., Sarkisov P.D. Construction materials on zhidkostekolny binding. P.1. Liquid glass as binding in production of construction materials. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2012. T. 19. No. 2, pp. 25–28 (In Russian).
5. Korneev V.I., Danilov V.V. *Proizvodstvo i primeneniye rastvorimogo stekla: Zhidkoe steklo* [Production and use of soluble glass: Liquid glass]. L.: Stroizdat. Leningradskoe otdelenie, 1991. 176 p. (In Russian).
6. *Karkasnye stroitel'nye kompozity: V 2 ch. Ch. 1. Strukturoobrazovanie. Svoistva. Tekhnologiya* [Frame construction composites: In 2 h. P.1. Structurization. Properties. Technology] / V.T. Erofeev, N.I. Mishchenko, V.P. Selyaev, V.I. Solomatov. Saransk: Izd. Mordov. unta, 1995. 200 p. (In Russian).
7. Ketov A.A., Puzanov S. Nanotechnologies by production the penosteklyannykh of materials of new generation. *Stroitel'stvo: novye tekhnologii – novoe oborudovanie*. 2010. No. 1, pp. 15–19 (In Russian).
8. Shelkovnikova T.I., Baranov E.V., Petukhova N.S., Tishchenko I.V. The main physical and chemical regularities of receiving porous materials from the technogenic glasses flooded in various conditions. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-khimicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya*. 2012. No 5, pp. 50–56 (In Russian).
9. Yuhnevich G.V. *Infrakrasnaya spektroskopiya vody* [Infrared spectroscopy of water]. M.: Nauka, 1973. 208 p. (In Russian).

УДК 691.175.2

А.Д. КОРНЕЕВ, д-р техн. наук; М.А. ГОНЧАРОВА, д-р техн. наук; Г.А. ШАТАЛОВ, инженер  
Липецкий государственный технический университет (398600, Липецк, ул. Московская, 30)

## Технология композитной черепицы с теплоизоляцией из наполненного пенополиуретана\*

Представлены результаты улучшения строительно-технических свойств наполненных пенополиуретанов с целью применения их в качестве теплоизоляционного слоя в композитной металлочерепице. Показано, что тонкодисперсные конвертерные шлаки могут рассматриваться как эффективные наполнители в жестких пенополимерных композициях. Производство кровельных элементов осуществлено в Липецкой области и характеризуется значительным экономическим эффектом.

**Ключевые слова:** пенополиуретаны, наполнители, композитные кровельные конструкции, металлическая черепица, структура, конвертерные шлаки.

A.D. KORNEEV, Doctor of Technical Sciences, M.A. GONCHAROVA, Doctor of Technical Sciences, G.A. SHATALOV, engineer  
Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya Street, Lipetsk, 398600, Russian Federation)

### Technology of composite tiles with heat insulation made of filled polyurethane foam

Results of the improvement of building and technical properties of filled polyurethane foams with the purpose to use them as a heat-insulating layer of composite metal tiles are presented. It is shown that fine-dispersed converter slags can be considered as effective fillers in hard foam polymer compositions. Production of roofing elements was carried out in the Lipetsk region and is characterized by significant economic effect.

**Keywords:** polyurethane foams, fillers, composite roofing constructions, metal tile, structure, converter slags.

В последние годы многослойные конструкции и элементы находят все большее применение в строительстве. Их функциональная и экономическая эффективность обусловлена синергетическим сочетанием структур, а также конструкционных и теплоизоляционных свойств используемых материалов, работающих как единое целое.

Кровельные многослойные конструкции используются для зданий и сооружений различного назначения. Их применение решает сразу несколько задач – создание законченного архитектурного образа, обеспечение высоких прочностных и деформационных характеристик при хорошей шумо- и теплоизоляции, позволяет добиться минимизации затрат при монтаже.

Получение многослойной кровельной конструкции, представляющей собой металлическую черепицу и на-

несенный на нее модифицированный жесткий пенополиуретан (ППУ), за единый технологический цикл воспроизводит сложный и трудоемкий комплекс работ и мероприятий по изготовлению качественного кровельного пирога, включая гидро-, паро- и теплоизоляцию. Использование легких, транспортабельных и технологичных кровельных элементов в условиях массового производства создает широкие возможности для индустриального строительства [1].

Пенополиуретаны применяются во всем мире уже на протяжении более чем 80 лет и в настоящее время сохраняют одно из ведущих мест среди теплоизоляционных полимерных материалов. Жесткие пенополиуретаны получили широкое распространение в различных областях строительства за счет низкой теплопроводности, легкости, технологичности. Тем не менее ППУ об-

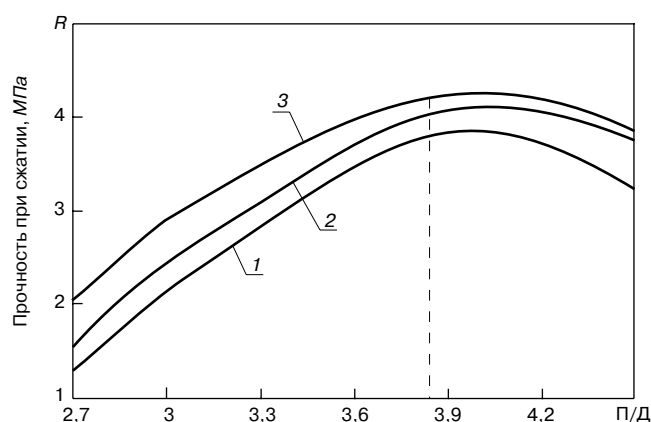


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии от соотношения основных сырьевых компонентов: 1 – андезитовая мука; 2 – известняк; 3 – конвертерный шлак

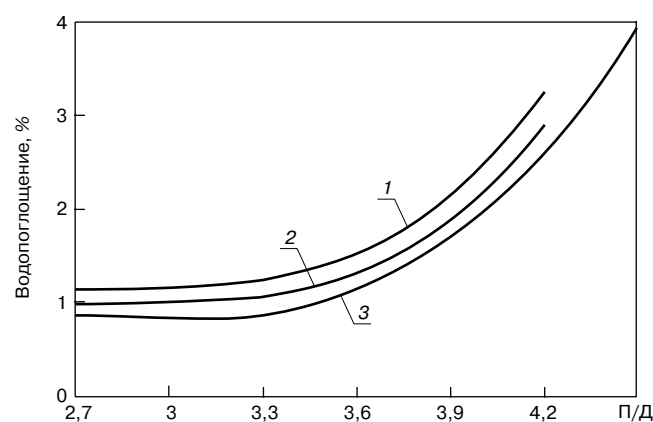


Рис. 2. Зависимость водопоглощения от соотношения компонентов и вида наполнителя: 1 – известняк; 2 – конвертерный шлак; 3 – андезитовая мука

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части (НИР 496).

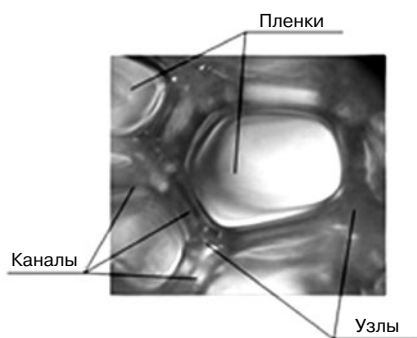


Рис. 3. Микрофотография (увеличение  $\times 200$ ) структуры пенополиуретана

Сырьевой компонент	Полиизоцианат/Диэтиленгликоль		
	2,7	3,6	4,5
Полиизоцианат ТДИ-50	33,24	35,64	37,26
Диэтиленгликоль	12,31	9,9	8,28
Триэтанолламин	0,95	0,96	0,96
Диметилкетон	6	6	6
Гидрофобизирующая жидкость	0,5	0,5	0,5
Наполнитель	47	47	47

ладают и недостатками, в том числе высокой стоимостью, горючестью и невысокой прочностью и водостойкостью. Эти проблемы могут быть решены как на стадии подбора сырьевых компонентов, так и в результате наполнения полимерной матрицы минеральными ультрадисперсными наполнителями.

Как известно, структурообразование пенополимеров происходит в несколько стадий. Одной из основных стадий является образование форполимера, основанное на реакции между изоцианатами и полиэфирами. Предполагается, что полиизоцианат и полиэферы вступают в реакцию и реакция протекает наиболее полно лишь при определенном соотношении этих компонентов. Отклонение в ту или иную сторону от оптимального соотношения приводит к увеличению непрореагировавших веществ и соответственно к изменению качественных характеристик материала.

Поэтому практический интерес представляет нахождение оптимального соотношения компонентов в пенополимерной смеси. За критерий оптимальности принимались прочность при сжатии и водопоглощение. Определение этих свойств производилось по стандартным методикам. Составы пенополимербетонных смесей приведены в таблице. Зависимости, установленные в результате эксперимента, приведены на рис. 1 и 2. При этом в качестве наполнителей использовались тонкодисперсные известняки, конвертерные шлаки и андезитовая мука [2].

Вспенивание композиции осуществлялось в закрытой форме, обеспечивающей одинаковые геометрические размеры образцов. Расход общей навески материала определялся из расчета получения материала со средней плотностью  $450 \text{ кг/м}^3$ .

Как показывают результаты эксперимента, прочность ППУ в значительной степени определяется соотношением

полиизоцианата (П) и диэтиленгликоля (Д). При этом зависимость прочности от П/Д (см. таблицу) носит экстремальный характер и имеет ярко выраженный оптимум. При увеличении соотношения от 2,7 до 4,1 прочность всех составов возрастает в среднем в два раза. При увеличении расхода полиизоцианата происходит снижение прочности материала, что связано с остатком в составе смеси непрореагировавшего полиизоцианата.

Максимальное значение прочности при оптимальном соотношении основных компонентов составило для андезитовой муки 3,8 МПа, для молотого известняка 4,2 МПа, для конвертерных шлаков 4,4 МПа.

Зависимость водопоглощения материала по объему от соотношения основных компонентов пенополимербетонной смеси полиизоцианата и диэтиленгликоля носит криволинейный характер (рис. 2). При изменении соотношения от 2,7 до 3,3 водопоглощение материала при использовании разных видов наполнителя изменяется мало. При увеличении расхода полиизоцианата водопоглощение материала начинает возрастать. Это связано с увеличением доли открытой пористости в материале, что может быть обусловлено несогласованностью процессов вспенивания и отверждения системы.

Таким образом, оптимальным с точки зрения прочности для составов на основе исследуемого полиизоцианата соотношением основных компонентов является П/Д=3,9–4,1. Оптимальным с точки зрения водопоглощения соотношением П/Д является 2,7–3,3. Принимаем состав пенополимера, предназначенного для многослойной кровельной конструкции, с соотношением между полиизоцианатом и диэтиленгликолем, равное 3,3.

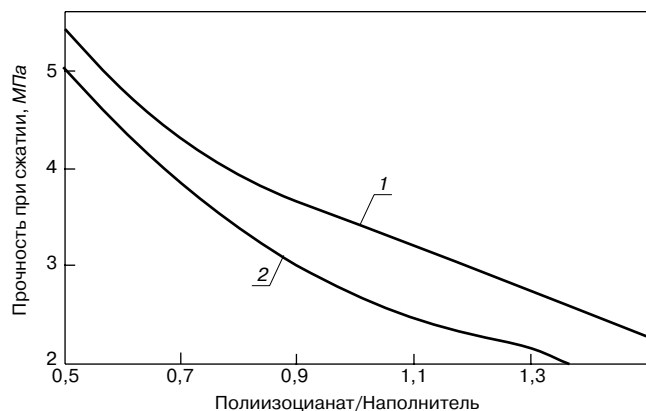


Рис. 4. Исследование прочностных свойств наполненных ППУ: 1 – конвертерный шлак; 2 – микрокремнезем



Рис. 5. Оборудование для производства наполненного пенополиуретана

Одним из эффективных способов модификации свойств полимерных материалов является их наполнение [3]. Наполнители, равномерно распределяясь в объеме получающейся композиции, образуют четко выраженную границу раздела с полимерной средой. Введение наполнителей способствует улучшению физико-механических и технологических свойств полимеров, а также увеличению объема материала, т. е. снижению его стоимости [4].

Поэтому в качестве эффективных наполнителей, позволяющих минимизировать недостатки, присущие ППУ, были выбраны отходы металлургической промышленности — микрокремнезем и конвертерные шлаки [5, 6]. Введение гетерогенного наполнителя позволяет компенсировать недостатки полимерной дисперсионной среды. Увеличение прочности наполненного полимера происходит в том случае, если наполнитель прочнее полимера и обеспечивается совместная работа этих компонентов. При этом частицы наполнителя должны находиться в прочном контакте с полимерной матрицей. Обычно минеральный наполнитель является внутрискруктурным, он встраивается в элементы ячеистой структуры. Элементарная ячейка пенополиуретана представлена на рис. 3. По правилам Плато наиболее вероятной формой газоструктурных элементов являются двенадцатигранные многогранники пентагональные додекаэдры. В каждом ребре такого многогранника сходятся три пленки, углы между которыми равны  $120^\circ$ . Ребра многогранника характеризуются утолщениями, которые в поперечном сечении имеют форму сферического треугольника (каналы Плато—Гиббса).

Для получения наполненной пенополимерной смеси было решено использовать последовательный способ приготовления, по которому производится первоочередное перемешивание основных компонентов с последующим введением остальных компонентов и наполнителей. Важно, чтобы суммарное время перемешивания первых двух компонентов было достаточным для получения качественной изоляции и не привело к недостаточной продолжительности инкубационного периода.

Проведенные исследования зависимости функциональных свойств ППУ от влажности наполнителей показали, что с увеличением влажности происходит повышение доли открытых пор, укрупнение размеров ячеек, что приводит к ухудшению теплоизоляционных свойств. Поэтому в составы вводили только сухой наполнитель, удельная поверхность которого составляла от 300 до  $350 \text{ м}^2/\text{кг}$  (рис. 4).

Таким образом, пенополиуретаны, имеющие в своем составе более 40% тонкодисперсных наполнителей, характеризуются прочностью более 5 МПа, коэффициентом теплопроводности  $0,06\text{--}0,08 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ .

При напылении пенополиуретана в качестве перемешивающего компонента используется сжатый воздух от компрессора. В пистолет-распылитель поступают сырьевые компоненты, а через верхний канал подводится воздух (рис. 5). В смесительной камере происходит перемешивание компонентов и из выходного сопла аэрозольным факелом выдается смесь, которую оператор направляет на металлическую поверхность. Пенополиуретановые компоненты обладают высокой адгезией к самым различным материалам, при этом геометрия поверхности значения не имеет.

Технология многослойной кровельной черепицы внедрена на двух предприятиях Липецкой области с общим экономическим эффектом 1,5 млн р. [7, 8].

## Список литературы

1. Гнип И.Я., Вайткулис С., Веялис С. Прогностическая оценка деформации ползучести полистирольного пенопласта (EPS) при постоянном сжатии // *Строительные материалы*. 2013. № 7. С. 47–54.
2. Корнеев А.Д., Проскурякова А.О. Композиционный материал на основе пенполиуретана с использованием микрокремнезема // *Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура*. 2011. Вып. 24 (43). С. 72–76.
3. Корнеев А.Д., Проскурякова А.О. Наполненный пенополиуретан с улучшенными эксплуатационными свойствами // *Вестник ЦПО РААСН*. Тамбов-Воронеж, 2012. С. 227–231.
4. Гончарова М.А. *Системы отверждения и строительные композиты на основе конвертерных шлаков*. Монография. Воронеж: ВГАСУ, 2012. 136 с.
5. Проскурякова А.О., Корнеев А.Д., Шаталов Г.А. Сэндвич-панели с утеплением из наполненного пенополиуретана для малоэтажного строительства // *Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2013. Вып. 32(51). С. 71–76.
6. Гончарова М.А., Чернышов Е.М. Формирование систем отверждения композитов на основе техногенного сырья // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 60–64.
7. Патент РФ 2452829. *Металлочерепица* / Шаталов Г.А. // Заявл. 13.08.2010 г. Опубл. 10.06.2012 г. Бюл. № 16.
8. Патент РФ 2378071. *Линия и способ изготовления и монтажа металлочерепицы* / Шаталов Г.А. // Заявл. 20.07.2009 г. Опубл. 10.01.2010 г. Бюл. № 1.

## References

1. Gnip I.Ya., Vaytkulis S., Veyalis S. The predictive assessment of deformation of creep of polystyrene polyfoam (EPS) at continuous compression. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2013. No. 7, pp. 47–54 (In Russian).
2. Korneev A.D. Proskuryakova A.O. Composite material on a basis polyurethan foam with microsilicon dioxide use. *Vestnik VolgGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2011. Release 24 (43), pp. 72–76 (In Russian).
3. Korneev A.D. Proskuryakova A.O. The filled polyurethane foam with the improved operational. *Vestnik TsRO RAASN*. Tambov-Voronezh properties, 2012, pp. 227–231 (In Russian).
4. Goncharova M. A. *Sistemy tverdeniya i stroitel'nye kompozity na osnove konverternykh shlakov. [Systems of curing and construction composites on the basis of converter slags]*. Voronezh: VGASU, 2012. 136 p. (In Russian).
5. Proskuryakova A.O. Korneev A.D. Shatalov G.A. Sendvich-paneli with warming from the filled polyurethane foam for low construction. *Vestnik VolgGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. No. 32 (51), pp. 71–76 (In Russian).
6. Goncharova M. A. Chernyshov E.M. Formation of systems of curing of composites on the basis of technogenic raw materials. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2013. No. 5, pp. 60–64 (In Russian).
7. Patent RF 2452829. *Metallocherepitsa [Metallocherkepitsa]*. Shatalov G.A. Declared 13.08.2010. Published 10.06.2012. Bulletin No. 16 (In Russian).
8. Patent Russian Federation 2378071. *Liniya i sposob izgotovleniya i montazha metallocherepitsy [Line and way izgotovlenkiya and installation Metallochekrepitsa]*. Shatalov G.A. Declared 20.07.2009. Published 10.01.2010. Bulletin No. 1 (In Russian).



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»**

394006 г. Воронеж, ул. 20 лет Октября 84. Тел. (473) 271-52-35

# Центр имени профессора Ю.М. Борисова [www.ckp-vrn.ru](http://www.ckp-vrn.ru) Коллективного Пользования

Включает в состав лаборатории:  
физико-химических исследований;  
строительных материалов и технологий;  
грунтоведения, механики грунтов и инженерной геологии;  
дорожную лабораторию и лабораторию испытания строительных конструкций.

## Осуществляемая деятельность:

- Определение свойств строительных материалов, изделий и вяжущих веществ.
- Проектирование и внедрение технологических линий производства строительных материалов.
- Устранение неполадок технологических линий производства.
- Оптимизация технологических линий производства.
- Экономическая оценка эффективности технологических решений.
- Разработка технологического регламента, технических условий.
- Проведение инженерно-геологических изысканий при проектировании и строительстве зданий и сооружений, автомобильных дорог, аэродромов и других объектов строительства.
- Испытание крупногабаритных железобетонных конструкций.
- Анализ химического состава металлов и сплавов.
- Оказание услуг энергоаудита и проверка помещений на потери теплоты.
- Проведение рентгенофазового и рентгеноструктурного анализов.

Начальник Управления научно-производственной деятельности:  
к.т.н., доц. Усачев Александр Михайлович,  
E-mail: [usachevam@vgasu.vrn.ru](mailto:usachevam@vgasu.vrn.ru) Тел. +7(473) 271-52-35  
Инженер Центра коллективного пользования: Черных Дмитрий Иванович,  
E-mail: [dmitry17s@mail.ru](mailto:dmitry17s@mail.ru), Тел. +7(920) 442-98-89

Руководитель Центра коллективного пользования: Хорохордин Алексей Митрофанович, E-mail: [A\\_Horohordin@mail.ru](mailto:A_Horohordin@mail.ru),  
Тел. +7(473) 292-66-64  
Инженер Центра коллективного пользования: Бедарев Анатолий Андреевич, E-mail: [AnBedarev@mail.ru](mailto:AnBedarev@mail.ru), Тел. +7(951) 878-92-69

УДК 678.06

В.А. УШКОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Д.И. НЕВЗОРОВ<sup>1</sup>, инженер,  
Б.И. БУЛГАКОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук; В.М. ЛАЛАЯН<sup>2</sup>, канд. хим. наук

<sup>1</sup> Московский государственный строительный университет (университет (129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26)

<sup>2</sup> Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН (119991, г. Москва, ул. Косыгина, 4)

## Влияние пластификаторов на пожарную опасность полимерных строительных материалов

Рассмотрено влияние содержания фосфор- и хлорсодержащих пластификаторов на термостойкость, воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных строительных материалов (ПСМ). Определены термохимические характеристики фталатных и фосфатных пластификаторов на пределе свечевого горения. Установлено, что фосфатные пластификаторы практически не снижают пожарную опасность материалов на основе эпоксидных олигомеров и синтетических каучуков, повышают воспламеняемость ПВХ-материалов. Показано, что химическая природа фосфатных пластификаторов существенно влияет на дымообразующую способность ПСМ. Выявлено, что хлорпарафины более эффективно снижают горючесть пластифицированных ПСМ.

**Ключевые слова:** кислородный индекс, коэффициент дымообразования, фталатный и фосфатный пластификатор, температура воспламенения и самовоспламенения, хлорированные парафины.

V.A. USHKOV<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences(pehel@yandex.ru), D.I. NEVZOROV<sup>1</sup>, engineer,  
B.I. BULGAKOV<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences; V.M. LALAYAN<sup>2</sup>, Candidate of Chemical Sciences

<sup>1</sup> Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoye Hwy, Moscow, 129337, Russian Federation)

<sup>2</sup> Institute of Chemical Physics named after Semenov N.N. of RAS (4, Kosygina str., Moscow, 119991, Russian Federation)

### On Influence of Plasticizers on Fire Hazard of Polymeric Construction Materials

The influence of the content of phosphorous and chlorine containing plasticizers on heat resistance and smoke-forming capacity of polymeric construction materials (PCM) is considered. Thermo-chemical characteristics of phthalate and phosphate plasticizers at the limit of candle burning are determined. It is established, that phosphate plasticizers practically don't reduce the fire hazard of materials on the basis of epoxy oligomers and synthetic rubber and increase the flammability of PVC materials. It is shown that the chemical nature of phosphate plasticizers significantly influences on the smoke-generating capacity of PCM. It is revealed, that chlorinated paraffines more efficiently reduce the flammability of plasticized PCM.

**Keywords:** oxygen index, coefficient of smoke-generating, phthalate and phosphate plasticizers, temperature of ignition and auto-ignition, chlorinated paraffin waxes.

Одним из методов снижения горючести полимерных строительных материалов (ПСМ) является применение фосфор- и хлорсодержащих пластификаторов. Пластификаторы снижают вязкость полимеров, что позволяет повысить степень их наполнения и улучшает распределение в полимерной матрице тонкодисперсных порошкообразных компонентов. Пластификаторы придают материалам гибкость, пластичность и морозостойкость, снижают температуру переработки [1]. Среди промышленных марок хлор- и фосфорсодержащих пластификаторов, используемых для производства

ПСМ, широкое распространение получили хлорированные парафины и органические эфиры о-фосфорной кислоты [2, 3]. Поэтому представлялось целесообразным установить влияние химической природы хлорированных парафинов, фосфатных и фталатных пластификаторов, их содержания в массе материала на термостойкость, воспламеняемость и дымообразующую способность ПСМ.

В качестве объектов исследования были использованы полимеррастворы на основе эпоксидного олигомера ЭД-20 (ГОСТ 10587–84), материалы на основе синтети-

Таблица 1

Шифр пластификатора	Показатели					
	Содержание фосфора, %	Молекулярная масса, кг/кмоль	Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	Кислотное число, мг КОН/г	Температура вспышки, °C	КИ, %
ДБФ	–	278,35	1049	0,07	172	16,2
ДОФ	–	390,57	985	0,06	205	16,4
ДАФ-56	–	339	1020	0,07	185	16,9
ДАФФ	7,78	398,52	990	0,17	192	19,6
ОДФФ	8,55	362,4	1091	0,05	206	20
ТФФ	9,5	326,29	1201 при 60°C	0,05	225	23,2
ДФКФ	9,11	340,31	1200	0,06	229	20,7
ТАФ-ЗОП	8,42	368,37	1169	0,036	240	23,1
ДФИБФФ	8,11	382,43	1169	0,3	240	23,1
ТХЭФ	10,86	285,49	1424	0,05	228	29,9
ТХПФ	9,47	327,29	1292	0,26	191	26,4



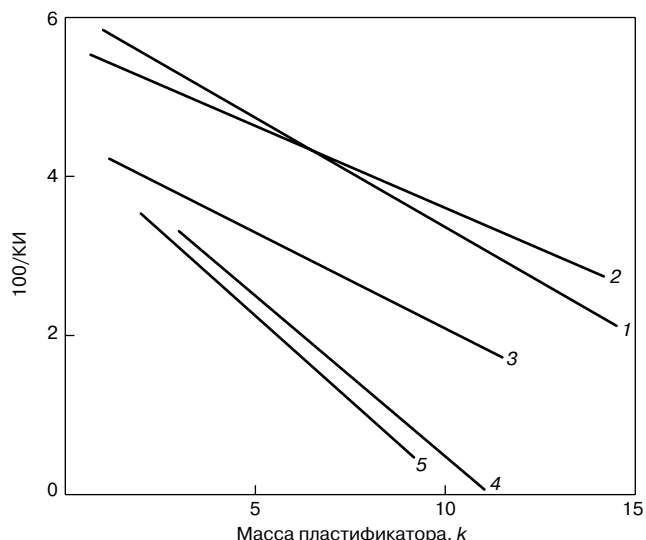


Рис. 1. Горючесть фталатных и фосфатных пластификаторов: 1 – диалкилфталат; 2 – триалкилфосфат; 3 – дифенил-*n*-третбутил-фенилфосфат; 4 – трихлорэтилфосфат; 5 – трихлорпропилфосфат

ческого каучука СКС-30АРКМ-15 (ГОСТ 11138–78) и шинного регенерата РШ (ТУ 38.404.203–90), резольный фенольный пенопласт марки ФРП-1, суспензионный ПВХ марок С7058 и С7059 (ГОСТ 14332-78Е), а также вторичный ПВХ. ПСМ получали по общепринятым методикам. В качестве фталатных и фосфатных пластификаторов применяли дибутил- (ДБФ), диоктил- (ДОФ, ГОСТ 8728-77Е) и диалкилфталат (ДАФ-56, ТУ 6.05.211.981–78), ди-2-этилгексилфенилфосфат (ДАФФ, ТУ 6-05-1611–78), дифенил-2-этилгексилфосфат (ОДФФ), трифенилфосфат (ТФФ), дифенил-*n*-третбутилфенилфосфат (ДФИБФФ), дифенил-крезилфосфат (ДФКФ, ТУ 6-06-241–92), трихлорэтилфосфат (ТХЭФ, ТУ 2493-319-05763441–2000, изм. 1), дифенилизопропилфенилфосфат (ТАФ-ЗОП, ТУ 6-05-211-1211–80) и трихлорпропилфосфат (ТХПФ, ТУ 2493-513-05763441–2007). Физико-химические показатели использованных в работе фталатных и фосфатных пластификаторов приведены в табл. 1. В качестве хлорсодержащих пластификаторов применяли хлорпарафины марок ХП-470 (ТУ 2493-339-05763458–2003), парахлор-380 (ТУ 2493-017-13164401–95) и ХП-1100 (ТУ 2493-211-05763458–97), содержащие соответственно 47, 53–56 и 70% хлора. Хлорированные парафины из-за наличия полярного атома хлора и неполярного

углеводородного скелета хорошо совмещаются с олигомерами и полимерами с образованием однородного материала.

Термостойкость пластифицированных ПСМ определяли термогравиметрическим методом при нагреве на воздухе (50 мл/мин) со скоростью 10 и 20°C/мин с учетом требований ГОСТ Р 53293–2009, используя для этих целей термоаналитический автоматизированный комплекс DuPont-9900. Критериями термостойкости ПСМ являлась температура начала интенсивного разложения ( $T_{\text{нр}}$ ) и максимальная скорость разложения ( $T_{\text{мак}}$ ). Кислородный индекс (КИ), температуру воспламенения ( $T_{\text{в}}$ ) и самовоспламенения ( $T_{\text{св}}$ ), коэффициент дымообразования ( $\mathcal{D}_m$ ) в режиме пиролиза и горения, критическую плотность теплового потока воспламенения ( $q_{\text{кр}}$ ) и теплоту сгорания ( $\Delta H_c$ ) ПСМ определяли по ГОСТ 12.1.044–89\*. Предельную концентрацию кислорода ( $c_{\text{пр}}$ ) и скорость распространения пламени по горизонтальной поверхности ( $V_{\text{рп}}$ ) ПСМ при различной концентрации кислорода в потоке окислителя ( $\text{O}_2 + \text{N}_2$ ) измеряли по методике [4]. Содержание СО и  $\text{CO}_2$  в продуктах флеш-пиролиза пластифицированных ПВХ-материалов при 800°C определяли с помощью газоанализаторов ОА-5501 и ОА-2209 соответственно, а максимальный выход HCl – на хроматографе «Цвет-104» с детектором по плотности и с пиролизической приставкой типа ППТ. Фторопластовую колонку внутренним диаметром 4 мм и длиной 3 м заполняли полихромом-1 (твердая фаза с размером частиц 0,25–0,5 мм) и дибутилфталатом (жидкая фаза). Температура детектора составляла 80°C, испарителя – 110°C, скорость газа-носителя (азота) 67 мл/мин. КИ пластификаторов определяли путем измерения КИ асбестового картона размером 100×10×2,5 мм с различной степенью пропитки исследованными пластификаторами. Степень пропитки асбестового картона, предварительно прокаленного при температуре ~1000°C, регулировали концентрацией пропиточного раствора пластификатора в петролейном эфире. Значения КИ пластификаторов получали экстраполяцией экспериментальной зависимости КИ асбестового картона от степени пропитки на нулевое содержание наполнителя. При этом полученная экспериментальная зависимость в координатах 100/КИ асбестового картона отношения массы асбестового картона к массе пластификатора ( $k$ ) для всех пластификаторов на графиках хорошо спрямляется (рис. 1). Это позволяет исключить ошибку, связанную с влиянием наполнителя на КИ пластификатора, и получить более точные его значения по сравнению с данными, приведенными в работе [5].

Таблица 2

Марка пластификатора	Показатели			
	$T_s - T_0, ^\circ\text{C}$	$\gamma_{\text{экс}}$	$\alpha$	$H - L, \text{кДж/кг}$
Дибутилфталат	430	1,4	0,62	19300
Диоктилфталат	460	2	0,77	26400
Диалкилфталат, $\text{C}_5 - \text{C}_6$	440	1,3	0,57	18000
Трихлорэтилфосфат	440	0,65	0,7	5900
Трихлорпропилфосфат	450	0,93	0,75	9270
Дифенил- <i>n</i> -третбутил-фенилфосфат	500	1,7	0,74	19300
Ди-2-этилгексилфенилфосфат	470	1,7	0,75	20900
Дифенилизопропилфенилфосфат	500	1,8	0,82	20500
Триалкилфосфат, $\text{C}_7 - \text{C}_9$	460	1,7	0,77	22200

**Примечание.** Ошибка определения  $\gamma$  и  $\alpha$  не превышает 7%.  $H$  и  $L$  – удельные значения теплоты соответственно сгорания и газификации пластификатора.

Таблица 3

Марка пластификатора	Показатели						
	КИ, %	$T_{св}$ , °С	$q_{кр}$ , кВт/м <sup>2</sup>	$V_{рп}$ , мм/с, при концентрации кислорода в окислителе, %		$\mathcal{D}_m$ , м <sup>2</sup> /кг, в режиме	
				35	45	пиролиза	горения
–	22,1	470	11,7	0,42	0,69	980	990
ТФФ	24,1	510	9,1	0,37	0,83	1010	800
ДФКФ	22,6	510	10,2	0,57	1,16	970	820
ОДФФ	22,9	500	10,3	0,38	0,77	640	840
ТАФ-ЗОП	24	500	9	0,3	0,71	900	770
ДФИБФФ	23,6	500	9,2	0,34	0,71	870	780
ДАФФ	23,6	480	9,3	0,34	0,71	650	870
ТХПФ	24	510	8,8	0,36	0,69	610	930
ТХЭФ	26	510	8,3	0,42	0,72	1080	790

**Примечание.** Содержание фосфатных пластификаторов 15,4 мас. %.

Таблица 4

Показатели	Жесткий ПВХ	Пластификатор									
		ДФБ	ДОФ	ДАФФ	ОДФФ	ТАФ-ЗОП	ДФИБФФ	ДФКФ	ТФФ	ТХПФ	
Температура, °С:											
– начала интенсивного разложения ( $T_{нр}$ )	230	222	218	212	220	218	225	215	232	210	
– максимальной скорости разложения ( $T_{max}$ )	280	295	295	287	275	291	297	282	282	280	
КИ, %	44,1	33,4	32,7	36,2	36,8	37,1	37,9	35,9	39	38,8	
$C_{пр}$ , %	57	45	43,1	50,3	51	51,3	53	49,5	54	53,4	
$V_{рп}$ , мм/с, при концентрации кислорода, %:											
– 60	0,33	0,64	0,75	0,8	0,67	0,4	0,6	0,67	0,34	0,38	
– 70	0,27	1	1,11	1,13	1,23	0,86	0,83	1,02	0,74	0,49	
Состав продуктов горения, мг/г:											
– твердая фаза дыма	48,1	63,7	44,3	52,2	58	71,2	72,6	57,9	60,7	63,5	
– СО	68,3	29,4	25,2	35,8	43	43,1	49,9	25,9	53,9	50,3	
– СО <sub>2</sub>	223,7	274,8	200,2	310,3	150,1	299,6	252,5	182	221,6	136,3	
– НСl	580	–	496	500	521	500	538	528	527	578	
Теплота сгорания, кДж/кг	18100	19150	19500	19770	19670	19540	19330	19820	19050	17450	
$\mathcal{D}_m$ , м <sup>2</sup> /кг, в режиме:											
– пиролиза	360	760	660	380	450	690	640	760	820	280	
– горения	850	910	600	860	870	920	900	730	900	790	

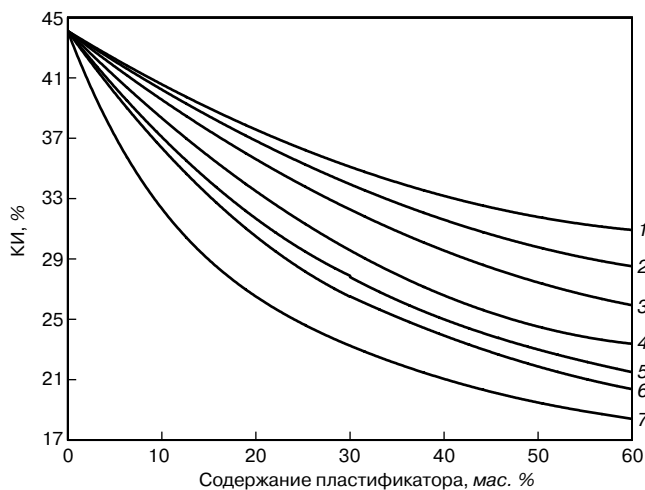
**Примечание.** Содержание пластификаторов 12,75 мас. %.

Характерные параметры полученных прямых (рис. 1) – тангенс угла наклона и точки пересечения с осями использованы для расчета термохимических характеристик свечного горения фталатных и фосфатных пластификаторов (табл. 2). Выбор значений температуры горячей поверхности ( $T_s$ ) при свечном горении пластификаторов основан на корреляции значений  $T_s$  с температурой интенсивной газификации полимеров.  $T_s$  пластификаторов меньше  $T_s$  полимеров на величину, соответствующую разности значений температуры начала интенсивной газификации полимера и пластификатора. Значения стехиометрического коэффициента ( $\gamma_{экср}$ ) и коэффициента полноты сгорания  $\alpha$ , равно отношению  $\gamma_{экср}/\gamma_{расч}$  (табл. 2), рассчитывали из условия сгорания исследованных пластификаторов до образования конечных продуктов – СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О, НСl и Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>. Наблюдается аналогия значений  $\gamma_{экср}$  и  $\alpha$  для фталатных и фосфатных пластификаторов с такими же значениями для газообразных видов топлива [6]. Поэтому подход, использованный в работе [6] для оценки величины теплоты сгорания и тепловых потерь от пламени газообразных видов топлива, будет справедливым и для диффузионного горения фталатных и фосфатных пластификаторов. Термохимические ха-

рактеристики горения пластификаторов на пределе свечного горения приведены в табл. 2.

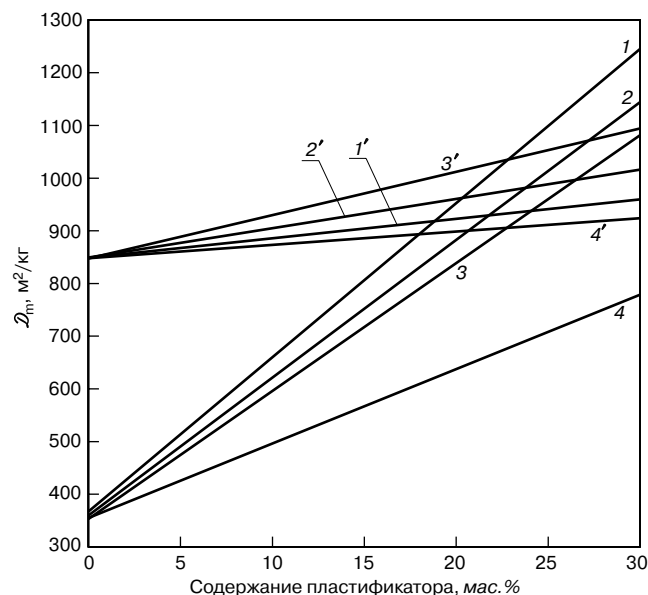
Анализ значений КИ промышленных марок фталатных и фосфатных пластификаторов (табл. 1) показал, что их горючесть зависит от концентрации в молекуле пластификатора атомов фосфора, хлора и бензольных ядер. При этом КИ фталатных пластификаторов не превышает 17%, а КИ фосфатных, не содержащих атомов хлора, – 23,2%. КИ ТХПФ и ТХЭФ, содержащих соответственно 32,5 и 37,3% хлора, равен 26,4 и 29,9% (табл. 1). Горючесть хлорпарафинов существенно зависит от длины цепи углеродных атомов и концентрации хлора в молекуле хлорсодержащего соединения [7] и составляет для ХП-470, параклор-380 и ХП-1100 соответственно 24, 32 и 48%.

При оценке эффективности пламягасящего действия фосфор- и хлорсодержащих пластификаторов использовали подход, основанный на анализе условий теплового баланса в ведущей кромке пламени при свечном горении полимеров [8]. В результате проведенных исследований установлено, что фосфатные пластификаторы практически не снижают пожарную опасность ПСМ на основе эпоксидных олигомеров и



**Рис. 2.** Зависимость КИ ПВХ материалов от содержания фталатных и фосфатных пластификаторов: 1 – трихлорэтилфосфат; 2 – трихлорпропилфосфат; 3 – дифенилпропилфенилфосфат; 4 – дифенилкрезилфосфат; 5 – ди-2-этилгексилфенилфосфат; 6 – дибутилфталат; 7 – ди-2-этилгексилфталат

синтетических каучуков [9], повышают воспламеняемость ПВХ-материалов. Показатели воспламеняемости и дымообразующей способности пластифицированного эпоксидного полимера ЭД-20 приведены в табл. 3. Термостойкость и показатели пожарной опасности пластифицированного ПВХ приведены в табл. 4. Низкая эффективность пламягасящего действия промышленных марок фосфатных пластификаторов обусловлена их горючестью: КИ таких пластификаторов равен 19,6–29,9% (табл. 1) по сравнению с 22,1–22,3% для эпоксидного полимера ЭД-20; 20,8–22,2% для материалов на основе СКС-30АРКМ-15 и 44,1–47,2% для жесткого ПВХ. КИ полимера ЭД-20, отвержденного полиэтиленполиамином, при введении 8,3–15,4 мас. % фосфатных пластификаторов возрастает с 22,1 до 23,2–24%, а  $T_{св}$  повышается с 470 до 500–510°C. Гетерогенный характер процесса образования трехмерной структуры полимера при отверждении эпоксидного олигомера обуславливает неравномерное распределение пластифика-



**Рис. 3.** Зависимость дымообразующей способности ПВХ материалов от содержания пластификаторов: 1, 2, 3, 4 – в режиме пиролиза; 1', 2', 3', 4' – в режиме горения; 1, 1' – дифенилкрезилфосфат; 2, 2' – дифенилпропилфенилфосфат; 3, 3' – диоктилфталат; 4, 4' – трихлорэтилфосфат

торов в матрице стеклообразного полимера и стремление отверждающихся бинарных систем к фазовому разделению. Это приводит к выпотеванию из эпоксидного компаунда фосфатных пластификаторов и соответственно к снижению  $q_{кр}$  с 11,7 до 10,2–10,7 кВт/м<sup>2</sup> (табл. 3). Хлорсодержащие фосфаты существенно снижают  $q_{кр}$  (до 8,3–9,2 кВт/м<sup>2</sup>) и повышают КИ эпоксидных полимеров до 25,5–26%.

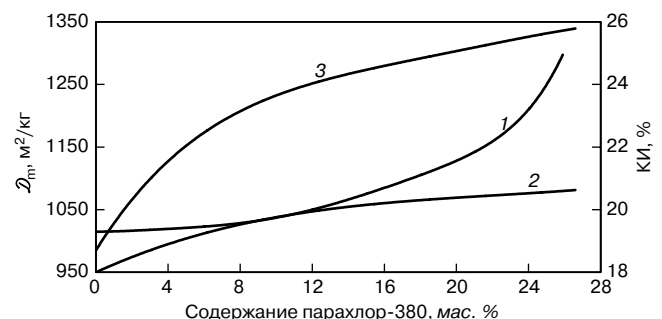
Замена индустриального масла И-8А в покрытиях пола на основе синтетических каучуков фосфатными пластификаторами повышает  $T_{в}$  и  $T_{св}$  материалов на 10–20°C с 320 и 380°C до 330–340°C и 390–400°C соответственно, а КИ с 20,8 – до 22,2–22,9%. Одновременно возрастает и дымообразующая способность таких покрытий:  $D_m$  в режиме пиролиза и горения повышается соответственно с 1060 и 600 м<sup>2</sup>/кг до 1170–1240 и 630–740 м<sup>2</sup>/кг.

Термоокислительная стабильность пластифицированных ПВХ-материалов существенно зависит от окислительной устойчивости и, следовательно, от химического строения фосфатных пластификаторов. Это обусловлено в основном иницирующим влиянием окисляющегося пластификатора на распад ПВХ [10]. Из исследованных фосфатных пластификаторов ДФКФ обладает лучшей совместимостью с ПВХ, а при его использовании при горении реализуется минимальный уровень выделения СО и СО<sub>2</sub>, твердой фазы дыма. С увеличением разветвленности алкильного заместителя в фенильном ядре фосфатного пластификатора происходит повышение содержания твердой фазы дыма, выделения СО, при  $D_m$  в режиме пиролиза (табл. 4). Наличие в молекуле фосфатного пластификатора атомов хлора приводит не только к снижению  $\Delta H_c$ , но и к резкому уменьшению  $D_m$  в режиме пиролиза, уровня выделения СО<sub>2</sub>. Выход СО возрастает вследствие ингибирования НСІ радикальных цепных процессов в газовой фазе, концентрация которого в продуктах пиролиза максимальна (табл. 4). С точки зрения пожарной опасности пластифицированных ПВХ-материалов наиболее эффективным промышленным фосфатным пластификатором является ТХПФ.

Введение фосфатных пластификаторов в форполимер ФРВ-1А при производстве резольных пенофенопластов марки ФРП-1 приводит к значительному снижению их горючести. Ниже приведены значения КИ пенопласта ФРП-1, содержащего 4 мас. % пластификаторов:

ди-2-этилгексилфенилфосфат	40,7
дифенилпропилфенилфосфат	47,7
трикрезилфосфат	47,8
трихлорпропилфосфат	48,3

Причем с ростом их содержания в композиции КИ фенольных пенопластов возрастает. Так, например, с



**Рис. 4.** Зависимость кислородного индекса (1) и дымообразующей способности (2, 3) эпоксидного полимера ЭД-20 от количества хлорсодержащего пластификатора: 2 –  $D_m$  в режиме пламенного горения; 3 –  $D_m$  в режиме пиролиза

Таблица 5

Показатели	Марка пластификатора		
	Парахлор-380	ХП-470	ХП-1100
Условная прочность при растяжении, МПа	5,9	6	5,1
Твердость по ТМ-2, усл. ед.	67	60	61
Водопоглощение за 24 ч, %	1,31	1,8	1,7
Кислородный индекс, %	26	24,5	25,3
$\mathcal{D}_m$ , м <sup>2</sup> /кг, в режиме:			
– пиролиза	510	530	560
– пламенного горения	560	550	580
<b>Примечание.</b> Содержание пластификаторов 7 мас. %.			

увеличением содержания ТХПФ в исходной композиции с 0,83 до 8,75 мас. % КИ пенопласта марки ФРП-1 возрастает с 43,4 до 54,2%. Вместе с тем фосфатные пластификаторы способны к миграции (выпотеванию) из материала, что повышает горючесть теплоизоляционных изделий в процессе эксплуатации.

Химическая природа фосфатных пластификаторов влияет и на дымообразующую способность ПСМ. Так, например, для эпоксидного полимера ЭД-20, содержащего 8,3–15,4 мас. % фосфатных пластификаторов,  $\mathcal{D}_m$  в режиме пиролиза и горения снижается с 980 и 990 м<sup>2</sup>/кг до 640–910 и 770–850 м<sup>2</sup>/кг соответственно (табл. 3). Хлорсодержащие фосфаты (ТХПФ и ТХЭФ) повышают  $\mathcal{D}_m$  в режиме пиролиза. Увеличение дымообразующей способности пластифицированных ПСМ обусловлено ростом концентрации ароматических органических соединений в летучих продуктах пиролиза. Образование сажи в этом случае осуществляется в результате дегидрополиконденсации ароматических углеводородов с частичным разложением ароматических ядер (преимущественно некомпланарно расположенных) до ацетилена и его производных [11].

С ростом содержания пластификатора в ПВХ материалах происходит закономерное повышение горючести (рис. 2) и увеличение  $\mathcal{D}_m$ , особенно в режиме пиролиза (рис. 3). Причем наблюдается линейная зависимость  $\mathcal{D}_m$  ПВХ материалов от содержания пластификаторов, что свидетельствует об аддитивном вкладе составляющих его компонентов – полимера и пластификатора на дымообразующую способность ПСМ.

Более высокой эффективностью пламягасящего действия обладают хлорированные парафины. Причем парахлор-380 превосходит по эффективности не только промышленные марки хлорпарафинов, но и хлорбромсодержащие парафины, синтезированные в лабораторных условиях. Физико-механические свойства, воспламеняемость и дымообразующая способность материалов на основе синтетических каучуков приведены в

табл. 5. С ростом содержания пластификатора парахлор-380 в резиновой смеси с 6,5 до 16 мас. % прочность при растяжении материалов на основе синтетических каучуков, наполненных каолином, относительное удлинение при разрыве и твердость по ТМ-2 снижаются соответственно с 6,1, 120 и 82 до 4 МПа, 90% и 66 усл. ед., а КИ возрастает с 24,7 до 26,2%. Причем хлорпарафины практически не влияют на термостойкость ( $T_{нр} = 160–170^{\circ}\text{C}$ ) материалов на основе синтетических каучуков.

Хлорпарафин марки парахлор-380 позволяет получать слабогорючие эпоксидные полимеры с КИ 32–34%,  $T_{св} = 500–510^{\circ}\text{C}$  и высокими эксплуатационными показателями. Введение в состав эпоксидных композиций, наполненных диабазом (39,5 мас. %) и модифицированных каучуком марки СКН-26-1А, (8 мас. %) пластификатора парахлор-380 повышает разрушающее напряжение и модуль упругости при растяжении полимеррастворов с 11 и 600 до 13–16 и 730–860 МПа соответственно и снижает относительное удлинение при разрыве с 12 до 4,5–7%. При этом эпоксидные полимеры с пластификатором парахлор-380 более стойки к воздействию агрессивных сред по сравнению с композициями, пластифицированными ДОФ или ДБФ. Повышение прочности полимеррастворов при введении в их состав пластификаторов обусловлено увеличением степени полимеризации эпоксидного олигомера в процессе отверждения. Пластификатор снижает температуру стеклования связующего, что обеспечивает достаточную подвижность сегментов олигомера при отверждении [12]. В этом случае содержание гель-фракции при экстракции образцов горячим ацетоном в течение 8 ч достигает 98,3–98,5%. Об этом свидетельствует и снижение интенсивности спектральной полосы 920 см<sup>-1</sup>, характерной для эпоксидных групп. Максимальная степень отверждения эпоксидных композиций наблюдается при содержании 8 мас. % парахлор-380.

Однако хлорсодержащие пластификаторы резко повышают  $\mathcal{D}_m$  монолитных покрытий пола на основе эпоксидных олигомеров (рис. 4). Значительное уменьшение дымообразующей способности эпоксидных полимеррастворов происходит при введении в исходную композицию дымоподавителей (ферроцена и его производных):  $\mathcal{D}_m$  в режиме пиролиза и горения уменьшается соответственно с 1060 и 1220 до 290–400 и 510–630 м<sup>2</sup>/кг. Оптимальным содержанием хлорсодержащих пластификаторов в эпоксидных полимеррастворах следует считать 5–8 мас. %. При таком содержании реализуются не только высокие физико-механические свойства и химическая стойкость, но и пониженная горючесть полимеррастворов.

Таким образом, эфиры ортофосфорной кислоты являются малоэффективными антипиренами для ПСМ на основе эпоксидных полимеров, синтетических каучуков и ПВХ. Химическое строение фосфатных пластификаторов проявляется лишь в показателях технологических и физико-механических свойств таких материалов.

Список литературы

1. Барштейн Р.С., Кириллович В.И., Носовский Ю.Е. *Пластификаторы для полимеров*. М.: Химия, 1982. 186 с.
2. Баратов А.Н., Андриянов Р.А., Корольченко А.Я., Михайлов Д.С., Ушков В.А., Филлин Л.Г. *Пожарная опасность строительных материалов* / Под ред. А.Н. Баратова. М.: Стройиздат, 1988. С. 104–133, 179–277.
3. Копылов В.В., Новиков С.Н., Оксентьевич Л.А., Гефтер Е.Л., Короткевич С.Х., Рило Р.П. *Полимерные материалы с пониженной горючестью* / Под ред. А.Н. Праведникова. М.: Химия, 1986. 224 с.

References

1. Barshtein R.S., Kirillovich V.I., Nosovskii Yu.E. *Plastifikatory dlya polimerov [Plasticizers for polymers]*. M.: Khimiya, 1982. 186 p.
2. Baratov A.N., Andriyanov R.A., Korol'chenko A.Ya., Mikhailov D.S., Ushkov V.A., Filin L.G. *Pozharnaya opasnost' stroitel'nykh materialov [Fire hazards of building materials]*. M.: Stroiizdat, 1988, pp. 104–133.
3. Kopylov V.V., Novikov S.N., Oksent'evich L.A., Gefter E.L., Korotkevich S.Kh., Rilo R.P. *Polimernye materialy s ponizhennoi goryuchest'yu [Polymeric materials with low flammability]*. M.: Khimiya, 1986. 224 p.

4. Ушков В.А., Абрамов В.В., Григорьева Л.С., Кирьянова Л.В. Термостойкость и пожарная опасность эпоксидных полимеррастворов // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 68–71.
5. Чернова Н.Л., Борисова Е.М., Мизеровский Л.И. Определение КИ пластификаторов // *Пластические массы*. 1984. № 6. С. 39–40.
6. Лалаян В.М., Скраливецкая М.С., Халтуринский Н.А. Определение термохимических характеристик газообразного топлива на пределе диффузионного горения // *Химическая физика*. 1988. Т. 7. № 9. С. 1264–1267.
7. Лалаян В.М., Гарян А.А., Рубан Л.В., Асеева Р.М., Берлин А.А. Расчет характеристики горючести хлорпарафинов // *Химическая физика*. 1991. Т. 10. № 12. С. 1721–1724.
8. Лалаян В.М., Скраливецкая М.С., Ушков В.А., Халтуринский Н.А. Термохимические параметры свечного горения полимерных материалов вблизи предела // *Химическая физика*. 1989. Т. 8. № 1. С. 112–116.
9. Ушков В.А., Кулев Д.Х., Цигельная Т.И., Короткевич С.Х. Воспламеняемость и дымообразующая способность резины на основе БСХ // *Каучук и резина*. 1988. № 11. С. 40–42.
10. Аблеев Р.И., Абдуллин М.М., Минскер К.С. Термическая и термоокислительная деструкция поливинилхлорида в фосфорсодержащих пластификаторах // *Высокомолекулярные соединения*. 1987. Т. XXIX А, № 4. С. 768–773.
11. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. *Горение полимерных материалов*. М.: Наука, 1981. 280 с.
12. Пинкас М.В., Плакунова Е.И., Панова Л.Г. Физическая модификация эпоксидных компаундов с целью улучшения эксплуатационных свойств // *Пластические массы*. 2008. № 1. С. 11–13.

XVIII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ A ВЫСТАВКА

Хабаровск

Архитектура

СТРОИИНДУСТРИЯ

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

Город. Экология

2014

22 – 25

мая

ХАБАРОВСКАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ЯРМАРКА

www.khabexpo.ru

Ежегодный Фестиваль  
«ДВ Зодчество»

ЛЕГКОАТЛЕТИЧЕСКИЙ МАНЕЖ  
СТАДИОНА ИМ. ЛЕНИНА

E-mail: [director@khabexpo.ru](mailto:director@khabexpo.ru)

☎ (4212) 566-129

УДК 691.1

И.В. СТЕПИНА, канд. техн. наук, В.И. СИДОРОВ, д-р хим. наук;  
О.А. КЛЯЧЕНКОВА инженер

Московский государственный строительный университет (Москва, 129337, Ярославское шоссе, 26)

## Биостойкость древесины в присутствии фенолборатов

Изучена биостойкость образцов древесины сосны, пропитанных огнебиозащитными составами, содержащими фенолборную кислоту, моно- и диэтаноламин. Поверхность древесных образцов заражали суспензией спор плесневых дереворазрушающих грибов. В результате испытаний установлено, что биостойкость огнебиозащитных составов ФБК+МЭА (1:1,5%) и ФБК+ДЭА (1:2,5%) составляет 90%, биостойкость состава ФБК+МЭА (1:1,1%) – 100%. Долговечность защитного действия разработанных модификаторов не менее 10 лет.

**Ключевые слова:** биостойкость, древесина, огнебиозащитный состав, фенолборная кислота, диэтаноламин.

I.V. STEPINA, Candidate of Technical Sciences, V.I. SIDOROV, Doctor of Chemical Sciences; O.A. KLYACHENKOVA, engineer, Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Hwy, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Biostability of Wood in the Presence of Phenyl Borates

The biostability of samples of pine wood impregnated with biofire-retardant compositions which contain phenyl-boric acid and mono- and diethanolamine is studied. The surface of wooden samples is contaminated with the suspension of spores of wood destroying mold fungi. As a result of tests it is established that the biostability of biofire-retardant compositions FBK+MEA (1:1.5%) and FBK+DEA (1:2.5%) is 90%, biostability of FBK+MEA (1:1.1%) – 100%. The durability of protective action of modifiers developed is not less than 10 years.

**Keywords:** biostability, wood, biofire-retardant composition, phenyl-boric acid, diethanolamine.

Эффективность борной кислоты, ее солей, буры с точки зрения повышения биостойкости древесины для строительных конструкций известна издавна. Создано большое количество защитных пропиточных составов на основе соединений бора [1, 2]. В опубликованных работах [3] показано, что при использовании в этих целях боразотных соединений, полученных при взаимодействии борной кислоты и аминспиртов, за счет увеличения координационного числа атома бора до четырех удается создать гидролитически устойчивые соединения на поверхности древесно-целлюлозных материалов. Эффективность такой защиты значительно выше, чем при использовании соединений, содержащих трехкоординированный атом бора (борная кислота, ее соли, бура). Связано это с тем, что для трехкоординированного атома бора возможна нуклеофильная атака молекулами воды электронно-дефицитных центров борсодержащих эфиров, следствием чего является гидролиз сложноэфирных связей между подложкой и молекулами привитого модификатора. Это приводит к быстрой утрате защитного эффекта и других практически значимых характеристик древесины, обусловленных модификацией. В [3] установлено, что боразотные соединения, в частности аминбораты, у которых атом азота, проявляя электронно-донорные свойства, обеспечивает координационное число атому бора, равное четырем, создает гидролитическую стабильность образующихся соединений.

В работе при создании боразотных соединений, авторы заменили борную кислоту на фенолборную, что должно обеспечить не менее высокий уровень защиты древесины при более низком содержании модификатора в защитном составе. Предположение связано с наличием фенольного радикала в молекуле модификатора, что за счет электронного строения должно способствовать повышению эффективности защитного действия. Подтверждение предположения авторы получили при исследовании водопоглощения образцов древесины сосны, модифицированных разбавленными растворами МЭА, моно- и диэтаноламинфенолборатов ДЭА. Модифицирование образцов, подготовленных по ГОСТ 16483.0–78, осуществляли в стандартных услови-

ях при постоянном помешивании в течение 3 ч. Модификаторы – 5 и 10%\* водные растворы моноэтаноламинфенолбората и 5% водный раствор диэтаноламинфенолбората. После высушивания на воздухе до постоянной массы проводили испытания, согласно ГОСТ 16483.20–72. Результаты эксперимента представлены на рис. 1, где видно, что модификация древесины 5% водными растворами МЭА и ДЭА приводит к снижению водопоглощения древесины всего на 10–15%. При модификации поверхности древесины 10% водным раствором МЭА наблюдается снижение водопоглощения примерно на 60%. Избыточное содержание воды в древесине является одним из основных условий развития плесневых и дереворазрушающих грибов, значительное ее снижение за счет модификации является важным достижением в процессе повышения биостойкости древесины строительных конструкций.

В лаборатории тропических технологий ИПЭЭ РАН по ГОСТ 9.048–89 проводили испытания образцов дре-

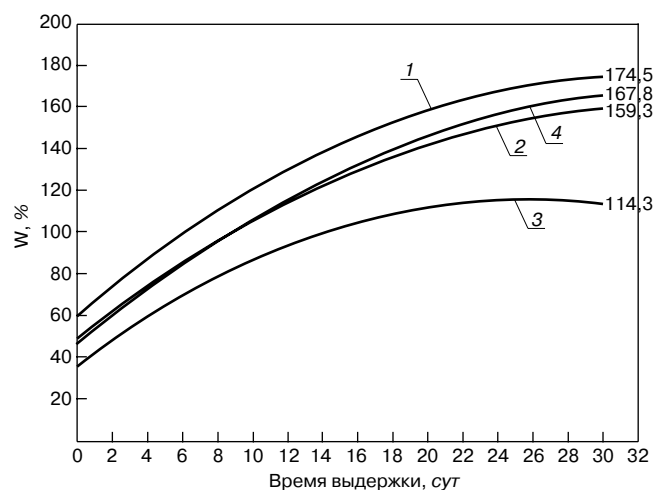


Рис. 1. Зависимость водопоглощения образцов древесины сосны от времени выдержки: немодифицированные (1) и модифицированные ФБК+МЭА 5% (2), ФБК+МЭА 10% (3), ФБК+ДЭА 5%, 1:2 (4)

\* Использование более концентрированных растворов моно- и диэтаноламинфенолборатов не представляется возможным из-за ограниченной растворимости этих соединений в воде.

Наименование состава	Концентрация состава, %	Шифр образца	Внешний вид после испытаний	Оценочный балл	Биостойкость, %
ФБК+МЭА 1:1	5	1.3	Под микроскопом видны мелкие очаги мицелия в виде отдельных пятен, спороношение отсутствует	1	90
		1.4		1	90
ФБК+МЭА 1:1	10	2.3	Образцы чистые, проросших конидий и колоний грибов не выявлено	0	100
				0	100
ФБК+ДЭА 1:2	5	3.3	Под микроскопом видны мелкие очаги мицелия в виде отдельных пятен, спороношение отсутствует	1	90
				1	90
Контроль (без пропитки)	–	К3	80–85% поверхности заросло грибами	5	0
		К4			0

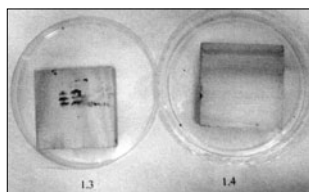


Рис. 2. Внешний вид образцов древесины с пропиткой составом ФБК+МЭА 1:1, 5%, после 28 сут испытаний на биостойкость по ГОСТ 9.048–89

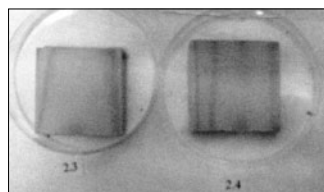


Рис. 3. Внешний вид образцов древесины с пропиткой составом ФБК+МЭА 1:1, 10%, после 28 сут испытаний на биостойкость по ГОСТ 9.048–89

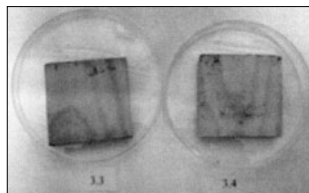


Рис. 4. Внешний вид образцов древесины с пропиткой составом ФБК+ДЭА 1:2, 5%, после 28 сут испытаний на биостойкость по ГОСТ 9.048–89

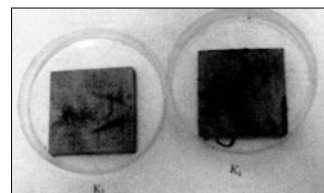


Рис. 5. Внешний вид контрольных образцов древесины без пропитки, после 28 сут испытаний на биостойкость по ГОСТ 9.048–89

веса, пропитанных огнебиозащитными составами, содержащими фенолборную кислоту (ФБК) и моноэтаноламин (МЭА) или диэтаноламин (ДЭА), на стойкость к воздействию плесневым и дереворазрушающим грибам.

В соответствии с указанным ГОСТом поверхность деревянных образцов заражали суспензией с концентрацией 1–2 млн/мл спор грибов *Aspergillus niger* van Tieghem, *Aspergillus terreus* Thom, *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud, *Paecilomyces varioti* Bainier, *Penicillium funiculosum* Thom, *Penicillium ochro-chloron* Biourge, *Scopulariopsis brevicaulis* Bainier, *Trichoderma viride* Pers. Ex Fr. Дополнительно в суспензию были введены споры дереворазрушающих грибов *Serpula lacrimans* ВКМ F-465 и *Antrodia sinuosa* ВКМ F-1741. Контролем служили образцы из древесины без пропитки.

Образцы, зараженные суспензией грибов, помещали в открытой чашке Петри в эксикатор и выдерживали в условиях, оптимальных для роста грибов: при 27–28°C и влажности 98% в течение 28 сут. Промежуточные осмотры образцов (визуально и с помощью микроскопа при увеличении 60<sup>x</sup>) проводили через каждые 14 сут.

По окончании испытаний оценивали стадию развития грибов по шестибальной шкале (ГОСТ 9.048–89).

Результаты оценки биостойкости опытных составов после испытаний представлены в таблице и на рис. 2–5.

Из представленных данных видно, что контрольные непропитанные образцы древесины обросли грибами на 80–85% поверхности; на них наблюдается интенсивное развитие мицелия всех видов тест-культур грибов и спороношение.

На образцах, пропитанных опытным составом ФБК+МЭА 1:1, 10%, роста грибов не выявлено, биостойкость этого состава 100%, оценена баллом 0; на

образцах, пропитанных составами ФБК+МЭА 1:1, 5%, и ФБК+ДЭА 1:2, 5%, под микроскопом выявлены отдельные очаги мицелия грибов, спороношение отсутствовало; биостойкость этих составов 90%, оценена баллом 1.

Ускоренные испытания образцов древесины, пропитанных огнебиозащитными составами, содержащими ФБК и МЭА (или ДЭА), на долговечность защитного действия проводили в лаборатории тропических технологий ИПЭЭ РАН в аккредитованном Центре климатических испытаний (регистрационный № РОСС RU 0001.21КК04) в камере тепла и влаги Г-4 по ГОСТ 9.308–85, метод 6 и ГОСТ 9.054–75, метод 1; также использовали рекомендации, изложенные в монографии [4].

Согласно указанным документам 10 дней испытаний в камере Г-4 при 36±2°C и 98% влажности соответствуют одному году эксплуатации в природных условиях умеренного климата. Выдерживали соответствующие условия испытаний образцов по режиму данной камеры.

Таким образом, испытания огнебиозащитных составов позволяют сделать вывод, что за счет таких свойств, как грибо- и атмосферостойкость, долговечность защитного действия составов ФБК+МЭА (1:1), 5%, ФБК+МЭА (1:1), 10%, и ФБК+ДЭА (1:2), 5%, составляется не менее 10 лет.

#### Список литературы

1. Эрмуш Н.А. Новые борсодержащие защитные средства для древесины и древесных материалов в строительстве / *Биоповреждения в строительстве*. М.: Стройиздат. 1984. С. 140–149.
2. Горшин С.Н., Максименко Н.А., Горшина Е.С. *Защита памятников деревянного зодчества*. М.: Наука, 1992. 279 с.
3. Котенева И.В. *Боразотные модификаторы поверхности для защиты древесины строительных конструкций*. М.: МГСУ, 2011. 191 с.
4. Карякина М.И. *Испытание лакокрасочных материалов и покрытий*. М.: Химия, 1988. 272 с.

#### References

1. Ermush N.A. New boron-containing protective equipment for wood and wood materials in construction. In book: *Biopovrezhdenia v stroitel'stve [Biodamages in construction]*. M.: Stroiizdat. 1984, pp. 140–149 (In Russian).
2. Gorshin S.N., Maksimenko N.A., Gorshina E.S. *Zashchita pamiatnikov dereviannogo zochestva [Protection of monuments of wooden architecture]*. M.: Nauka. 1992. 279 p. (In Russian).
3. Koteneva I.V. *Borazotnye modifikatory poverkhnosti dlia zashchity drevesiny stroitel'nykh konstruktssii [Borazotny modifiers of a surface for protection of wood of construction designs]*. M.: MGSU. 2011. 191 p. (In Russian).
4. Kariakina M.I. *Ispytanie lakokrasochnykh materialov i pokrytii [Test of paintwork materials and coverings]*. M.: Khimiia. 1988. 272 p. (In Russian).

А.И. БУРНАШЕВ, канд. техн. наук, А.Х. АШРАПОВ, инженер,  
Л.А. АБДРАХМАНОВА, д-р техн. наук, Р.К. НИЗАМОВ, д-р техн. наук

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Республика Татарстан, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

## Структура и свойства модифицированного древесно-полимерного композита на основе поливинилхлорида

Авторами разработана поливинилхлоридная композиция на основе древесной муки (более 50 мас. %), обладающая значительным превосходством по сравнению с промышленно выпускаемыми аналогами. Методом электронной сканирующей микроскопии оценено взаимодействие между компонентами в модифицированной кремнезольной системе древесная мука – поливинилхлорид, рекомендованной для создания высоконаполненных древесно-полимерных композитов строительного назначения. Установлено, что связующий агент – кремнезоль концентрируется в «обобществленной» граничной зоне. Увеличение содержания древесной муки в полимерной композиции (50–200 мас. ч. на 100 мас. ч. ПВХ) приводит к уменьшению толщины разрыхленного граничного слоя (почти на порядок) и снижению температуры стеклования. Выявлена зависимость основных технологических и эксплуатационных свойств разработанных композитов (прочность при растяжении, термостабильность и перерабатываемость) от толщины и структуры граничных слоев.

**Ключевые слова:** наномодификация, поливинилхлорид, кремнезоль, граничный слой.

A.I. BURNASHEV, Candidate of Technical Sciences, A.H. ASHRAPOV, engineer,  
L.A. ABDRAHMANOVA, Doctor of Technical Sciences, R.K. NIZAMOV, Doctor of Technical Sciences  
Kazan State University of Architecture and Building Construction (1, Zelenaya street, Kazan, 420043, Republic of Tatarstan, Russian Federation)

### Structure and properties of a modified wood-polymeric composite on the basis of polyvinylchloride

The authors have developed a polyvinylchloride composition on the basis of wood flour (over 50 mass%) which has superiority over industrially manufactured analogues. The interaction between components in the "wood flour – polyvinylchloride" system modified with silica sol and recommended for generating highly filled wood-polymeric composites for construction purposes is assessed by the electronic scanning microscopy. It is established that a bonding agent, silica sol, concentrates in the "collectivized" boundary zone. Increasing the content of wood flour in the polymeric composition (from 50 up to 200 mass-particles per 100 mass-particles of PVC) leads to reducing the thickness of the loosened boundary layer (almost by a factor of ten) and reducing the temperature of vitrification. The dependence of main technological and operational properties of developed composites (tensile strength, thermal stability and processability) on the thickness and structure of boundary layers is revealed.

**Keywords:** nano-modification, polyvinylchloride, silica sol, boundary layer.

Низкая адгезия органического наполнителя к термопластам, обусловленная гидрофильностью древесных частиц и гидрофобностью полимеров, не позволяет получить композиции с содержанием древесного компонента более 50 мас. %, а также с необходимым уровнем технологических и эксплуатационных свойств. Основным способом увеличения адгезии между полимером и органическим наполнителем является использование высокоэффективного связующего агента – химического вещества, усиливающего совместимость полимера и древесных части. Для образования прочных связей на границе раздела полимерная матрица – древесный наполнитель в состав композиций связующие агенты вводят или на стадии переработки, или используют предварительную модификацию древесных частиц с целью изменения природы их поверхности [1–2].

В случае создания древесно-полимерных композитов на основе ПВХ – полярного полимера предпочтительным условием для достижения высокого наполнения является выбор связующих агентов, работающих по принципу кислотно-основных взаимодействий [3, 4]. Авторами была разработана композиция [5, 6], отличающаяся высоким содержанием древесного наполнителя и повышенным комплексом эксплуатационных и технологических свойств, где в качестве модификатора был использован высокощелочной связующий агент кремнезоль (КЗ), стабилизированный щелочью. Основной создания таких композитов является принцип, принятый в данной технологии, поверхностной функционализации кремнезолью как частиц древесной муки, так и зерен ПВХ. Особенности взаимодействия кремнезоля с древесной мукой и ПВХ определяют структуру и комплекс макросвойств композитов, изучение которых и явилось целью данной работы.

Для исследований использовали следующие материалы:

**Поливинилхлорид марки С7058М** – полимер с константой Фикентчера 70, температурой стеклования 80°C, насыпной плотностью 450–550 кг/м<sup>3</sup>.

**Древесная мука марки 180** – тонкоизмельченная и высушенная древесина волокнистой структуры со средним размером частиц 100 мкм и насыпной плотностью 100–140 кг/м<sup>3</sup>.

**Кремнезоль** – высокодисперсная система с жидкой дисперсионной средой и твердой дисперсной фазой, размеры частиц которой находятся в интервале 1–100 нм и имеют большую площадь поверхности. Кремнезоль стабилизирован щелочью и имеет рН 10,3, плотность 1200 кг/м<sup>3</sup> и вязкость 20 сСт.

В качестве технологических добавок в композиции использовали комплексный стабилизатор марки Interstab и модификатор ударной прочности FM-22.

Оптимальными значениями концентрации кремнезоля при создании древесно-полимерной композиции с высокими технологическими и техническими свойствами являются 1,75% при обработке древесной муки и 0,7% при обработке ПВХ [5, 6].

Характер распределения кремнезоля в поливинилхлоридном древесно-полимерном композите (ДПК) был исследован на сканирующем электронном микроскопе AURIGA, совмещенном со спектрометром энергетической дисперсии (EDS) Inca Energy 350 X-Max.

На рис. 1 приведена микрофотография образца ДПК (при соотношении ПВХ/ДМ = 100/100 мас. ч.) при одновременной обработке кремнезолью как поверхности зерен полимера, так и частиц древесного наполнителя.

Содержание элемента кремния, которое свидетельствует о наличии на различных участках структуры образцов композита модификатора – кремнезоля, а именно, в фазе полимера (1), древесного наполнителя (2) и на границе раздела фаз (3), представлено в табл. 1.



Таблица 1

Элемент структуры композита	Содержание Si (мас./атомн.), %
Наполнитель – древесная мука (1)	0,52/0,12
ПВХ (2)	0,49/0,2
Граница раздела фаз (3)	0,8/0,26

Таблица 2

Древесная мука, на 100 мас. ч. модифицированного (0,7 мас. % КЗ) ПВХ	$T_g$ , °C	$\Delta H$ , Дж/г	
Исходная	50 мас. ч.	90,11	1,33
Модифицированная 1,75 мас. % КЗ	50 мас. ч.	89,82	1,42
	100 мас. ч.	84,97	0,89
	150 мас. ч.	84,17	0,7
	200 мас. ч.	83,91	0,57

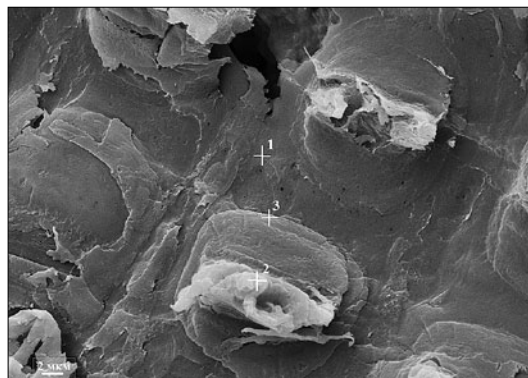


Рис. 1. Микрофотография наномодифицированного композита на основе ПВХ (100 мас. ч.) и хвойной древесной муки (100 мас. ч.)

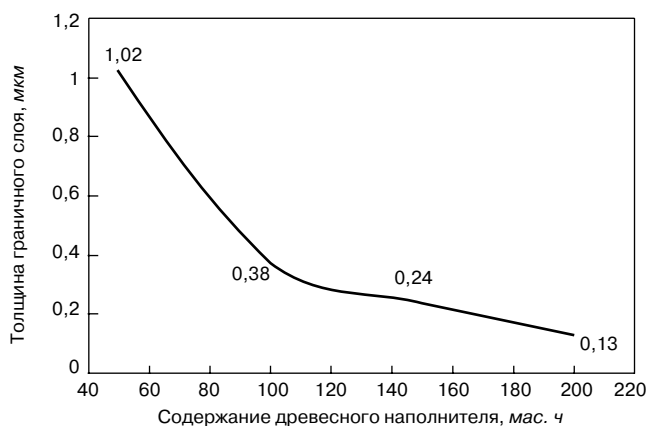


Рис. 2. Зависимость толщины граничного слоя от количества древесной муки

Из приведенных данных видно, что большая доля кремнезоль приходится на граничные слои, и это говорит о том, что кремнезоль, сорбированный на поверхности зерен ПВХ и частиц древесной муки, в процессе переработки входит в состав «консолидированной» граничной зоны.

Толщина и структура граничного слоя играют определяющую роль в многокомпонентной системе, так как адгезия между ПВХ и наполнителем в значительной степени определяет свойства высоконаполненных полимеров, и в частности перерабатываемость. Для образцов с различным содержанием исходной и модифицированной кремнезолью древесной муки (50, 100, 150 и 200 мас. ч. на 100 мас. ч. модифицированного также кремнезолью ПВХ) методом дифференциальной сканирующей калориметрии были определены температура стеклования ( $T_g$ ) и энтальпия плавления  $\Delta H$  (табл. 2). Энтальпия плавления характеризует в данном случае энергию разупорядочения областей ПВХ, не связанных с наполнителем. Увеличение количества модифицированной муки приводит к росту адсорбированных на ее поверхности макромолекул ПВХ, а доля свободного полимера уменьшается, чему соответствуют более низкие значения энтальпии плавления.

Оценка толщины граничного слоя калориметрическим методом [7, 8] основана на анализе изменения величины скачка теплоемкости в процессе расстеклования или стеклования полимерных композиций. Для жесткоцепных полимеров за межфазным слоем обычно наблюдается формирование разрыхленного слоя, толщина которого может быть намного (иногда на несколько порядков) выше межфазного. Таким образом, фиксируется толщина граничного слоя, отличающегося по структуре, составу и свойствам от полимера в объеме

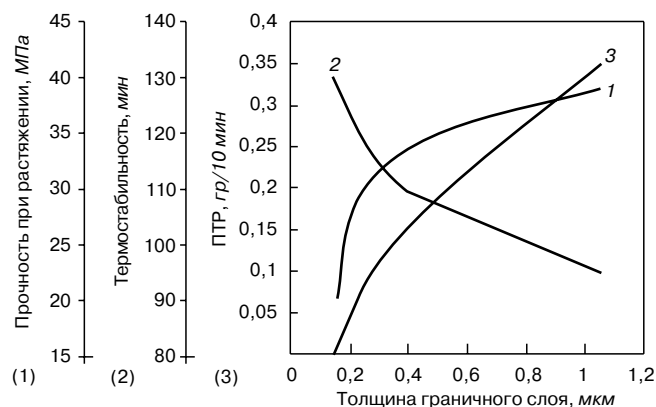


Рис. 3. Зависимости прочности при растяжении, термостабильности и показателя текучести расплава ПВХ-композита от толщины граничного слоя

материала. Так как кремнезоль входит в состав граничного слоя, наблюдается взаимодействие высокоэнергетической поверхности древесной муки и жесткоцепного полимера, что в целом приводит к снижению суммарной плотности граничных слоев по сравнению с объемной. Об этом свидетельствует и понижение температуры стеклования с увеличением доли древесной муки в композиции, причем с увеличением доли древесной муки толщина граничного слоя в системе ПВХ – древесная мука уменьшается (рис. 2).

Зависимость между толщиной граничного слоя и основными эксплуатационными и технологическими свойствами полученных композитов (рис. 3) позволяет интерпретировать данные, выявленные при изучении изменения свойств от содержания наполнителя.

Наиболее высокая прочность наблюдается в образцах, характеризующихся большей толщиной граничного слоя. Разрыхленные граничные слои обуславливают повышение релаксации возникающих в композите напряжений. Кремнезоль в целом способствует усилению межфазного взаимодействия и упрочнению системы. В области меньших толщин граничного слоя с ростом концентрации кремнезоль наблюдается его коагуляция и выделение в виде свободной дисперсной фазы в матрице полимера, в результате чего наблюдается снижение механической прочности после критической толщины, равной 0,38 мкм.

Рост показателя текучести расплавов (ПТР) обусловлен увеличением толщины достаточно протяженных разрыхленных граничных слоев.

Зависимость термостабильности от толщины граничных слоев закономерна, так как с возрастанием толщины слоя уменьшается содержание в них кремнезоль и потому эффект термостабилизации, связанный в пер-

вую очередь с акцептированием выделяющегося хлористого водорода, снижается.

Таким образом, из приведенных экспериментальных данных следует, что граничный слой помимо полимера включает и кремнезоль, входящий не только в со-

став поверхности зерен ПВХ, но и в состав частиц наполнителя – древесной муки. Его толщина и характер структуры определяют как ход формирования полимерного материала при его переработке, так и комплекс основных эксплуатационных свойств.

Список литературы

1. Радованович И., Кречмер К., Бастиан М. Древесно-полимерные композиты // *Полимерные материалы*. 2011. № 3. С. 12–17.
2. Kazayawoko M., Balatinecz J.J., Matuana L.M. Surface modification and adhesion mechanism in wood fiber-polypropylene composites // *Journal of Mater Science*. 1999. Vol. 34. No. 24. Pp. 6189–6192.
3. Fowkes F.M. Role of acid-base interfacial bonding in adhesion // *J. Adhesion Sci. Technol*. 1987. Vol. 1. No. 1. Pp. 7–27.
4. Matuana L.M., Balatinecz J.J., Park C.B. Surface characteristics of chemically modified fibers determined by inverse gas chromatography // *Wood Fiber Science*. 1999. No. 31. Pp. 116–127.
5. Бурнашев А.И., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К., Хозин В.Г., Колесникова И.В., Фахрутдинова Ф.Х. Наномодифицированная древесная мука – эффективный наполнитель поливинилхлоридных композиций // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 72–74.
6. Бурнашев А.И., Ашрапов А.Х., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Применение в рецептуре древесно-полимерного композита наномодифицированного поливинилхлорида // *Известия КазГАСУ*. 2013. № 2 (24). С. 226–232.
7. Липатов Ю.С., Бабич В.Ф., Брык М.Т., Веселовский Р.А. *Физикохимия многокомпонентных полимерных систем*. Киев: Наукова думка, 1986. 376 с.
8. Липатов Ю.С. *Физикохимия наполненных полимеров*. Киев: Наукова думка, 1977. 303 с.

References

1. Radovanovich I., Krechmer K., Bastian M. Wood-polymer composites. *Polimernye Materialy*. 2011. No. 3, pp. 12–17 (in Russian).
2. Kazayawoko M., Balatinecz J.J., Matuana L.M. Surface modification and adhesion mechanism in wood fiber-polypropylene composites. *Journal of Mater Science*. 1999. Vol. 34. No. 24, pp. 6189–6192.
3. Fowkes F.M. Role of acid-base interfacial bonding in adhesion. *J. Adhesion Sci. Technol*. 1987. Vol. 1. No. 1, pp. 7–27.
4. Matuana L.M., Balatinecz J.J., Park C.B. Surface Characteristics of Chemically Modified Fibers Determined by Inverse Gas Chromatography. *Wood Fiber Science*. 1999. No. 31, pp. 116–127.
5. Burnashev A.I., Abdrahmanova L.A., Nizamov R.K., Hozin V.G., Kolesnikova I.V., Fahrutdinova F.H. Nanomodified wood flour – effective filler of polyvinylchloride compositions. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2011. No. 9, pp. 72–74 (in Russian).
6. Burnashev A.I., Ashrapov A.H., Abdrahmanova L.A., Nizamov R.K. Using of the nanomodified polyvinylchloride in wood-polymer composite's receipt. *Izvestiya KazGASU*. 2013. No. 2 (24), pp. 226–232 (In Russian).
7. Lipatov Ju.S., Babich V.F., Bryk M.T., Veselovskij R.A. *Fizikohimija mnogokomponentnyh polimernyh sistem [Physicochemistry of multicomponent polymer systems]*. Kiev: Naukova dumka, 1986. 376 p. (in Russian).
8. Lipatov Ju.S. *Fiziko-himija napolnennyh polimerov [Physicochemistry of filled polymers]*. Kiev: Naukova dumka, 1977. 303 p. (in Russian).

## СТРОИТЕЛЬНАЯ ВЫСТАВКА

- АРХИТЕКТУРА. СТРОИТЕЛЬСТВО. БЛАГОУСТРОЙСТВО. ЖКХ
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ
- КЛИМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ТЕПЛО-, ГАЗО-, ВОДОСНАБЖЕНИЕ
- ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
- СТРОЙСПЕЦТЕХНИКА. ДОРОГА. ТОННЕЛЬ
- ДОМ. ДАЧА. КОТТЕДЖ. ДЕРЕВЯННОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ. ЛАНДШАФТНЫЙ ДИЗАЙН
- ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА, ЭКСТЕРЬЕРА. ДЕКОР
- ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ

# 21-24 МАЯ 2014, МОРПОРТ

# СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНДУСТРИЯ 2014

ВЫСТАВОЧНЫЕ ПАВИЛЬОНЫ

# СОЧИ

Официальный партнер:

Главный информационный партнер:

Региональный информационный партнер:

Отраслевой Интернет-партнер:

Выставочная компания «Сочи-Экспо ТПП г. Сочи»  
тел./факс: (862) 264-87-00, 264-23-33, (495) 745-77-09  
e-mail: M.Lepikova@sochi-expo.ru; www.sochi-expo.ru

Партнер:

ГРУППА КОМПАНИЙ  
ИВЕНТ-СЕРВИС

УДК 666.3:666.1:621.928.8

А.А. САНДУЛЯК, канд. техн. наук (a.sandulyak@mail.ru), В.А. ЕРШОВА, канд. техн. наук,  
А.В. САНДУЛЯК, д-р техн. наук, Д.А. САНДУЛЯК, инженер

Московский государственный строительный университет (129337, Москва, Ярославское ш., 26)

## Магнитоконтроль ферропримесей полевого шпата: оценка фактора попутного вовлечения частиц

Описаны преимущества применения нового метода магнитоконтроля, предназначенного для определения содержания ферропримесей в различных сырьевых компонентах, используемых при производстве керамической плитки, стекла и других стройматериалов. Показано, что при магнитоконтроле в извлекаемых примесях присутствуют кроме ферромагнитных также вовлеченные частицы анализируемой среды. В отличие от кварцевого песка на массово-операционной характеристике магнитоконтроля ферропримесей полевого шпата наблюдается характерный излом, что препятствует использованию тех же расчетных формул, что и для кварцевого песка. На основании анализа гистограмм распределения феррочастиц и вовлеченных частиц шпата в осадке, выделяемом из полевого шпата, оценено доленое присутствие феррочастиц в количестве 72%. Выполнен соответствующий анализ осадков, выделяемых в операциях магнитоконтроля отдельно для участков получаемой массово-операционной характеристики магнитоконтроля – до и после излома. Установлено, что доленое присутствие феррочастиц составляет в этом случае 87 и 54%. Это указывает на необходимость использования поправочных коэффициентов при определении содержания ферропримесей в анализируемой среде методом магнитоконтроля.

**Ключевые слова:** массово-операционная зависимость, феррочастицы, попутное вовлечение частиц, гистограмма количества, гистограмма объема.

A.A. SANDULYAK, Candidate of Technical Sciences (a.sandulyak@mail.ru),  
V.A. ERSHOVA, Candidate of Technical Sciences, A.V. SANDULYAK, Doctor of Technical Sciences, D.A. SANDULYAK, Engineer  
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Magnetic inspection of ferro-admixtures of feldspar: assessment of a factor of following involvement of particles

Advantages of the use of the new method of magnetic inspection intended for determining the content of ferro-admixtures in different raw components used in the course of manufacture of ceramic tiles, glass and other construction materials are described. It is shown that at magnetic inspection in removable admixtures, besides ferromagnetic admixtures, the involved particles of the medium analysed are also present. In contrast to quartz sand a distinctive fracture is observed on the mass-operational characteristic of magnetic inspection of feldspar admixtures that prevents the use of the same calculation formulae used for quartz sand. On the basis of the analysis of histograms of distribution of ferro-particles and involved particles of feldspar in the sediment extracted from the feldspar, the fractional presence of ferro-particles is assessed as 72%. The appropriate analysis of sediments extracted in the course of magnetic inspection is made separately for the parts of the obtained mass-operational characteristic of magnetic inspection: before and after the fracture. It is established that fractural presence of ferro-particles is 87% and 54% in this case. This indicates the need for the use of correction factors when determining the content of ferro-admixtures in the medium analyzed by the method of magnetic inspection.

**Keywords:** mass-operational dependence, ferro-particles, following involvement of particles, histogram of quantity, histogram of volume.

### Негативные последствия присутствия ферропримесей Состояние методов контроля

Среди многочисленных технологических, в том числе сырьевых сред, наиболее часто подвергаемых магнитной сепарации для удаления железистых примесей, наносящих ощутимый вред качеству сред и продукции, а также состоянию технологического оборудования, — кварцевый песок, полевой шпат, мел, каолин, керамические суспензии и пр. [1–5].

Ферропримеси способствуют образованию так называемых мушек (точек темного цвета), засорок и других дефектов на лицевой поверхности облицовочных плиток (см. таблицу), которые приводят к снижению сортности продукции, увеличению брака,

снижению ресурса оборудования (особенно при переработке брака), к более частым ремонтам оборудования.

Для принятия решения о целесообразности использования магнитного сепаратора для удаления ферропримесей с диагностикой эффективности его работы, желательно располагать соответствующими целевыми методами контроля железистых примесей — тех из них, которые обладают ферромагнитными свойствами, т. е. способностью к осаждению в магнитном сепараторе.

В настоящее время имеется обширная система методов магнитного контроля. Практикуется сканирующее магнитофоретическое выделение ферропримесей из тонкого слоя анализируемой среды (ГОСТ 23789–79, 25216–82, 23672–79, 8253–79 для ряда строительных

Стандарт	Виды дефектов	Норма для плиток	
		I сорт	II сорт
ГОСТ 6141–91 (СТ СЭВ 2047–88). Плитки керамические глазурованные для внутренней облицовки стен	Мушки	Допускаются невидимые с расстояния 1 м	Допускаются невидимые с расстояния 2 м
	Засорка	Не допускается	Допускается невидимая с расстояния 2 м
ГОСТ 6787–90 (СТ СЭВ 6551–88). Плитки керамические для полов	Мушки	Допускается невидимая с расстояния 1,7 м	
	Выплавка (выгорка)	Допускается не более 1 шт. диаметром не более 2 мм	
ГОСТ 13996–93. Плитки керамические фасадные и ковры из них	Выплавки (выгорки), засорки, мушки, пузыри, прыщи	Не допускаются видимые с расстояния 1 м	



Рис. 1. Массы осадка, выделенного из кварцевого песка (1), двух проб полевого шпата (2 и 3) в каждой операции магнитоконтроля

сред и ГОСТ 20239–74, 1936–85, 12573–67, 13496.9–96 и др. для пищевых продуктов). Подобное выделение ферровключений осуществляется с использованием наклонного желоба [6]. Предпринимаются попытки работы с «неразделяющими» (по аналогии с неразрушающими) методами контроля такого рода включений, т. е. не предусматривающими прямое разделение изучаемого объекта с выделением ферровключений, также основанными на магнитном воздействии на изучаемый объект [7–10].

В [11, 12] изложены основные, ранее не обсуждавшиеся концепции и результаты контроля в развитие методов сканирующего магнитофоретического выделения ферропримесей на примере кварцевого песка и полевого шпата.

Показано, что для кварцевого песка требуемая при осуществлении магнитоконтроля ферропримесей массово-операционная характеристика, т. е. зависимость операционной массы  $m$  выделяемых ферропримесей от порядкового номера  $n$  операции, линеаризуется в полулогарифмических координатах (рис. 1, кривая 1) [11]. Очевидно, что она подчиняется дискретной экспоненте [11, 13], представляющей собой (при  $n=1, 2, 3, \dots$ ) убывающую геометрическую прогрессию. Это позволяет легко и достоверно выполнять соответствующую прогнозную экстраполяцию операционных масс (вплоть до  $n \rightarrow \infty$ ) и непосредственно получить необходимые расчетные формулы общей массы ферропримесей в анализируемой пробе (т. е. фактически выделенной и остаточной) [11, 13].

В отличие от кварцевого песка на соответствующей массово-операционной характеристике магнитоконтроля ферропримесей полевого шпата наблюдается излом (рис. 1, кривые 2, 3) [12], что препятствует прямому использованию расчетных формул, изложенных в [11, 13]. Тем не менее основание придерживаться подобного, лишь несколько измененного подхода к расчету все же имеется. Его рекомендуется базировать на данных экспоненциально убывающей хвостовой части  $m, n$ -характеристики, при этом каждое из значений масс головной части  $m, n$ -характеристики учитывается отдельно [12].

В случае с полевым шпатом при расчете полной массы ферропримесей учитывается не только специфичный вид массово-операционной характеристики магнитоконтроля, но, как и в случае с песком, также исключается погрешность, обусловленная неполным выделением этих примесей при осуществлении реально ограниченного числа операций.

Столь же существенным с точки зрения проявления погрешности метода магнитоконтроля может оказаться

фактор попутного (наряду с феррочастицами) вовлечения частиц анализируемой среды<sup>1</sup>. Роль этого фактора нуждается в количественной оценке. Такую оценку можно осуществить, прибегая сначала к раздельному статистическому учету частиц ферропримесей и частиц анализируемой среды (шпата) посредством гистограмм распределения количества частиц по размерам. Затем их легко преобразовать в объемные или объемно-долевые гистограммы, а с учетом плотности материала — в массовые или массово-долевые гистограммы.

### Оценка доли частиц шпата, вовлекаемых при магнитоконтроле

На рис. 2 приведены осадки, выделенные при осуществлении операций магнитоконтроля полевого шпата. На них отчетливо видны разноразмерные частицы и фракции феррочастиц и вовлеченных частиц шпата.

Для получения количественных данных о представительстве частиц каждой фракции осуществлялась статистическая обработка размеров частиц в осадках, выделенных после выполнения ряда операций магнитоконтроля (выборочно), относящихся к обоим участкам массово-

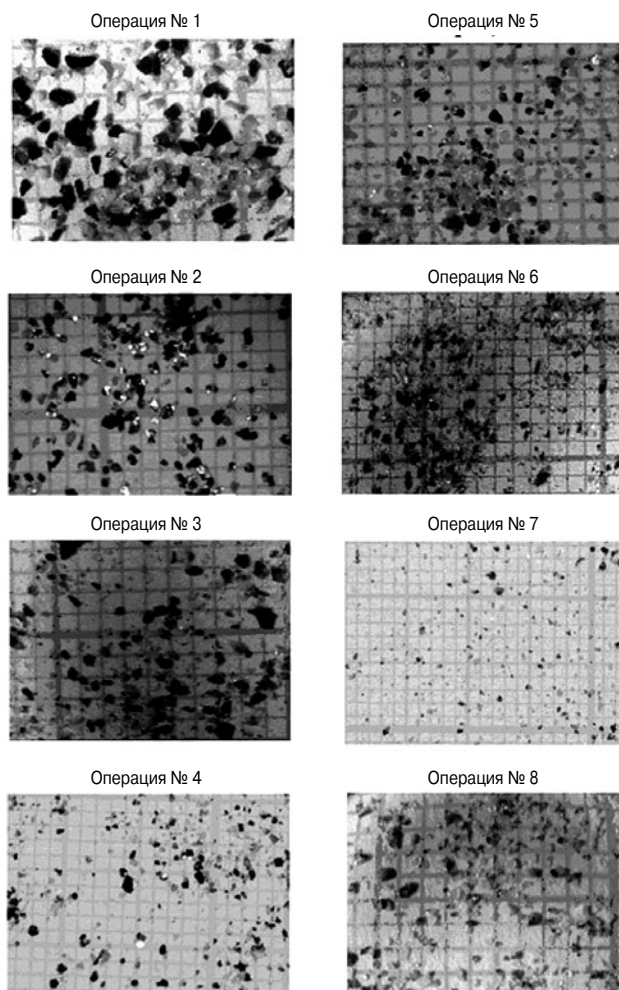


Рис. 2. Фрагменты микроскопии осадков, выделяемых из полевого шпата при осуществлении операций магнитоконтроля, которые содержат как частицы ферропримесей, так и вовлеченные частицы шпата. Ячейка сетки на фото 1x1 мм

<sup>1</sup> Хотя это обстоятельство, обусловленное адгезией, электризацией, взаимным «срашиванием» ферро- и иных частиц, оговаривается, например, ГОСТ 23789-79 и ГОСТ 25216–82) — с изложением рекомендаций по взаимному разграничению обеих фракций дополнительным магнитным воздействием (как показывают специальные опыты, эти рекомендации не дают желаемого эффекта), соответствующая количественная информация не приводится.

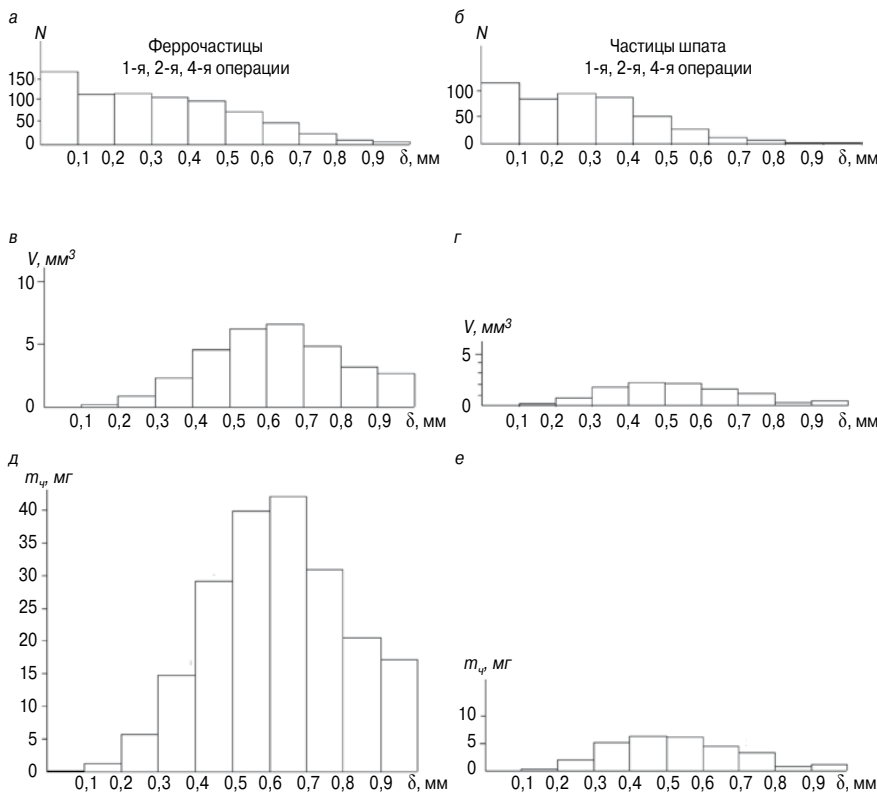


Рис. 3. Объединенные гистограммы распределения контрольных операций №№ 1, 2, 4 : а, б – количества; в, г – объема; д, е – массы частиц ферропримесей (а, в, д) и вовлеченных частиц полевого шпата (б, г, е) по размерам

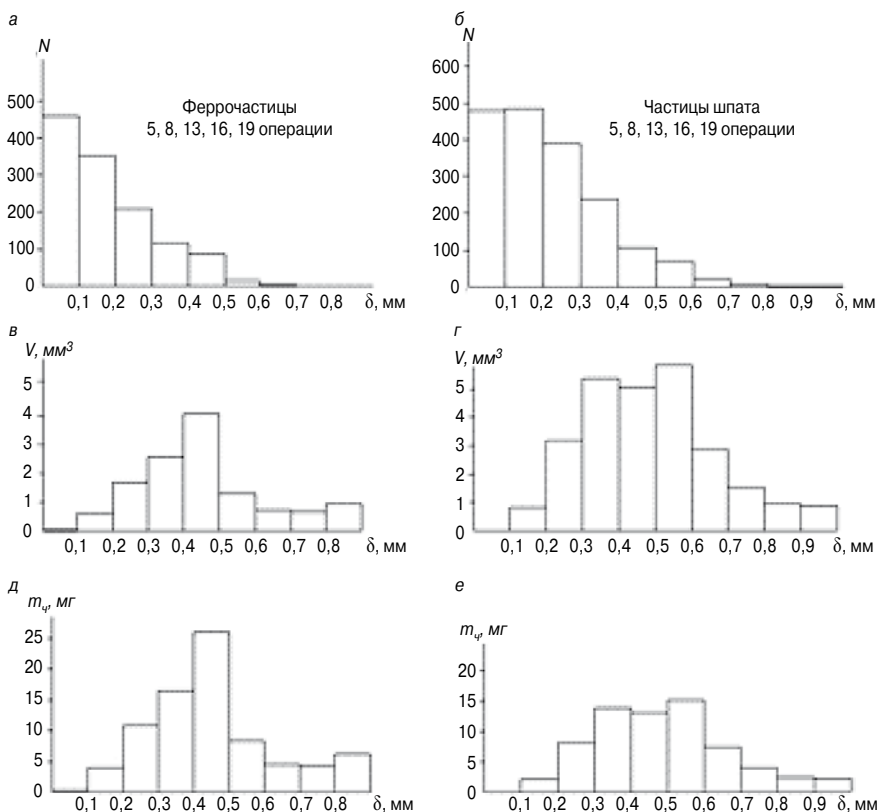


Рис. 4. Объединенные гистограммы распределения контрольных операций №№ 5, 8, 13, 16, 19: а, б – количества; в, г – объема; д, е – массы частиц ферропримесей (а, в, д) и вовлеченных частиц полевого шпата (б, г, е) по размерам

операционной характеристики (рис. 1, линии 2, 3). При этом 1-я 2-я и «переломная» 4-я операции принадлежат к круто нисходящему участку, а 5-я, 8-я, 13-я, 16-я, 19-я операции принадлежат пологому участку.

На рис. 3, а, б, в, г показаны гистограммы количества  $N$  и объема  $V$  присутствующих в выделяемых при магнитоконтроле осадках феррочастиц и вовлеченных частиц полевого шпата – для первой группы операций. При этом здесь и далее для перехода от гистограмм распределения количества частиц  $N$  по размерам  $\delta$  к соответствующим гистограммам распределения объема частиц  $V$ , дающим совершенно иное представление о спектре крупности с позиций реальной значимости частиц тех или иных размеров, следует оценить интервальные составляющие искомым гистограмм. Это совокупные объемы  $V_i = (\pi/6) \cdot \delta_i^3 \cdot N_i$  того количества  $N_i$  условно сферических частиц среднего размера  $\delta_i$  для каждого  $i$ -го интервала гистограммы, которое принадлежит определенному интервалу размеров.

Соответствующие данные совокупных объемов (рис. 3, в, г), будучи умноженными на значения плотности материала феррочастиц (среднее между плотностью оксидов  $5000 \text{ кг/м}^3$  и плотностью железа  $7800 \text{ кг/м}^3$ ) и плотности полевого шпата ( $2600 \text{ кг/м}^3$ ), дают наиболее востребованные данные распределения масс частиц  $m_p$  по размерам (рис. 3, д, е). По этим значениям легко определить массово-долевое присутствие феррочастиц при осуществлении первой группы операций магнитоконтроля в выделенном осадке (рис. 3, д, е), оно составило в среднем  $0,87$  (87%). При этом массово-долевое присутствие частиц шпата в выделенном (при магнитоконтроле) осадке –  $0,13$  (13%).

На рис. 4, а, б, в, г показаны полученные подобным образом гистограммы количества  $N$  и объема  $V$  присутствующих в выделяемых при магнитоконтроле осадках феррочастиц и вовлеченных частиц полевого шпата для второй группы операций. И если перейти к гистограммам соответствующих масс (рис. 4, д, е), то нетрудно убедиться, что массово-долевое присутствие феррочастиц в выделенных осадках составило здесь в среднем  $0,54$  (54%), т. е. меньше, чем для первой группы операций. При этом массово-долевое присутствие частиц шпата в выделенном при магнитоконтроле осадке –  $0,46$  (46%), т. е. больше, чем для первой группы операций.

Чтобы выяснить причины уменьшения долевого присутствия ферро-

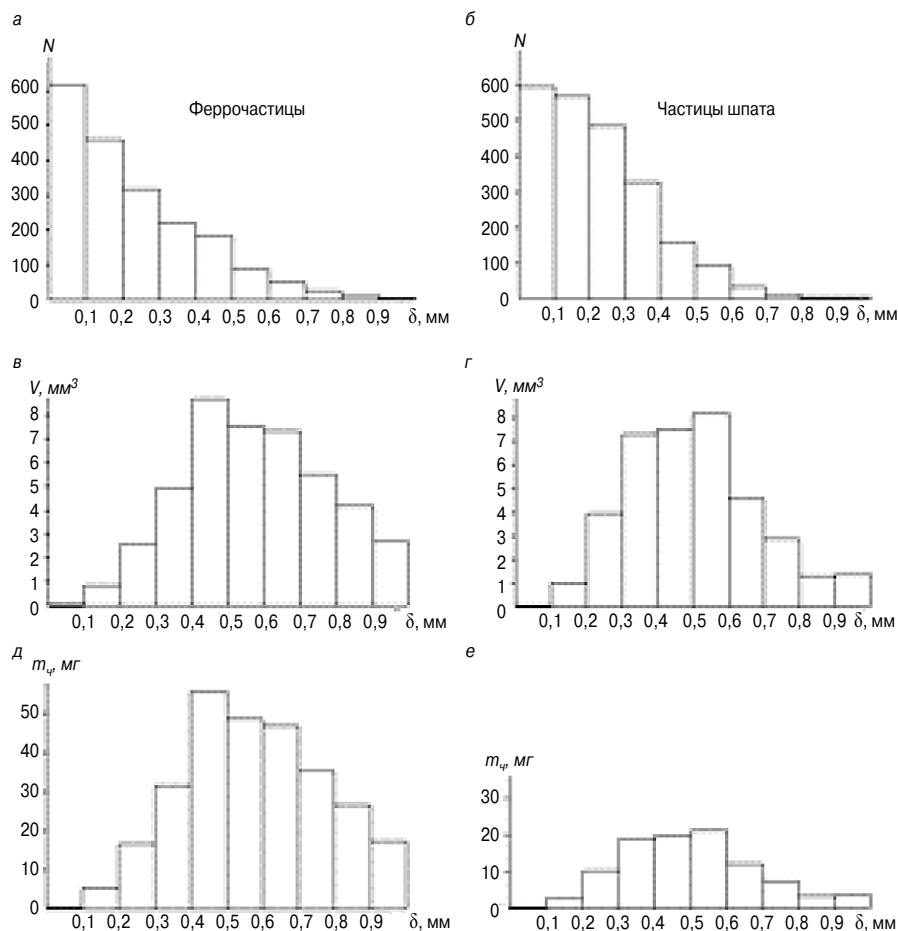


Рис. 5. Объединенные гистограммы распределения по данным рис. 3 и 4 для всех контрольных операций: а, б – количества; в, г – объема; д, е – массы частиц ферропримесей (а, в, д) и вовлеченных частиц полевого шпата (б, г, е) по размерам

частиц и увеличения долевого присутствия частиц полевого шпата в выделяемых при магнитоконтроле осадках во второй группе операций, следует сопоставить данные рис. 3, в, д и рис. 4, в, д. Очевидно, что средние размеры феррочастиц, выделяемых во второй группе операций, меньше, чем в первой. А с уменьшением размеров феррочастиц их склонность к попутному «захвату» частиц полевого шпата, по-видимому, возрастает.

Список литературы

1. Newns A., Pascoe R.D. Influence of path length and slurry velocity on the removal of iron from kaolin using a high gradient magnetic separator // *Minerals Engineering*. 15 (2002). Pp. 465–467.
2. Rayner J.G., Napier-Munn T.J. A mathematical model of concentrate solids content for the wet drum magnetic separator // *International Journal of Mineral Processing*. 70 (2003). Pp. 53–65.
3. Norrgran D. Magnetic filtration: producing fine high-purity feedstocks // *Filtration and Separation*. 45 (6). 2008. Pp. 15–17.
4. Zezulka V., Straka P., Mucha P. A magnetic filter with permanent magnets on the basis of rare earth // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 268 (2004). Pp. 219–226.
5. Сандуляк А.В., Сандуляк А.А., Ершов Д.В. и др. Магнитная сепарация сырья для производства стекла и керамики. Проблемы контроля железистых примесей (обзор) // *Стекло и керамика*. 2012. № 6. С. 29–34.

На рис. 5 показаны обобщенные гистограммы – для всех рассматриваемых операций (первой и второй групп вместе). На основании же гистограмм соответствующих масс (рис. 5, д, е) можно найти долевого присутствие феррочастиц в выделенных осадках в целом – это значение составляет 0,72 (72%).

Одновременно по тем гистограммам, которые характеризуют именно феррочастицы (рис. 5, а, в, д), можно достаточно объективно судить о представительстве в полевом шпате феррочастиц тех или иных размеров, правда, без учета информации об остаточных (не выделенных в опытах) феррочастицах. Так, по преимущественному вкладу в суммарный объем и суммарную массу, как это видно на рис. 5, в, д, доминирующая роль принадлежит частицам размерами от 0,3 до 0,9 мм. Это заключение отличается от мнения, основывающегося на данных рис. 5, а, т. е. на обычной в подобных случаях гистограмме распределения количества частиц, о доминирующей роли частиц размерами до 0,3–0,5 мм.

**Выводы.** При магнитоконтроле ферропримесей полевого шпата, заключающемся в получении массово-операционной характеристики, на ее графическом изображении наблюдается излом, обусловленный присутствием в полевом шпате ферропримесей широкого спектра крупности. Микроскопия осадка, получаемого в различных операциях магнитоконтроля, подтверждает факт неизбежного попутного вовлечения частиц шпата. Это явление негативно отражается на точности контроля. Следовательно, при осуществлении магнитоконтроля ферропримесей в различных средах необходимо оценивать долю вовлеченных частиц анализируемой среды для последующего обязательного уточнения массово-операционных характеристик магнито-контроля.

References

1. Newns A., Pascoe R.D. Influence of path length and slurry velocity on the removal of iron from kaolin using a high gradient magnetic separator. *Minerals Engineering*. 15 (2002), pp. 465–467.
2. Rayner J.G., Napier-Munn T.J. A mathematical model of concentrate solids content for the wet drum magnetic separator. *International Journal of Mineral Processing*. 70 (2003), pp. 53–65.
3. Norrgran D. Magnetic filtration: producing fine high-purity feedstocks. *Filtration and Separation*. 2008. 45 (6), pp. 15–17.
4. Zezulka V., Straka P., Mucha P. A magnetic filter with permanent magnets on the basis of rare earth. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 268 (2004), pp. 219–226.
5. Sandulyak A.V., Sandulyak A.A., Ershov D.V. and others. Magnetic separation of raw materials for glass and ceramics production. Problems of control of ferro impurities. *Steklo i keramika*. 2012. No. 6, pp. 29–34 (In Russian).

6. А. с. СССР 1461506. Магнитный анализатор / Рожков И.М., Кармазин В.В. Оpubл. 28.02.1989.
7. Сандуляк А.В. *Магнитно-фильтрационная очистка жидкостей и газов*. М.: Химия. 1988. 133 с.
8. Patent 4492921 US. *Method of Determining the Quantity of Solid Fraction of Ferromagnetic Matter in a Fluid* / Sandulyak A.V., Garaschenko V.I., Korkhov O.J. 1985.
9. Патент РФ 2164019. *Способ определения концентрации ферромагнитных частиц в жидкости* / Суслин М.А., Дмитриев Д.А. // Заявл. 20.02.2000. Оpubл. 10.03.2001.
10. Shkatov P. Combining eddy-current and magnetic methods for the defectoscopy of ferromagnetic materials // *Nondestructive Testing and Evaluation*. Vol. 28. Issue 2. June 2013. Pp. 155–165.
11. Сандуляк А.В., Орешкин Д.В., Сандуляк А.А. и др. Результаты нелимитированного сканирующего магнитоконтроля ферропримесей кварцевого песка // *Строительные материалы*. 2012. № 4. С. 80–83.
12. Ершова В.А., Сандуляк А.В., Сандуляк А.А., Мирсаитов С.Ф. Результаты магнитоконтроля ферропримесей полевого шпата // *Стекло и керамика*. 2013. № 12.
13. Патент РФ 2409425. *Способ определения концентрации магнитовосприимчивых примесей в текучей среде* / Сандуляк А.В., Пугачева М.Н., Сандуляк А.А. и др. // Заявл. 19.06.2009. Оpubл. 20.01.2011. Б.И. № 2.
6. Avtorskoye svidetelstvo USSR 1461506. *Magnitniy analizator [Magnetic analyzer]*. Rozhkov I.M., Karmazin V.V. Published 28.02.1989 (In Russian).
7. Sandulyak A.V. *Magnitno-fil'trazionnaya ochistka zhidkostei i gazov [Magnetic-filtration cleaning of liquids and gas]*. M.: Khimiya. 1988. 133 p. (In Russian).
8. Patent 4492921 US. *Method of Determining the Quantity of Solid Fraction of Ferromagnetic Matter in a Fluid*. Sandulyak A.V., Garaschenko V.I., Korkhov O.J. Published 1985.
9. Patent RF 2164019. *Sposob opredeleniya koncentrazii ferromagnitnykh chastiz v zhidkosti [Method of determining of concentration of ferromagnetic particles in liquid]*. Suslin M.A., Dmitriev D.A. Declared 20.02.2000 Published 10.03.2001 (In Russian).
10. Shkatov P. Combining eddy-current and magnetic methods for the defectoscopy of ferromagnetic materials. *Nondestructive Testing and Evaluation*. Vol. 28. Issue 2. June 2013, pp. 155–165.
11. Sandulyak A.V., Oreshkin D.V., Sandulyak A.A. and others. Results of non-limited scanning magnetic control of ferroimpurities in quartz sand. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2012. No. 4, pp. 80–83 (In Russian).
12. Ershova V., Sandulyak A.V., Sandulyak A.A., Mirsaitov S.F. Results of magnetic control of ferroimpurities in feldspar. *Steklo i keramika*. 2013. No. 12. (In Russian)
13. Patent RF 2409425. *Sposob opredeleniya koncentrazii magnitovospriimchivykh primesey v tekuchey srede [Method of determining of concentration of magnetic susceptible impurities in liquid medium]*. Sandulyak A.V., Pugacheva M.N., Sandulyak A.A. and others. Declared 19.06.2009 Published 20.01.2011 (In Russian).






13-17 МАЯ 2014

## СТРОЙ-КОМПЛЕКС РЕГИОНОВ РОССИИ

**Официальная поддержка:**  
 Правительство Пермского края  
 Администрация города Перми  
 Российский Союз промышленников и предпринимателей  
 Союз строителей Урала  
 Ассоциация деревянного домостроения  
 Координационный совет саморегулируемых организаций изыскателей, проектировщиков и строителей Пермского края  
 Ассоциация «Пермские строители»



**20-й международный специализированный строительный салон** современных технологий и оборудования для стройиндустрии, дорожно-строительной техники, инженерных сетей, а также строительных и отделочных материалов

**В РАМКАХ СТРОИТЕЛЬНОГО САЛОНА:**

**Спецпроект «ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»**

**Спецпроект «ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И КОММУНИКАЦИИ»**  
 Специализированная выставка систем и технологий внутридомового отопления, водоснабжения, газоснабжения, канализации, кондиционирования и вентиляции, а также электрооборудования

**Спецпроект «ОТКРЫТИЕ: ОКНА И ДВЕРИ»**  
 Специализированная выставка оконных и дверных конструкций, ворот, арочных систем, входных групп, а также элементов фурнитуры и крепежа

**Спецпроект «МАЛОЭТАЖНОЕ И ДЕРЕВЯННОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ»**  
 Специализированная выставка технологий малоэтажного и деревянного домостроения



ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
**ПЕРМСКАЯ ЯРМАКА**

Место проведения  
 Специализированный выставочный комплекс «Пермская ярмарка»

614077, Россия, Пермь,  
 бульвар Гагарина, 65  
 (+7 342) 262-58-72  
[www.exporperm.ru](http://www.exporperm.ru)

**Время работы выставки**  
 13 мая: 12.00-19.00  
 14-16 мая: 10.00-19.00  
 17 мая: 10.00-17.00

# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья — это сочинение небольшого размера (до 3-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 журнала «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.

### НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

### ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

**ВНИМАНИЕ! С 1 января 2014 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!**

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- 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); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «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.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)

**Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/7>**