

**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

№6

Основан в 1955 г.

(714) июнь 2014 г.

**Главный редактор:**

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

**Редакционный совет:**

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

**ЛЕОНИВИЧ С. Н.**,  
 д-р техн. наук, профессор, (Беларусь)

**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,  
 член-корреспондент РААСН  
 (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)

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,  
 журнал «Строительные материалы»®, 2014

**Пенобетон: наука и практика**

**А.В. СВИНАРЁВ, А.М. ГЛУШКОВ, В.Д. ТЫСЯЧУК, А.А. КУПРИНА**  
**Технологический модуль ТМ-25 для производства неавтоклавных**  
**фибропенобетонных изделий..... 4**

**И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, С.Г. МАКАРОВ**  
**Производство четырехсторонних пазогребневых блоков ..... 8**

**А.Б. ЛИПИЛИН, Н.В. КОРЕНЮГИНА**  
**Дезинтегратор мокрого помола в производстве неавтоклавно**  
**пенобетона ..... 10**

**В.В. ЕФРЕМЕНКОВ, В.А. БАБАНИН**  
**ЗАО «СТРОМИЗМЕРИТЕЛЬ» – комплексный подход к проектированию,**  
**реконструкции и строительству предприятий по производству**  
**строительных материалов ..... 12**

**В.Н. МОРГУН, Л.В. МОРГУН, К.И. КОСТЫЛЕНКО**  
**Эволюция структуры дисперсной газовой фазы при изготовлении**  
**пенобетонной смеси ..... 15**

**Л.Г. ГЕРАСИМОВА, М.В. МАСЛОВА, А.А. ПАК, Р.Н. СУХОРОКОВА**  
**Использование цветных наполнителей при изготовлении**  
**стеновых блоков из полистиролгазобетона ..... 18**

**Нанотехнологии в строительстве**

**Нанотехнологии для решения конкретных задач строительства (Информация) ..... 22**

**В.В. СТРОКОВА, В.В. НЕЛЮБОВА, Н.С. ДАНАКИН, В.А. ВАСНЕВА**  
**Опыт реализации концепции непрерывной подготовки специалистов**  
**«школа – вуз – предприятие» в области наносистем в строительном**  
**материаловедении. .... 25**

**Е.В. КОРОЛЕВ**  
**Оценка концентрации первичных наноматериалов**  
**для модифицирования строительных композитов ..... 31**

**А. Ф. ГОРДИНА, И.С. ПОЛЯНСКИХ, Ю.В. ТОКАРЕВ, А.Ф. БУРЬЯНОВ, С.А. СЕНЬКОВ**  
**Водостойкие гипсовые материалы, модифицированные цементом,**  
**микркремнеземом и наноструктурами. .... 35**

**Н.К. СКРИПНИКОВА, Н.А. САЗОНОВА**  
**Прочность цементного камня на основе наноструктурированного**  
**вяжущего вещества ..... 38**

**Материалы и технологии**

**Л.А. ВАЙСБЕРГ, Е.Е. КАМЕНЕВА**  
**Исследование состава и физико-механических свойств**  
**вторичного щебня из дробленого бетона. .... 41**

**MosBuild-2014 – 20 лет успеха (Информация) ..... 46**

**А. ФЕЛЬБЕР**  
**Различные технологии производства автоклавного газобетона.**  
**Преимущества и недостатки ..... 48**

**ПЕНОПЛЭКС СЕНА® в малоэтажном домостроении (Информация) ..... 50**

**Структурное усиление железобетонных конструкций**  
**компании Sika (Информация) ..... 52**

**А.Г. ЕВГЕНЬЕВА**  
**Особенности оценки асфальтобетонного материала**  
**для производства работ по технологии холодного ресайклинга ..... 54**

**Адрес редакции:** Россия, 127434, Москва,  
 Дмитровское ш., д. 9, стр. 3  
**Тел./факс:** (499) 976-22-08, (499) 976-20-36  
**E-mail:** mail@rifsm.ru **http://www.rifsm.ru**

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка и воспроизведение статей, рекламных и иллюстративных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.

**Founder of the journal:**  
«STROYMATERIALY»  
Advertising-Publishing Firm, OOO

The journal is registered  
by the RF Ministry of Press,  
Broadcasting and Mass  
Communications,  
PI № 77–1989

# Monthly scientific-technical and industrial journal

# STROITEL'NYE MATERIALY® No. 6

Founded in 1955

(714) June 2014 r.

## Editor-in-chief

**YUMASHEVA E.**,  
engineer-chemist-technologist,  
Honorary Builder of Russia

## Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**LEONOVICH S.**,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
Professor (Belarus, Minsk)

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

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

**PICHUGIN A.**,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
Professor, Member of the Russian Academy  
of Natural Sciences (Novosibirsk),

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

**FEDOSOV S.**,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
Professor, Academician of RAACS (Ivanovo)

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

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

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

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

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

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

## Foam Concrete: Science and Practice

A.V. SVINAREV, A.M. GLUSHKOV, V.D. TYSYACHUK, A.A. KUPRINA

**Technological Module TM-25 for Manufacturing Non-Autoclaved Fiber  
Foam Concrete Products** ..... 4

I.F. SHLEGEL', S.G. MAKAROV

**Manufacture of Four-Sided Tongue-and-Groove Blocks** ..... 8

A.B. LIPILIN, N.V. KORENYUGINA

**Disintegrator of Wet Milling in Production of Non-Autoclaved Foam Concrete**..... 10

V.V. EFREMENKOV, V.A. BABANIN

**ZAO «STROYIZMERITEL» – a Complex Approach to Designing,  
Reconstruction and Construction of Building Materials Enterprises** ..... 12

V.N. MORGUN, L.V. MORGUN, K.I. KOSTYLENKO

**Structural Evolution of a Disperse Gas Phase when Producing Foam Concrete Mix** .... 15

L.G. GERASIMOVA, M.V. MASLOVA, A.A. PAK, R.N. SUKHORUKOVA

**The use of Color Fillers when Producing Wall Blocks from Polystyrene Gas Concrete** ... 18

## Nanotechnologies in construction

**Nanotechnology for solve specific problems of construction (Information)**..... 22

V.V. STROKOVA, V.V. NELUBOVA, N.S. DANAKIN, V.A. VASNEVA

**Experience of Implementation of Continuous Training of Specialists  
«School – University – Enterprise» in the Field of Nanosystems  
in Building Materials** ..... 25

E.V. KOROLEV

**Assessment of Primary Nano-materials Concentration for Modification  
of Building Composites** ..... 31

A.F. GORDINA, I.S. POLYANSKIKH, Yu.V. TOKAREV, A.F. BUR'YANOV, S.A. SEN'KOV

**Waterproof Gypsum Materials Modified by Cement, Microsilica,  
and Nanostructures** ..... 35

N.K. SKRIPNIKOVA, N.A. SAZONOVA

**Strength of Cement Stone on the Basis of a Nano-Structured Binding Agent** ..... 38

## Materials and technologies

L.A. VAYSBERG, E.E. KAMENEVA

**Study of Composition and Physical-Mechanical Properties of Secondary Crushed  
Stone from Crushed Concrete** ..... 41

**MosBuild-2014: 20 Years of Success (Information)** ..... 46

A. FELBER

**Various Technologies of Production of Autoclaved Gas Concrete.  
Advantages and Shortcomings** ..... 48

**PENOPLEX STENA® in Low-Rise Housing Construction (Information)**..... 50

**Structural Strengthening of Sika Co.'s Reinforced Concrete Structures (Information)**... 52

A.G. EVGEN'EVA

**Features of assessing asphalt concrete material for execution  
of works according to cold recycling technology** ..... 54

O.D. SAMARIN

**Calculation of specific heat losses through non-linear thermotechnical  
inhomogeneities when using the revised edition of SNiP 23-02-2003** ..... 58

# Строительные материалы № 6

О.Д. САМАРИН

Расчет удельных теплопотерь через линейные теплотехнические неоднородности при использовании актуализированной редакции СНиП 23-02-2003 ..... 58

В.С. РОЙФЕ

Развитие методики неразрушающего контроля теплотехнического состояния ограждающих конструкций зданий ..... 60

С.Н. ЛЕОНОВИЧ, Н.Л. ПОЛЕЙКО, Л.С. КУРАШ

Применение крупного заполнителя производства ОАО «Нерудпром» для приготовления бетона ..... 63

## Результаты научных исследований

О.Б. РУДАКОВ, Е.А. ХОРОХОРДИНА, ЧАН ХАЙ ДАНГ

Тонкослойная хроматография и цветометрия в контроле фенольного индекса отделочных строительных материалов ..... 66

А.В. НОСОВ, Т.Н. ЧЕРНЫХ, Л.Я. КРАМАР

Эффективность различных добавок-интенсификаторов при обжиге доломитов ..... 71

# Stroite'nye Materialy No. 6

V.S.ROYFE

Development of the Method of Nondestructive Control Heattechnical Condition of Protecting Construktions of Buildings ..... 60

S.N. LEONOVICH, N.L. POLEYKO, L.S. KURASH

The Use of Coarse Aggregate Produced by ОАО "Nerudprom" for Concrete Preparation ..... 63

## Results of scientific research

O.B. RUDAKOV, E.A. KHOROKHORDINA, CHAN HAI DANG

Thin-layer chromatography and colorimetry for control of phenol index of finishing building materials ..... 66

A.V. NOSOV, T.N. CHERNYKH, L.Ya. KRAMAR

Efficiency of Various Additives-Intensifiers in the Process of Dolomites Burning ..... 71

## Уважаемые коллеги!

Вы держите в руках журнал «Строительные материалы» № 6, который завершает подписной период I полугодия 2014 г. Если вы еще не подписались на II полугодие 2014 г., то сделать это можно в редакции на все полугодие или на почте.

Для подписки через редакцию необходимо прислать заявку в произвольной форме по тел./факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36 или по эл. почте: mail@rifsm.ru. В заявке надо указать название организации (для выставления счета), юридический и почтовый адреса, телефон и контактное лицо.

Открыта подписка на электронную версию журнала: <http://ejournal.rifsm.ru/>



На почте подписку можно оформить:

По объединенному каталогу «Пресса России»

индекс **70886**



По каталогу агентства «Роспечать»

индекс **79809**

Оставайтесь  
с нами!

УДК 691.327.333

А.В. СВИНАРЁВ<sup>1</sup>, директор; А.М. ГЛУШКОВ<sup>2</sup>, директор;  
В.Д. ТЫСЯЧУК<sup>3</sup>, директор, А.А. КУПРИНА<sup>3</sup>, инженер-технолог

<sup>1</sup> ООО «Экспериментальный цех «Экостройматериалы» (308501, Белгородская обл., Белгородский р-н, п. Дубовое, ул. Заводская, 4-д)

<sup>2</sup> НПФ «ТехноСтроМ» (248000, г. Калуга, ул. Плеханова, 96)

<sup>3</sup> ООО «Экостройматериалы» (308013, г. Белгород, Михайловское ш., 5)

## Технологический модуль ТМ-25 для производства неавтоклавных фибропенобетонных изделий

Разработана и запущена новая технологическая линия по производству фибропенобетонных изделий при минимальных капитальных вложениях. Линия по уровню автоматизации сопоставима с технологическими линиями по выпуску автоклавных ячеистых бетонов. В проекте использованы передовые технологические решения. Для получения фибропенобетонной смеси установлен модернизированный пенобетоносмеситель серии СПБУ-1000-ЛЮКС производства ООО «Экостройматериалы», обеспечивающий получение микропористой структуры фибропенобетонной смеси. В конвейерной технологии производства используется принцип тепловой самотермообработки фибропенобетона за счет внутреннего энергетического потенциала гидратации твердеющего цемента в формах большого объема, что снижает энергозатраты на производство. Налажен выпуск мелкоштучных фибропенобетонных блоков высокой прочности с незначительной усадкой, малым водопоглощением и повышенной морозостойкостью. Представленный технологический модуль обеспечивает наибольшую оборачиваемость форм, максимальное использование технологического оборудования, стабильность свойств и качества готовой продукции.

**Ключевые слова:** фибропенобетонные изделия, конвейерная технология, автоматизированный модуль, неавтоклавный пенобетон.

A.V. SVINAREV<sup>1</sup>, Director; A.M. GLUSHKOV<sup>2</sup>, Director; V.D. TYSYACHUK<sup>3</sup>, Director, A.A. KUPRINA<sup>3</sup>, Process Engineer

<sup>1</sup> ООО «Experimental plant «Ekostroymaterialy» (4-d, Zavodskaya Street, Dubovoe Township, Belgorod District, Belgorod Region, 308501, Russian Federation)

<sup>2</sup> NPF «Technostrom» (96, Plehanova Street, Kaluga, 248000, Russian Federation)

<sup>3</sup> ООО «Ekostroymaterialy» (5, Mikhailovskoe Highway, Belgorod, 308013, Russian Federation)

### Technological Module TM-25 for Manufacturing Non-Autoclaved Fiber Foam Concrete Products

A new production line for manufacturing fibre-foam concrete products has been developed and launched with minimal capital investments. From the point of view of the automation level and quality of products manufactured this line is comparable with the lines for manufacturing autoclaved cellular concretes. Advanced technological solutions are used in this project. To produce a fibre-foam-concrete mix the improved foam concrete mixers of SPBU-1000LUX type manufactured by ООО «Ekostroymaterialy» which ensure the obtaining of a micro-porous structure of the block are used. The principle of heat self-thermal treatment of fibre foam cement due to the internal energy potential of hydration of hardening cement in large-volume forms is used in the conveyor technology that reduces the energy consumption for production. The production of a small piece fibre foam concrete block of high strength with insignificant shrinkage, low water absorption and high frost resistance has been started. The technological module presented ensures the maximum reuse of forms, maximum use of technological equipment, stability of properties and quality of finished goods.

**Keywords:** fibre foam concrete products, conveyor technology, automated module.

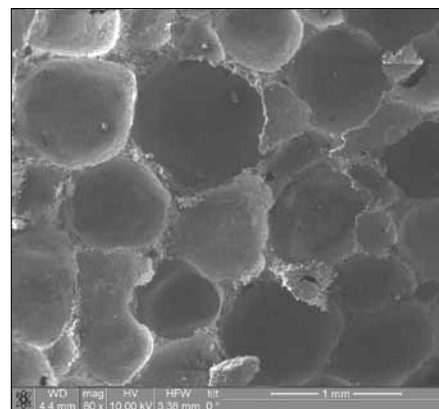
Развитие российской строительной индустрии в ходе мирового промышленного кризиса показывает, что производство ячеистых бетонов (как автоклавного так и неавтоклавного твердения) не только не пострадало, а скорее получило дополнительный толчок для дальнейшего совершенствования. Доля автоклавных ячеистых бетонов, находящихся в ряду строительных материалов для ограждающих конструкций в многоэтажных каркасных зданиях, постоянно растет. Надо отметить, что в

большей части спрос на ячеистые бетоны удовлетворяется производителями автоклавного газобетона.

Вместе с тем автоклавному газобетону есть альтернатива — неавтоклавный ячеистый бетон. Всем интересующимся этим вопросом представителям отрасли производства строительных материалов известны плюсы данного материала [1–3]. Неавтоклавные ячеистые бетоны отличаются низким водопоглощением, низкими капитальными вложениями в оборудование



**Рис. 1.** Смесители для подготовки массы пенобетона СПБУ-1000-ЛЮКС производства ООО «Экостройматериалы»



**Рис. 2.** Структура фибропенобетона



Рис. 3. Склад готовой продукции

и освоение производства. Оборудование и сырьевые материалы производятся на территории Российской Федерации отечественными производителями. Так что же мешает неавтоклавным пенобетонам расширить нишу на рынке строительных материалов? Есть две основные причины, первая из которых характерная для всех цементных материалов влажностная усадка. В рамках этой статьи мы не будем рассматривать существующие способы устранения, либо минимизации этого явления. Отметим только, что способы существуют [4–5]. Второй причиной является недостаточно развитое производство отечественного оборудования для изготовления мелкоштучных изделий из неавтоклавного пенобетона. Большинство производств представляет собой набор, в лучшем случае механизированных агрегатов, которые не могут обеспечить организацию промышленного производства данного вида продукции.

Специалистами компаний НПФ «ТехноСтроМ» совместно с ООО «Экостройматериалы» была разработана, изготовлена и запущена на РБЗ-1 (г. Дубна, Московская обл.) в эксплуатацию линия по производству пенобетонных блоков с максимально возможной на сегодняшний день степенью автоматизации.

Процесс производства фибропенобетонных изделий состоит из приготовления пенобетонной смеси, формования пенобетонного массива, его предварительной тепловой обработки для достижения пластической прочности, необходимой для резки его на изделия заданных размеров твердения изделий до достижения требуемых прочностных и других характеристик и последующей упаковки готовой продукции. Качество продукции, технико-экономические показатели и эффективность работы предприятия в целом определяются главным образом, принятой технологией производства. Поэтому принципиальным является использование в данном проекте самых передовых технологических решений. Для получения фибропенобетонной смеси линия укомплектована высокоскоростным пенобетоносмесителем-активатором серии СПБУ-1000-ЛЮКС (рис. 1) производства ООО «Экостройматериалы», в котором используется принцип объемной гидроактивации компонентов смеси. В результате образуется ультрамикropористый фибропенобетон с тонкими межпоровыми оболочками (рис. 2). Особо следует отметить минимальный расход пенообразователя, составляющий 200–300 мл стандартного синтетического пенообразователя на  $1 \text{ м}^3$  фибропенобетонной смеси. Это позволяет свести к минимуму «отравляющее» действие поверхностно-активных веществ на гидратацию портландцемента, получая фибропенобетоны повышенной прочности, направленно получать мелкопористую структуру фибропенобетонного камня, снизить теплопрово-

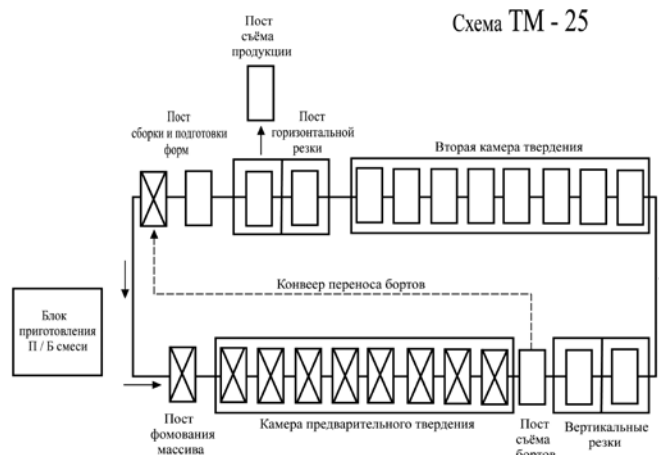


Рис. 4. Схема автоматизированного технологического модуля ТМ-25 по производству фибропенобетонных изделий

дность и водопоглощение, повысить морозостойкость фибропенобетонного камня.

В данной технологии производства эффективно используется принцип тепловой самотермообработки фибропенобетона за счет внутреннего энергетического потенциала гидратации твердеющего цемента [6–7] в формах большого ( $1,32 \text{ м}^3$ ) объема, который был исследован и отработан НПФ «ТехноСтроМ». Кроме непосредственного уменьшения энергозатрат на производство регулирование температурного градиента в твердеющем пенобетонном массиве дает возможность максимально уменьшить деструктивные процессы в нем, возникающие при гидратации портландцемента. Это позволяет максимально использовать потенциал вяжущего для получения высокопрочных низкоусадочных пенобетонов.

Более чем двухлетняя эксплуатация оборудования этой линии и технологии показала, что они являются удачными и сопоставимыми по уровню автоматизации с аналогичными линиями иностранного производства для изготовления автоклавного газобетона. На предприятии выпускаются мелкоштучные пенобетонные блоки 1-й категории по ГОСТ 21520-89 с размерами  $198 \times 295 \times 598 \text{ мм}$  и  $98 \times 295 \times 598 \text{ мм}$  с маркой по средней плотности Д600 и классом по прочности В1 (1,5 МПа), В1,5 (20 МПа). Отклонения геометрических размеров не превышают 1 мм по длине блока. Морозостойкость производимых блоков от 50 до 75 циклов, усадка при высыхании ниже заданных ГОСТ 25485–89  $3 - 1,5 \text{ мм/м}$  (рис. 3).

На основе этого опыта нами разработан полностью автоматизированный технологический модуль ТМ-25 по производству неавтоклавных фибропенобетонных изделий мощностью 25 тыс  $\text{м}^3/\text{год}$  (рис. 4). В нем предусмотрена конвейерная технология производства фибропенобетонных изделий, как наиболее технологически и экономически целесообразная для данной мощности предприятия. Она обеспечивает наибольшую оборачиваемость форм, максимальное использование технологического оборудования, стабильность свойств и качества готовой продукции. Конвейер производства фибропенобетонных изделий представляет собой замкнутый рельсовый путь, расположенный на уровне пола, по которому передвигаются формы-тележки с изделиями. Конвейер подразделяется на две технологические линии, которые приводятся в движение речными толкателями, как наиболее простым и надежным механизмом

Первая технологическая линия состоит из поста формования массива, камеры предварительного твердения, постов съема бортов и вертикальной резки фибропенобетонного массива. Резку массива осуществляют на резательной машине (рис. 5), оснащенной либо струнами, либо ленточными пилами.

Вторая технологическая линия состоит из камеры окончательного твердения фибропенобетонных изделий, постов горизонтальной резки фибропенобетонного массива (горизонтальная резка осуществляется ленточными пилами), съема продукции, сборки и подготовки форм.

Технологические линии связаны между собой двумя передаточными механизмами, которые состоят из передаточных тележек и рельсовых путей. Работа всех технологических линий и передаточных механизмов синхронизирована и управляется автоматически программой компьютера.

Посты съема бортов и вертикальной резки фибропенобетонного массива объединены в единый блок механизмов с четырехпозиционным шаговым конвейером, который перемещает каждую из форм, выходящую из камеры предварительного твердения, на одинаковый интервал, равный 2,5 м. В результате тележки последовательно, с заданным ритмом, синхронно проходят посты съема борта, поперечной и продольной вертикальной резки и последним перемещением попадают на передаточный механизм, откуда тележка с изделиями передается на вторую линию.

Снятые борта отдельным конвейером подают на пост сборки форм. В начале второй линии конвейера расположена вторая камера твердения и после которой расположены посты горизонтальной резки и съема продукции с двухпозиционным шаговым конвейером. Далее следуют посты сборки и подготовки форм.

Ниже уровня пола под постами горизонтальной резки, съема продукции и подготовки форм находится ленточный конвейер для сбора шлама от резки массивов и чистки форм. Весь собранный шлам после переработки возвращается в технологический процесс в качестве высокоактивного наполнителя фибропенобетонной смеси.

Собранные и подготовленные формы подаются передаточным механизмом на пост формования массива первой технологической линии. Следует обратить осо-



**Рис. 5.** Резательная машина

бое внимание на то, что разборка-сборка форм, смазка проводятся автоматически, без привлечения ручного непроизводительного и дорогостоящего труда.

Блок приготовления фибропенобетонной смеси состоит из силосов цемента, бункеров песка и шлама, установки переработки шлама, системы подачи и дозирования компонентов фибропенобетонной смеси, пенобетоносмесителей-активаторов СПБУ-1000-ЛЮКС.

Для увеличения производительности предприятий, возможна установка необходимого количества автономных модулей.

Подводя итоги, подчеркиваем, что разработанный технологический модуль является удачным с точки зрения получения высококачественных фибропенобетонных блоков и сопоставим по уровню автоматизации с линиями по производству автоклавного газобетона. Еще недавно подобное утверждение было просто невозможно.

**Список литературы**

1. Левченко В.Н., Гринфельд Г.И. Производство автоклавного газобетона в России: перспективы развития подотрасли // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 44–47.
2. Баев М.Н., Шукина Ю.В. Теплоизоляционный неавтоклавный пенобетон с повышенными характеристиками // *Ползуновский вестник*. 2011. № 1. С. 35–37.
3. Баранов И.М. Прочность неавтоклавного пенобетона и возможные пути ее повышения // *Строительные материалы*. 2008. № 1. С. 26–30.
4. Перфилов В.А., Аткина А.В., Кусмарцева О.А. Применение модифицирующих микроармирующих компонентов для повышения прочности ячеистых материалов // *Известия вузов. Строительство*. 2010. № 9. С. 11–14.
5. Патент РФ 2422408. Сырьевая смесь для изготовления ячеистых материалов и способ ее приготовления / Перфилов В.А., Котляревская А.В., Кусмарцева О.А. Заявл. 30.04.2010. Опубл. 27.06.2011. Бюл. № 18.
6. Suleymanova L.A. Non-autoclaved aerated concrete at composite binding. *Ibausil: 18. Internationale Baustofftagung. Weimar*. 2012. B. 2. P. 2-0830–2-0835.
7. Моргун Л.В., Смирнова П.В., Бацман М.О. Управление скоростью структурообразования пенобетонных смесей с помощью температурного фактора. *Материалы МНПК «Пенобетон-2007»*. СПб: СПбГУПС. 2007. С. 48–56.
8. Лотов В.А. Движущая сила процесса гидратации и твердения цемента. *Сб. докладов 3(11) международного совещания по химии и технологии цемента*. Москва. 27–29 октября 2009. С. 137–140.

**References**

1. Levchenko V.N., Grinfeld G.I. Autoclaved aerated concrete production in Russia: Prospects for Development subsector. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 9, pp. 12–14. (In Russian).
2. Bayev M. N., Schukina Yu.V. Advanced heat-insulating non-autoclaved foam-concrete. *Polzunovskii Vestnik*. 2011. No. 1, pp. 35–37. (In Russian).
3. Baranov I.M. Strength of non-autoclave foam concrete and possible ways of her increase // *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 1, pp. 26–30. (In Russian).
4. Perfilov V.A. Atkina A.B. Kusmartseva O.A. Compressive strength of cellular materials increased by application of modifying microreinforcing components. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2010. No. 9, pp. 11–14. (In Russian).
5. Patent RF 2422408. *Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya yacheistykh materialov i sposob ee prigotovleniya* [Raw mix for production of cellular materials and her mixing method] / Perfilov V.A. Kotlyarevsky A.B. Kusmartseva O.A. Declared 30.04.2010. Published 27.06.2011. Bulletin No. 18. (In Russian).
6. Suleymanova L.A. Non-autoclaved aerated concrete at composite binding. *Ibausil: 18. Internationale Baustofftagung. Weimar*. 2012. Book. 2, pp. 2-0830–2-0835.
7. Morgun L.V. Smirnova P. V., Batsman M. O. Speed control of structurization of foam-concrete mixes by means of a temperature factor. *Materials MNPK «Foam concrete-2007»*. SPb: SPbGYPS. 2007, pp. 48–56. (In Russian).
8. Lotov V.A. Driving force of process of hydration and cement curing. *Collection of reports 3(11) International Meeting on chemistry and to technology of cement*. Moscow. October 27–29, 2009, pp. 137–140. (In Russian).

## ООО «ЭКСТРОЙМАТЕРИАЛЫ» — лучшие пенобетоносмесители в России!

### Проблемы производства монолитного пенобетона

Строители России за последнее десятилетие успели привыкнуть к использованию монолитного пенобетона. Вместе с тем, надо отметить, что до массового производства этого материала на строительных площадках еще очень далеко. Почему же так происходит? Что мешает внедрению нашего материала? Ведь все прекрасно знают о его достоинствах.

Причина, по которой многие строительные организации и частные застройщики отказываются от организации производства пенобетона заключается в следующем. Сложилось такое мнение, что производство пенобетона это непростая задача, которая по силам только специалистам высокой квалификации. И эти слухи небеспопучны.

Дело в том, что стандартный комплект оборудования от стандартного изготовителя представляет собой как минимум три устройства: **низкооборотный растворосмеситель, пеногенератор, насос для подачи пенобетонной смеси.**

Для эксплуатации такого оборудования необходимо не менее 2-х человек. Причем, работник, который будет ежедневно настраивать пеногенератор должен иметь высшее профильное образование. Естественно, что такое невозможно — и производят пенобетон обычные рабочие, с квалификацией каменщика, либо штукатура. Да и работа с тремя (!) единицами оборудования усложняет и без того непростое производство. Результат — предсказуемо плох. Отсюда нарекания к материалу, хотя справедливости ради надо отметить, что основные претензии здесь надо высказывать к оборудованию.

### Преимущества оборудования ООО «Экстройматериалы»

Купив оборудование ООО «Экстройматериалы», Вы получаете функции трех агрегатов (смеситель, пеногенератор, насос для подачи пенобетона) в составе одного. Этот агрегат называется высокооборотный турбулентный пенобетоносмеситель серии СПБУ. Приготовление пены, получение пенобетонной смеси и подача ее к месту работ производится одной единицей оборудования — пенобетоносмесителем.

При этом Вам не нужен высокопрофессиональный персонал, эксплуатировать пенобетоносмеситель может каменщик или штукатур.

Процесс производства пенобетона теперь очень напоминает процесс производства любого другого бетона — дозация, перемешивание, выгрузка. Обучение рабочего производству пенобетона проводится по нашим методическим указаниям за 1-2 часа.

Особенно удобным производство монолитного пенобетона делает возможность его механизированной подачи на высоту до 30 метров и длину до 100 метров. Причем Вам не понадобятся специальные насосы — с этим справится сам пенобетоносмеситель.

Обязательно надо отметить, что мы предлагаем Вам купить абсолютно надежное оборудование — гарантия на оборудование 1,5 года.

Позвоните нам по телефону 8-910-320-58-49 и Вы получите бесплатную консультацию по технологии производства монолитного пенобетона



ООО ЭКСТРОЙМАТЕРИАЛЫ  
Телефон офиса в Москве  
+7 (495) 923-09-32  
[www.penostroy.ru](http://www.penostroy.ru)



Лучшее оборудование для производства монолитного пенобетона – пенобетоносмесители ООО «Экстройматериалы»



Производства монолитного пенобетона ведется с борта грузового автомобиля. Виден процесс загрузки пенобетоносмесителя



Подача пенобетонной смеси для теплоизоляции кровли 10-ти этажного дома

Р  
Е  
К  
Л  
А  
М  
А



**СКТ-СТАНДАРТ**  
ГРУППА ПРЕДПРИЯТИЙ

Уже более 17 лет  
разрабатываем,  
производим и  
внедряем  
**ДОБАВКИ  
ДЛЯ БЕТОНОВ.**



**Магия химии - для  
силы бетона!**

## ПЛАСТИФИКАТОР - УСКОРИТЕЛЬ ТВЕРДЕНИЯ для пено/газо бетонов ЛМГ-П-1

Порошок; Пластификация: П1-П3;

Дозировка: от 0,1 до 0,15 % к массе цемента;

Ускорение твердения: до 50% в первые сутки;

Отлично совместим с основными пенообразователями:  
ПЭВО-6, ПБ-2000, "ПЕНОСТРОМ", "ТЭАС"



**ЛУЧШАЯ  
ЦЕНА**

### Так же обратите внимание:



Для повышения подвижности или снижения В/Ц используйте гиперпластификаторы серий "ХИДЕТАЛ-ГП-9 альфа" и "ХИДЕТАЛ-ГП-9 гамма";



Для ускорения твердения во все сроки используйте: ХИДЕТАЛ-П-5, ХИДЕТАЛ-П-7, УНИВЕРСАЛ-П-4 или УНИВЕРСАЛ-П-2;

Получить техническую консультацию  
Вы можете по бесплатному телефону по РФ:

**8-800-333-8-332**

Отгрузка осуществляется из городов: Новозыбков, Коломна, С-Петербург, Екатеринбург, Новосибирск, Невинномысск, Гомель, Киев, Актобе и Астана;

Ознакомится с продукцией и заказать бесплатные образцы можно на сайте [www.skt-standart.ru](http://www.skt-standart.ru)

Р  
Е  
К  
Л  
А  
М  
А

## Производство четырехсторонних пазогребневых блоков

I.F. ShLEGEL', Candidate of Sciences (Engineering), General Manager,  
S.G. MAKAROV Head of the Institute of New Technologies and Automation of the Building Materials Industry  
ООО «ИНТА-СТРОЙ» (100, First Putevaya Street, Omsk, 644113, Russian Federation, www. inta.ru)

### Manufacture of Four-Sided Tongue-and-Groove Blocks

Для возведения межкомнатных перегородок все большее применение в строительстве находят четырехсторонние пазогребневые блоки. Это обусловлено удобством их использования и сокращением издержек производства.

Институтом «ИНТА-СТРОЙ» в 2007 г. был разработан станок ШЛ 445 [1] для получения четырехсторонних пазогребневых блоков методом фрезерования, при этом формат блоков представлял собой квадрат 614×614 мм. Как показал опыт использования блоков в строительстве, такой формат оказался неудобным из-за большой массы.

Было принято решение выпускать блоки формата 614×314 мм, для этого потребовалась доработка, в результате появился станок ШЛ 445Б, кинематическая схема которого показана на рис. 1.

Заготовка размером 618×318 мм подается пневмоцилиндром на приемный стол установки от комплекса резки. По сигналу датчика питатель перемещает заготовку на поворотный стол рабочей тележки, установив ее длинной стороной по дальнему краю стола. После фиксации заготовки прижимом тележка совершает рабочий ход 1, проезжая между оправками с наборами цилиндрических твердосплавных фрез, закрепленных во фрезерных блоках. При этом происходит обработка одной длинной, «дальней» стороны заготовки – оформляется паз. Далее происходит подъем прижима и пневмоцилиндр смещает заготовку на рабочем столе по «ближней» стороне рабочего стола. После фиксации прижимом тележка совершает обратный ход 1 и,

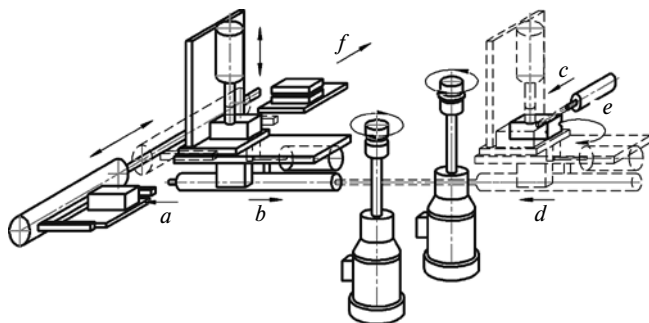
Four-sided tongue-and-groove blocks are more and more used in construction for erection of interior partitions. It is explained by the convenience of their use and the reduction of production costs.

In 2007 the institute developed the SHL 445 machine for manufacturing four-sided tongue-and-groove blocks by the milling method; at that, the format of the block is a square of 614×614 mm. As the experience of using blocks in construction shows, this format is inconvenient because of the large mass.

It was decided to produce blocks of 614×314 mm format, the SHL 445B machine appeared as a result of modification; the kinematic scheme of the machine is presented in fig. 1.

A preparation of 618×318 mm is moved by the pneumatic cylinder from the cutting complex on the receiving table of the machine. By the sensor signal the feeder moves the preparation on the rotating table of the working cart, puts its long side along the far edge of the table. After fixation of the preparation with a clamp the cart makes a working stroke 1 moving between the mandrels with the sets of cylindrical carbide cutters fastened in the milling blocks.

At that, the treatment of one long, «far» side of the preparation takes place: the «groove» is made. Then the clamp lifts and the pneumatic cylinder shifts the preparation on the working table along the «near» side of the working table. After fixation with the clamp the cart



**Рис. 1.** Схема установки фрезерования ШЛ 445Б: а – загрузка заготовки; b – прямая рабочая подача; c – сдвиг на рабочем столе; d – обратная рабочая подача; e – поворот стола на 90°; f – сьем обработанных изделий

**Fig. 1.** Scheme of milling machine SHL 445B: a – loading of preparations; b – direct working feed; c – shift on the working table; d – reverse working feed; e – table rotation by 90°; f – removal of treated products



**Рис. 2.** Установка фрезерования ШЛ 445Б

**Fig. 2.** Milling machine SHL 445B



проезжая мимо фрезы, оформляет гребень по второй длинной стороне заготовки. Закончив обратный рабочий ход 1, тележка совершает рабочий ход 2, второй раз проехав вхолостую мимо фрезы (гребень уже оформлен). В конце рабочего хода 2 рабочий стол тележки поворачивается на 90° и она совершает обратный ход 2, проезжая мимо фрез одновременно оформляя паз и гребень заготовки по коротким сторонам. Прижим поднимается. Одновременно с подачей новой заготовки на рабочий стол тележки питатель производит выгрузку готового блока на стол выгрузки. Цикл повторяется. Дроссели электропневматической системы управления обеспечивают возможность регулирования скорости перемещения исполнительных механизмов (пневмоцилиндров) в зависимости от требований производства — плотности пенобетона, прочности (времени выдержки) заготовок, остроты инструмента.

В настоящее время станок ШЛ 445Б установлен в линии на пенобетонном участке (рис. 2) и производит четырехсторонние пазогребневые блоки высокой точности; отклонения размеров фрезерованных поверхностей составляют не более ±1 мм, что значительно снижает последующие затраты на возведение межкомнатных перегородок.

makes a reverse motion 1 and, passing the cutter, makes the «tongue» along the second long side of the preparation. After the reverse stroke 1, the cart makes a working stroke 2, the second time running idle past the cutters («tongue» was already made). In the end of the working stroke 2 the working table of the cart turns by 90° and the cart makes the reverse stroke 2, passing the cutters, in the course of which it makes simultaneously the «groove» and «tongue» along the short sides of the preparation. The clamp lifts. Simultaneously with the delivery of a new preparation to the working table of the cart the feeder unloads the ready block on the unloading table. The cycle repeats.

Throttles of the electropneumatic system of control ensure the possibility to regulate speeds of moving of actuating mechanisms (pneumatic cylinders), depending on production requirements: foam concrete density, strength (holding time) of preparations, sharpness of the instrument.

At present the SHL 445B machine is installed in the line of the foam concrete sector (fig. 2) and produces four-sided tongue-and-groove blocks of high accuracy: size deviations of milled surfaces are not more than ±1 mm that significantly reduces the subsequent expenditures for constructing interior partitions.

### Литература

1. Шлегель И.Ф. Шаевич Г.Я., Макаров С.Г., Шкуркин Н.И. Вопросы формообразования пенобетонных блоков // *Строительные материалы*. 2007. № 4. С. 36–38.

### References

1. Shlegel' I.F. Shaevich G.Ya., Makarov S.G., Shkurkin N.I. Questions forming foam concrete blocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 4, pp. 36–38.

Реклама



**ТОРГОВЫЙ ДОМ  
ИНТА-СТРОЙ**

ООО «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

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

**КОМПЛЕКС РЕЗКИ ПЕНОБЛОКОВ  
ШЛ 444А**



**Основные характеристики:**

- производительность, м³/час — 9;
- установленная мощность, кВт — 24,75;
- габариты (дл., шир., выс.), мм — 8280, 3340, 2710;
- масса, кг — 3820.

**Назначение:**

- Комплекс ШЛ 444А предназначен для продольной и поперечной распиловки заготовки пенобетона на блоки заданных размеров.

**Преимущества:**

- простота конструкции;
- возможность безостановочной подачи заготовок и выгрузки изделий;
- работа в полуавтоматическом режиме;
- обслуживается одним оператором.

МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ

А.Б. ЛИПИЛИН, генеральный директор, Н.В. КОРЕНЮГИНА, главный технолог  
Завод «ТЕХПРИБОР» (301247, Тульская обл., г. Щекино, ул. Пирогова, 43)

## Дезинтегратор мокрого помола в производстве неавтоклавного пенобетона

Предложена технология повышения качества сырьевых компонентов для производства неавтоклавного пенобетона. Перечислены основные эффекты подготовки сырьевых компонентов, дано описание и принцип действия оборудования для их подготовки. Приведены результаты лабораторных исследований влияния оптимизации сырьевых компонентов путем их совместного мокрого помола.

**Ключевые слова:** высокопрочный ячеистый бетон, пенобетон, дезинтегратор, сырьевые материалы, мокрый помол.

A.B. LIPILIN, General manager, N.V. KORENYUGINA, Chief Technologist  
«TEHPRIBOR» Plant (43, Pirogova Street, Schekino, 301247, Tula Region, Russian Federation)

### Disintegrator of Wet Milling in Production of Non-Autoclaved Foam Concrete

The technology of improving the quality of raw material components for producing the non-autoclaved foam concrete is offered. Main effects of the preparation of raw material components are listed; the description and principle of operation of equipment for their preparation are given. Results of the laboratory study of the optimization of influence of raw material components by means of their joint wet milling are presented.

**Keywords:** high-strength cellular concrete, foam concrete, disintegrator, raw materials, wet milling.

В настоящее время изделия из ячеистого бетона нашли широкое применение в конструктивных системах гражданского и промышленного строительства. Низкая плотность и высокие теплоизолирующие свойства этих материалов позволяют возводить облегченные ограждающие конструкции с требуемым термическим сопротивлением, а легкодоступные сырьевые компоненты (песок, известь и цемент) способствуют развитию производства ячеистых бетонов. Однако далеко не все производители ячеистых бетонов могут похвастаться хорошим качеством продукции. Для достижения высоких физико-механических показателей и долговечности изделий нужно не только грамотно подобрать состав сырьевых компонентов, но и обеспечить необходимое их качество. Усредненные требования к качеству сырья: удельная поверхность цемента должна быть не менее 3000 см<sup>2</sup>/г, а кремнеземистый компонент, к примеру песок, должен быть чистым, с минимальным содержанием пылевидных и глинистых частиц с предельным размером зерна не более 1 мм [1]. Для организации технологического процесса изготовления ячеисто-бетонных изделий высокие физико-механические показатели необходимо повысить усредненные данные, предусмотрев подготовку сырьевых компонентов.

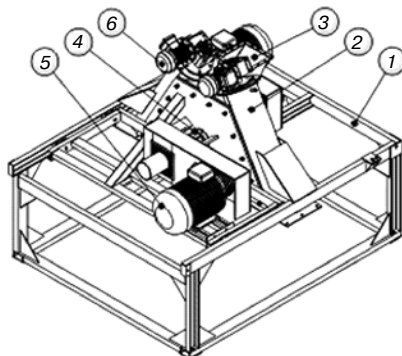
Подготовка сырьевых компонентов предполагает совместный помол вяжущего и кремнеземистого компонента, причем для облегчения процесса диспергирования рациональнее применять оборудование мокрого помола. При мокром помоле ярко выражен эффект понижения прочности твердых тел под влиянием физической сорбции на их поверхности активных веществ (вода, ПАВ и др.), обнаруженный П.А. Ребиндером [2]. Понижение предела упругости, прочности достигается за счет миграции активного вещества вглубь по вновь образованным при измельчении микротрещинам и оказанию на них раскливающего действия. Таким образом, мокрый помол в технологии ячеистого бетона не только облегчает диспергирование сырьевых компонентов, тем

самым снижая затраты на помол, но и позволяет использовать сырье естественной влажности.

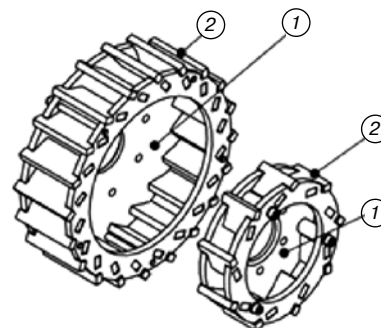
Основные эффекты подготовки сырьевых компонентов, которых можно достичь в производстве ячеистого бетона:

- уменьшить расход цемента до 30% без ухудшения качества готовых изделий;
- повысить подвижность, уменьшить раскраиваемость, другими словами, улучшить реологические свойства ячеисто-бетонных смесей, что позволяет расширить методы формования и транспортирования готовой смеси;
- ускорить твердение пенобетонных смесей без перерасхода цемента, а значит, увеличить оборачиваемость кассетных форм.

Совместный помол вяжущего и кремнеземистого компонента может быть выполнен с помощью дезинтеграторов мокрого помола производства завода «ТЕХПРИБОР». Оригинальный дезинтегратор мокрого помола «ГОРИЗОНТ-3000 МК-ВА»<sup>®</sup> (рис. 1) создан по классической схеме построения измельчителей ударного действия с горизонтальным расположением приводных валов. Роторы-корзины дезинтегратора приводятся во вращение от индивидуальных электродвигателей, что позволяет получить высокую скорость



**Рис. 1.** Дезинтегратор мокрого помола «ГОРИЗОНТ-3000 МК-ВА»<sup>®</sup>: 1 – рама-основание; 2 – разъемный корпус; 3 – загрузочный патрубок; 4 – подшипниковый узел привода роторов-импеллеров; 5 – электродвигатель; 6 – устройство очистки камеры помола с индивидуальным приводом



**Рис. 2.** Ротора-импеллеры, основные рабочие органы дезинтегратора: 1 – диски с наклонными пазами; 2 – сменные ударные элементы – износостойкие лопасти

Состав цементно-песчаного раствора	Предел прочности при сжатии, МПа
Портландцемент ПЦ 400 Д20/песок в соотношении 1:0,75 – контрольный состав	19,8
Портландцемент ПЦ 400 Д20/песок в соотношении 1:0,75 – гидроактивированный состав	23,5
Портландцемент ПЦ 400 Д20/песок в соотношении 1:1 – гидроактивированный состав	25,9

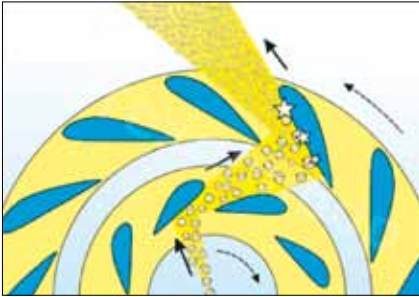


Рис. 3. «Z»-схема движения частиц измельчаемых материалов



Рис. 4. Внедренный на предприятие по производству неавтоклавного пенобетона дезинтегратор «ГОРИЗОНТ-3000 МК-ВА» (Новгородская обл.)

соударения частиц без чрезмерного увеличения частоты вращения каждого ротора.

Совместный помол вяжущего и кремнеземистого компонента в дезинтеграторе мокрого помола происходит на заранее подготовленном в соответствии с установленной рецептурой цементно-песчаном растворе.

Готовый цементно-песчаный раствор из растворонасоса через загрузочный патрубок дезинтегратора подается к центральной части малого ротора-импеллера. Роторы-импеллеры (рис. 2), основные рабочие органы дезинтегратора, представляют собой диски с наклонными пазами 1, в которые устанавливаются сменные ударные элементы – износостойкие лопасти 2. Наклонные пазы на поверхности дисков расположены по концентрическим окружностям, таким образом, чтобы один ряд ударных элементов входил внутрь другого. Такая конструкция роторов-импеллеров обеспечивает эффективный разгон частиц измельчаемого материала лопастями малого импеллера и производит их выброс в направлении лопастей большого импеллера, движущихся во встречном направлении. Получив удар, частицы разрушаются, в виде узконаправленных потоков сходят с поверхности лопастей большого ротора-импеллера и выбрасываются в пространство камеры помола (рис. 3).

Использование «Z»-схемы движения частиц измельчаемых материалов позволяет увеличить размольную мощность дезинтегратора, повысить его производительность, уменьшить абразивный износ рабочих органов.

В целом совместный помол цемента и песка в заранее подготовленной растворной смеси способствует ускорению процессов гидролиза и гидратации с образованием хорошо пластифицированной пасты, пригодной для изготовления быстротвердеющей ячеисто-бетонной смеси заданной плотности без перерасхода цемента.

В частности, тонкий помол вяжущего позволяет более полно использовать потенциал клинкера, который зачастую остается нереализованным из-за неоптимального гранулометрического состава рядового цемента. Помол песка, в свою очередь, улучшает его гранулометрию путем разрушения крупных частиц, не пригодных для создания прочного межпорового скелета, а также увеличивает реакционную поверхность зерен.

В лабораторных условиях было проведено несколько экспериментов на дезинтеграторе мокрого помола «ГОРИЗОНТ-3000 МК-ВА»<sup>®</sup> по помолу заранее подготовленного цементно-песчаного раствора с различным Ц/П соотношением. Расход воды подбирался в количестве, обеспечивающем одинаковую текучесть растворов по Суттарду. Предел прочности при сжатии раствора в возрасте 3 сут определен на образцах-кубах и представлен в таблице.

Наблюдаемый процесс нарастания прочности связан с углубленной гидратацией цемента, снижением пористости цементного камня и образованием новых поверхностей, обеспечивающих упрочнение зоны контактов между цементными зернами и заполнителем. Обработка подготовленного раствора с соотношением 1:0,75 на дезинтеграторе «ГОРИЗОНТ 3000 МК-ВА»<sup>®</sup> (мокрый помол) интенсифицировала процессы твердения в цементе вследствие возрастания реакционной поверхности его частиц, ускорила химическое взаимодействие между твердыми реагентами. Увеличение прочности цементно-песчаного раствора, прошедшего помол на дезинтеграторе «ГОРИЗОНТ 3000 МК-ВА»<sup>®</sup>, служит наглядным подтверждением высокой степени насыщения цементного камня заполнителем, повышения плотности структуры.

Полученные лабораторные результаты эффективно-го мокрого помола цементно-песчаного раствора, способствовали организации промышленных испытаний дезинтегратора «ГОРИЗОНТ-3000 МК-ВА»<sup>®</sup> на действующих предприятиях производства неавтоклавного пенобетона в Новгородской области (рис. 4).

Дезинтегратор устанавливался на линии подготовки сырьевых компонентов пенобетонной смеси. Предварительно подготовленная цементно-песчаная смесь посредством растворонасоса подавалась в помольную камеру дезинтегратора, где происходил совместный помол с одновременной гомогенизацией получаемой массы. Продукт помола (пластифицированная паста) посредством растворонасоса по гибким рукавам подавался в поризатор, где в непрерывном режиме происходило формирование ячеистой структуры материала.

Внедрение операции мокрого помола цементно-песчаного раствора способствовало получению конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного пенобетона со значительной (до 19%) экономией цемента без ухудшения требуемых характеристик готовых изделий.

#### Список литературы

1. Сажнев Н.П., Гончарик В.Н., Гарнашевич Г.С., Соколовский Л.В. Производство ячеисто-бетонных изделий: теория и практика. Мн.: Стринко, 1999. 284 с.
2. Попов Н.А., Орентликер Л.П., Дерюгин В.М. Быстротвердеющие легкие бетоны на цементе мокрого помола. М.: Госстройиздат, 1963. 148 с.
3. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. М., 1972. 240 с.

#### References

1. Sazhnev N.P., Goncharik V.N., Garnashevich G.S., Sokolovskii L.V. Proizvodstvo yacheistobetonnykh izdelii: teoriya i praktika [The production of cellular concrete products: theory and practice]. Minsk: Strinko, 1999. 284 p.
2. Popov N.A., Orentlikher L.P., Deryugin V.M. Bystrortverdeyushchie legkie betony na tsemente mokrogo pomola [Rapid-lightweight concrete on the cement wet grinding]. Moscow: Gosstroizdat, 1963. 148 p.
3. Khodakov G.S. Tonkoe izmel'chenie stroitel'nykh materialov [Fine grinding of construction materials]. Moscow: 1972. 240 p.

В.В. ЕФРЕМЕНКОВ, канд. техн. наук, первый зам. директора, В.А. БАБАНИН, зам. директора  
ЗАО «Стромизмеритель» (603116, г. Нижний Новгород, ул. Гордеевская, 59-Е)

## **ЗАО «Стройизмеритель»: комплексный подход к проектированию, реконструкции и строительству предприятий по производству строительных материалов**

Рассмотрены вопросы комплексного проектирования, реконструкции и строительства предприятий по производству строительных материалов. Основное внимание уделено направлению, связанному с изготовлением и модернизацией быстровозводимых установок по производству различных видов бетона, включая пенобетон, фибробетон и асфальтобетон. Приведен перечень основных работ по проектированию и внедрению подобных установок, имеющих блочно-модульную конструкцию в летнем и зимнем вариантах исполнения. Представлен широкий спектр технологического оборудования, среди которого особое место занимают тензометрические весовые дозаторы инертных материалов, цемента, минерального порошка, воды, битума, а также химических и стабилизирующих добавок. Показано преимущество децентрализованных систем управления, построенных с помощью локальных программируемых контроллеров, применение которых позволяет не только реализовывать адаптивные алгоритмы эффективного регулирования, но и своевременно осуществлять диагностику состояния исполнительных механизмов и прогнозировать предаварийные и аварийные ситуации.

**Ключевые слова:** бетон, быстровозводимые установки, тензометрические весовые дозаторы, автоматизированные системы управления, проектирование, внедрение.

V.V. EFREMENKOV, Candidate of Sciences (Engineering), First Deputy Director, V.A. BABANIN, Deputy Director  
ZAO «Stromizmeritel'» (59-E, Gordeevskaya Street, Nizhny Novgorod, 603116, Russian Federation)

### **ZAO "STROYIZMERITEL" – a Complex Approach to Designing, Reconstruction and Construction of Building Materials Enterprises**

Issues of the complex designing, reconstruction and construction of building materials enterprises are considered. The main attention is paid to the area connected with manufacturing and modernizing of quickly erected plants for producing different sorts of concrete including foam concrete, fibre concrete and asphalt concrete. A list of the basic works on designing and adoption of such plants which have a block-module design in summer and winter versions is presented. A wide range of technological equipment among which a special place is occupied by tensometric weight batchers of inert materials, cement, mineral powder, water, bitumen, and also chemical and stabilizing additives is presented. Advantages of the decentralized control systems built with the help of locally programmed controllers the use of which makes it possible not only to realize adaptive algorithms of efficient control, but timely to make the diagnostic of conditions of actuating mechanisms and to forecast pre-emergency and emergency situations.

**Keywords:** concrete, quickly erected plants, tensometric weight batchers, automated control systems, designing, adoption.

Современные темпы развития строительной индустрии России, обусловленные расширением жилищного и дорожного строительства, а также возведением новых объектов и реконструкцией действующих предприятий, требуют постоянного роста промышленного производства листового стекла, силикатного кирпича, эффективных теплоизоляционных материалов, например, пенобетона, пеностекла и др., и материалов, имеющих массовый спрос, к которым можно отнести цементно-песчаные растворы, бетон, асфальт и другие многокомпонентные смеси. В связи с этим возрастает потребность в проектировании, реконструкции и строительстве заводов по производству этих материалов. При этом особый интерес представляют быстровозводимые установки и заводы по производству бетона, которые в отличие от централизованных бетонорастворных (БРУ) и бетоносмесительных узлов (БСУ) могут оперативно перебазироваться с одного строительного объекта на другой с помощью автомобильного транспорта.

В ЗАО «Стромизмеритель», базовой специализацией которого является разработка и изготовление технологического оборудования и микропроцессорных систем управления для приготовления стекольной шихты, в последнее время большое внимание уделяется направлению, связанному с проектированием и реконструкцией быстровозводимых установок по производству различных видов бетона, включая пенобетон, фибробетон и асфальтобетон. Комплекс мероприятий по разработке и изготовлению подобных установок и заводов включает:

- обследование и модернизацию действующих объектов;
- комплексное проектирование и разработку кон-

структорской документации;

- разработку и изготовление тензометрических весовых дозаторов;
- разработку и изготовление различного технологического оборудования (конвейеры, элеваторы, винтовые и вибрационные питатели, шибберные и секторные затворы, установки растаривания биг-бэгов, пневмопобудители расхода материала и др.);
- разработку и изготовление микропроцессорных систем управления и различных средств автоматизации, включая программное обеспечение;
- разработку и изготовление бункеров и других технологических металлоконструкций;
- шеф-монтаж и пусконаладочные работы;
- сервисное гарантийное и постгарантийное обслуживание;
- поставку запчастей.

Быстровозводимые заводы по производству бетона (рис. 1), которые разрабатываются в ЗАО «Стромизмеритель», имеют блочно-модульную конструкцию и изготавливаются в летнем и зимнем вариантах исполнения. Зимний вариант предусматривает дополнительную комплектацию сэндвич-панелей, монтаж которых не требует изменения несущих и ограждающих металлических конструкций и поставку оборудования для обогрева.

В базовый комплект поставки технологического оборудования входят:

- бетоносмеситель со скиповым подъемником (возможно исполнение, в котором СКИП заменяется на наклонный ленточный конвейер);
- бункеры инертных материалов с затворами и реги-



**Рис. 1.** Быстровозводимый завод по производству бетона



**Рис. 2.** Бункеры инертных материалов

- трами обогрева (рис. 2);
- весовой конвейер инертных материалов;
- система дозирования цемента (рис. 3);
- система дозирования воды и химических добавок (рис. 4);
- силос для хранения цемента с фильтром и клапаном сброса давления;
- система управления с датчиками и кабельной разводкой;
- кабина оператора и компрессор сжатого воздуха;
- дополнительные дозаторы, силосы, и другие устройства поставляются в качестве опций.

Среди этого оборудования для приготовления бетона, производимого ЗАО «Стромизмеритель», особый класс составляют тензометрические весовые дозаторы дискретного и непрерывного действия, предназначенные для дозирования инертных и каменных материалов, цемента, минерального порошка, вспенивателей бетона, воды, битума, фибры, а также всевозможных химических и стабилизирующих добавок.

Дозирование инертных и каменных материалов в стационарных БРУ и БСУ осуществляется с помощью одно- и многокомпонентных бункерных весов, оснащенных секторными питателями загрузки и разгрузки с пневмоприводом. А взвешивание этих компонентов в мобильных и быстровозводимых установках и заводах производится либо ленточными конвейерными весами,

либо с помощью тензометрических весовых платформ скиповых подъемников. При взвешивании щебня и песка возможно измерение их влажности, которая учитывается при последующей корректировке рецепта приготавливаемой смеси.

Дозирование цемента и минеральных порошков выполняется дискретными весовыми дозаторами со шнековыми и шлюзовыми питателями на загрузке и дисковыми поворотными заслонками на разгрузке. Для повышения точности дозирования возможно использование двухшнековых винтовых питателей и частотных преобразователей, регулирующих скорость подачи материала в режимах «грубо» и «точно».

Дозирование воды и битума производится либо с помощью тензометрических весовых дозаторов, оснащенных шаровыми кранами с пневмоприводом, либо с помощью насосов, длительность включения которых контролируется по времени или по показаниям ультразвуковых и крыльчатых расходомеров.

Химические добавки дозируются аналогично воде и вводятся в приготавливаемую смесь либо самостоятельно, либо через дозатор воды, образуя с ней премикс.

Разработка и изготовление специального весодозирующего оборудования для производства пено- и фибробетона, а также асфальтобетонных смесей и щебеночно-мастичных асфальтов, выполняется по индивидуальным требованиям заказчика, в зависимости от технологических параметров дозируемых добавок.

Для смешивания дозируемых компонентов используются смесители различной конструкции отечественного и зарубежного производства.

Учет поступающего сырья и отгружаемой продукции выполняется с помощью автомобильных тензометрических весов производства ЗАО «Стромизмеритель» и ряда других компаний.

Управление всеми процессами приготовления бетона осуществляется с помощью микропроцессорных систем управления, оснащенных персональными компьютерами. Но в отличие от централизованных систем управления, которые чаще применяются в производстве стекольной шихты, автоматизированные системы управления технологическими про-



**Рис. 3.** Система дозирования цемента



**Рис. 4.** Система дозирования воды и химических добавок

цессами (АСУ ТП) приготовления бетона и песчано-цементных строительных растворов в основном имеют распределенную или децентрализованную структуру, построенную с помощью локальных программируемых контроллеров.

Применение в подобных системах локальных микро-процессорных контроллеров для управления весодозирующими и другими технологическими агрегатами стационарных и мобильных установок и заводов по производству бетона, включая пено- и фибробетон, а также асфальтобетон и ЩМА, позволяет не только реализовать адаптивные алгоритмы эффективного управления дозированием и смешиванием сырьевых материалов, но и своевременно осуществлять диагностику состояния исполнительных механизмов и прогнозировать предаварийные и аварийные ситуации. А гибкий комплекс различных настроек, заложенных в программное обеспечение АСУ ТП производства ЗАО «Стромизмеритель», дает возможность обслуживающему персоналу, не имеющему специальной квалификации, быстро осваивать работу системы управления и существенно расширяет ее функциональные возможности.

Все управление процессом приготовления бетона осуществляется одним человеком с сенсорной Touch-панели, установленной на пульте управления в операторской кабине. При этом персональный компьютер, который является элементом системы верхнего уровня АСУ ТП, как правило, используется для удаленного контроля, внесения изменений в рецептуру (возможно хранение до 200 различных рецептов бетона), ведения учета в программе 1С-бухгалтерия, а также для сбора и архивирования технологических параметров процесса и сырья и технико-экономических показателей работы оборудования, используемых для последующего анализа эффективности функционирования установки и качества товарной продукции.

АСУ ТП имеет три основных режима управления работой оборудования. В ручном режиме, который используется как вспомогательный, оператор с помощью переключателей и кнопок, а также сенсорной панели дистанционно управляет и контролирует работу отдельных механизмов. Этот режим необходим при ремонтных и пусконаладочных работах, а также для завершения какой-либо операции при сбое программы в автоматическом режиме.

Полуавтоматический режим работы подразумевает автоматическое исполнение отдельной операции, например, дозирования, старт которой осуществляется оператором с пульта управления или сенсорной Touch-панели.

В автоматическом режиме работы АСУ ТП все технологические операции выполняются без участия оператора, обеспечивая максимальную производительность процесса. Кроме того, система сама корректирует ход некоторых операций и вносит изменения в рецепты смеси в зависимости от текущей влажности инертных материалов и запесоченности крупных заполнителей. Система управления контролирует подвижность бетонной смеси и избавляет оператора от необходимости визуальной оценки пластичности бетона.

АСУ ТП в конфигурации, разработанной ЗАО «Стромизмеритель», легко интегрируется в действующее технологическое оборудование и может применяться при модернизации и реконструкции существующих установок и заводов по производству различных видов бетона и других многокомпонентных смесей.

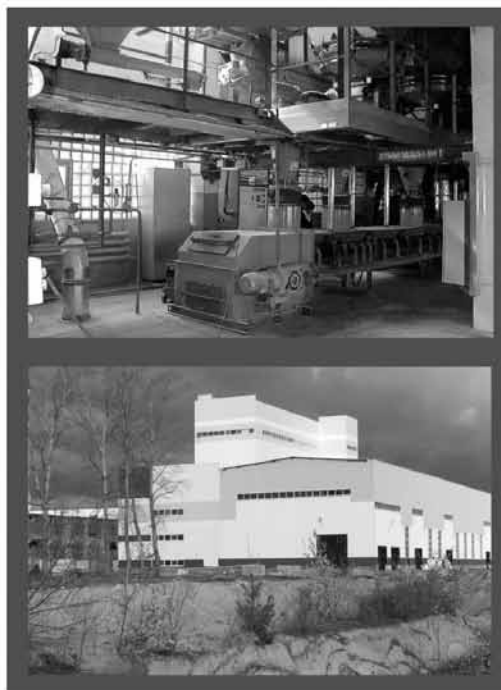
Таким образом, учитывая большой опыт использования подобного оборудования и систем управления в разных отраслях промышленности (внедрено более 300 технологических линий приготовления стекольной шихты и других многокомпонентных смесей), специалисты ЗАО «Стромизмеритель» успешно решают задачи, связанные с проектированием и изготовлением оборудования для производства различных видов бетона.



## **ЗАО «СТРОМИЗМЕРИТЕЛЬ»**

предлагает

- Техничко-исследования промышленных объектов.
- Проектирование современных составных цехов с вертикальной, вертикально-горизонтальной компоновкой оборудования.
- Изготовление весодозирующего оборудования для сыпучих, комкующихся, гигроскопичных, вязких материалов и различных жидкостей.
- Разработка и изготовление нестандартного оборудования (переключатели потоков сырья, виброднища, вибропитатели, установки затаривания и растаривания биг-бэгов и многое другое).
- Разработка и изготовление ленточных конвейеров и элеваторов.
- Комплексная поставка технологического оборудования составного цеха.
- Разработка программного обеспечения.
- Разработка и изготовление автоматизированных систем управления и различных средств автоматизации.
- Шеф-монтаж и монтаж оборудования.
- Пусконаладочные работы, ввод объекта в эксплуатацию и обучение персонала.
- Сервисное гарантийное и постгарантийное обслуживание.
- Поставка запчастей.
- Модернизация оборудования.



наш адрес: 603116, Россия, г. Нижний Новгород,  
ул. Гордеевская, д. 59-Е; тел./факс (8312)43-12-28,  
43-15-82, 77-20-90, 77-20-60, 77-20-88.  
e-mail: stromizmeritel@rambler.ru  
www.stromi-nn.ru

В.Н. МОРГУН<sup>1</sup>, канд. техн. наук; Л.В. МОРГУН<sup>2</sup>, д-р техн. наук, К.И. КОСТЫЛЕНКО<sup>2</sup>, инженер

<sup>1</sup> Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета (344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42)

<sup>2</sup> Ростовский государственный строительный университет (344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162)

## Эволюция структуры дисперсной газовой фазы при изготовлении пенобетонной смеси

Анализ динамики насыщения пенобетонных смесей дисперсной газовой фазой показал, что она включает два различных по своей физической сущности этапа, понимание содержания которых важно для получения высококачественных пенобетонов. Рассмотрен и научно обоснован механизм формирования грубодисперсной газовой фазы в структуре пенобетонных смесей. Доказана закономерность его образования. Научно обоснована неизбежность повышения дисперсности газовой фазы на втором этапе перемешивания смесей. Установлен перечень конструктивных процессов, протекающих в структуре пенобетонной смеси на втором этапе ее приготовления.

**Ключевые слова:** поверхностно-активные вещества, дисперсная газовая фаза, пенобетонная смесь.

V.N. MORGUN<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); L.V. MORGUN<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), K.I. KOSTYLENKO<sup>2</sup>, Engineer

<sup>1</sup> Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University (105/42, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation)

<sup>2</sup> Rostov State University of Civil Engineering (162, Sotcialisticheskaya Street, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation)

### Structural Evolution of a Disperse Gas Phase when Producing Foam Concrete Mix

An analysis of the dynamics of saturation of foam concrete mixes with the disperse gas phase shows that it includes two, different by their physical nature, stages understanding of the content of which is very important for producing high-quality foam concretes. The mechanism of formation of a coarse disperse gas phase in the structure of foam concrete mixes is considered and scientifically substantiated. The regularity of its formation is proved. The inevitability of increasing the dispersion of the gas phase at the second stage of mixing is scientifically substantiated. There is a list of structural processes taking place in the structure of the foam concrete mix at the second stage of its preparation.

**Keywords:** surfactants, disperse gas phase, foam concrete mix.

Важнейшей задачей современного строительства является повышение эффективности, качества, экологической безопасности, надежности и долговечности материалов, предназначенных для возведения зданий. По мнению многих специалистов [1–3], этому емкому перечню требований полностью соответствуют изделия из пенобетонов естественного твердения в тех случаях, когда структура их газовой пористости характеризуется:

- высокой дисперсностью и равномерностью распределения по объему [4];
- устойчивостью в течение всего периода перехода от вязкого к твердому состоянию.

Газовая пористость, обретаемая смесями в ходе перемешивания сырьевых компонентов, способна сохранять указанную выше структуру, только когда силы сцепления между молекулами ПАВ и воды в пенных пленках, удерживающих газовую фазу, оказываются способными противостоять действию гравитационных и растягивающих возникающих в результате интенсивного массопереноса в ходе начальной гидратации клинкерных минералов. Известно, что скорость утраты дисперсной газовой фазы любыми суспензиями обратно пропорциональна диаметру газовых пузырьков. Поэтому в цементно-песчаных суспензиях, предназначенных для изготовления пенобетонов, дисперсная газовая фаза отдельных включений должна иметь минимальные размеры, а суммарный объем – максимальный.

Наблюдение за процессом изготовления пенобетонных смесей в турбулентном смесителе позволило установить, что более 80% объема дисперсной газовой фазы вовлекается в цементно-песчаный шликер за 1–2 мин (см. таблицу) перемешивания компонентов.

Если ограничиться этим промежуток времени и прекратить перемешивание смесей, то в течение 10–30 с они утрачивают почти всю вовлеченную дисперсную газовую фазу. Отсюда следует, что несмотря на высокий объем воздухововлечения, сформировавшаяся в смесителе структура по каким-то причинам седиментационно неустойчива. Продолжение перемешивания может привести к получению устойчивой структуры

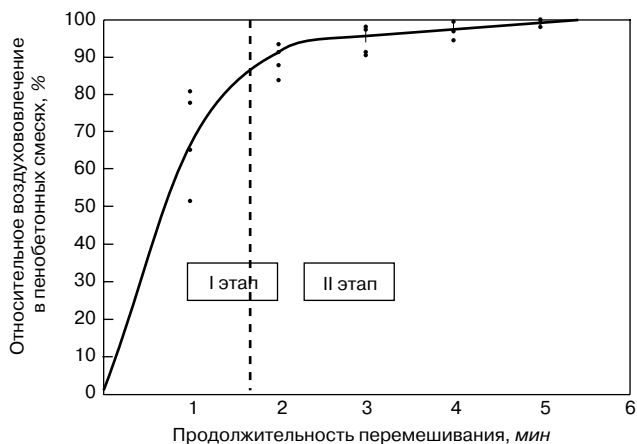
смеси. Поэтому целью настоящей работы стал анализ явлений массопереноса, обеспечивающих возможность получения структурно устойчивых пенобетонных смесей.

Все пенобетонные смеси до завершения в них процессов схватывания вяжущего являются суспензиями [5, 6], в структуре которых весьма широки как диапазон размеров дисперсных частиц, так и величин их плотности. Известно, что скорость седиментации ( $V$ ) в суспензиях прямо пропорциональна квадрату радиуса частиц дисперсной фазы ( $r$ ) и разности плотностей между частицами ( $\rho_f$ ) и средой ( $\rho_s$ ), обратно пропорциональна вязкости среды ( $\eta$ ). Поэтому причинами неустойчивости на данном этапе существования смеси могут быть только крупность дисперсных частиц газовой фазы и вязкость жидкой:

$$V = \frac{2 \cdot r^2 \cdot (\rho_f - \rho_s)}{9 \cdot \eta} \quad (1)$$

**Динамика изменения объемов пенобетонных смесей в зависимости от времени перемешивания их в смесителе**

Продолжительность перемешивания компонентов после введения пенообразователя, с	Объем, л при плотности смеси		
	550 кг/м <sup>3</sup>	750 кг/м <sup>3</sup>	1100 кг/м <sup>3</sup>
30	19,8	13,3	9,1
60	31,5	21,8	15,1
90	35,6	25,7	17
120	38,1	27,3	18,3
180	39,2	28	19,2
240	39,9	28,9	19,2
300	40	28,9	19,4
360	40	28,9	19,5
420	40	28,9	19,5
480	39,6	28,9	19,5



**Рис. 1.** Кинетика относительного воздухововлечения в зависимости от времени перемешивания пенобетонных смесей

Причиной формирования грубодисперсной структуры газовой фазы на начальном этапе перемешивания сырьевых компонентов являются следующие особенности массопереноса. В работающий смеситель дозируют воду и твердые компоненты дисперсной фазы. Пенобетонные смеси содержат более 50% воды в объеме непрерывной фазы. В результате смешивания между дисперсными частицами твердой фазы (цемента и песка) располагаются толстые водные прослойки, в объеме которых после введения пенообразователя содержатся стержнеобразные молекулы ПАВ. Именно молекулы ПАВ обеспечивают возможность вовлечения в смеси дисперсной газовой фазы.

Молекулы ПАВ, будучи полярно заряженными [7], способны под действием сдвигающих напряжений, развивающихся в дисперсионной среде в результате движения рабочего органа смесителя, своей гидрофобной частью физически связывать некоторые порции воздуха, а гидрофильной – часть воды затворения [2]. Таким образом, при перемешивании в объем шликера вовлекается дисперсная газовая фаза.

Устойчивость ее в структуре смеси будет зависеть от соотношения между вязкостью дисперсионной среды (цементно-песчаного шликера) и величиной выталкива-



**Рис. 2.** Структура пенобетонной смеси, полученной при перемешивании в течение I этапа

ющей силы, развиваемой газовыми пузырьками, упакованными в пенные пленки [2]. В начальный период перемешивания формируются крупные газовые пузырьки, потому что в рассматриваемой дисперсной системе содержится значительное количество свободной воды. Сопротивление жидкой фазы перемещению стрекнеобразных молекул на границу раздела фаз газ – жидкость невелико, потому что в результате слоистого их расположения в ней существует ориентационный дальний порядок. При наличии ориентационного дальнего порядка в водных растворах ПАВ вязкость жидкости понижена именно в плоскости расположения молекул [7]. Поэтому большое число молекул ПАВ практически одновременно оказывается в энергетически неоднородной области на границе раздела газ – жидкость, что позволяет им заключать внутрь пенных пленок газовые объемы крупных размеров, домены сферической формы.

Образование первичной газонаполненной структуры в перемешиваемой смеси ведет к росту вязкости [2, 6] дисперсионной среды. С одной стороны, повышение вязкости, обусловленное переводом части воды затворения из свободного в физически связанное состояние, способствует повышению седиментационной устойчивости пенобетонной смеси. С другой – выталкивающая сила, развиваемая в результате образования крупных газовых пор, создает энергетические предпосылки для ее нарушения. Из теории жидких кристаллов следует, что молекулярные силы, обеспечивающие упорядоченную сферическую структуру в крупных пенных пленках, малы [8]. Поэтому жидкие кристаллы легко изменяют структуру под действием различных внешних факторов (температуры, давления, сдвиговых воздействий рабочего органа смесителя и т. д.), что приводит к изменению их размеров. Именно эта закономерность позволяет в ходе продолжающегося перемешивания обеспечивать дополнительную диспергацию газовых включений и создавать структурно устойчивые смеси, в которых сил капиллярного стяжения оказывается достаточно для сохранения вовлеченной дисперсной газовой фазы в течение времени, достаточного для ее перехода из вязкого в твердое.

Выполненные экспериментальные исследования (рис. 1) показали, что за периодом высокоскоростного насыщения смесей дисперсной газовой фазой имеет место дополнительное, сравнительно незначительное увеличение их объема.

При этом получаемые смеси обретают высокую устойчивость по отношению к действию гравитационных сил. Следовательно, эволюция структуры газовой пористости при изготовлении пенобетонных смесей в турбулентном смесителе состоит из двух этапов, физическая суть которых существенно различается.

На первом этапе приготовления ПАВ вовлекают в пенобетонную смесь не менее 80% от максимального объема газовой фазы. При этом структура пористости обладает параметрами, исключающими возможность достижения седиментационной и агрегативной устойчивости дисперсных фаз (рис. 2).

На втором этапе дополнительное воздухововлечение не превышает 20% суммарного объема газовой фазы, причем структура пористости изменяется в сторону существенного повышения ее дисперсности. Увеличение объема и повышение дисперсности газовой фазы предопределяют развитие в смеси следующих конструктивных процессов:

- более полное связывание воды затворения в пенных пленках, удерживающих газовую фазу в структуре цементно-песчаного шликера;
- повышение плотности межпоровых перегородок за счет отбора влаги электростатическим потенциалом ПАВ.



Следовательно, для изготовления высококачественных пенобетонов следует стремиться к тому, чтобы смеси полностью проходили оба этапа формирования структуры. Время перемешивания должно быть не менее 4–5 мин.

#### Список литературы

1. Шахова Л.Д. Технология пенобетона. Теория и практика. Монография. М.: Издательство АСВ, 2010. 248 с.
2. Перцев В.Т., Ткаченко Т.Ф. Пеноматериалы неавтоклавного твердения. Технология и применение // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения*. 2012. № 5. С. 57–60.
3. Баранов И.М. Практическая методика определения рациональных составов специальных бетонов // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 87–93.
4. Золотарева Н.Л., Шмитько Е.И., Пояркова Т.Н. Устойчивость газовой фазы и структура поризованного бетона // *Строительные материалы*. 2007. № 4. С. 20–21.
5. Моргун В.Н. О наноразмерных особенностях эволюции ПАВ в пенобетонных смесях // *Строительные материалы*. № 9. Наука. 2007. С. 20–21.
6. Шахова Л.Д. Некоторые аспекты исследований структурообразования ячеистых бетонов неавтоклавного твердения // *Строительные материалы*. № 2. Наука. 2003. С. 4–7.
7. Моргун Л.В. Пенобетон. Монография. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2012. 154 с.
8. Петрова Г.П. Анизотропные жидкости. Биологические структуры. М.: Физический факультет МГУ, 2005. 112 с.

#### References

1. Shakhova L.D. Tekhnologiya penobetona. Teoriya i praktika. [Technology of foam concrete. Theory and practice.] Monograph. Moscow: ASV. 2010. 248 p.
2. Pertsev V.T., Tkachenko T.F. Foam materials of not autoclave concreting. Technology and application. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2012. No. 5, pp. 57–60. (In Russian).
3. Baranov I.M. Practical methods of definition of rational compositions special concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 87–93. (In Russian).
4. Zolotareva N.L., Shmit'ko E.I., Poyarkova T.N. Stability of the gas phase and the structure of porous concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 4, pp. 20–21. (In Russian).
5. Morgun V.N. About nanoscale features of the evolution of surfactants in foam concrete mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. Supplement Nauka. 2007. No. 9, pp. 20–21. (In Russian).
6. Shakhova L.D. Some aspects of researches of structurization of non-autoclaved cellular concrete hardening. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. Supplement Nauka. 2003. No. 2, pp. 4–7. (In Russian).
7. Morgun L.V. Penobeton. [Foam concrete.] Monograph. Rostov-on-Don: RGSU. 2012. 154 p.
8. Petrova G.P. Anizotropnye zhidkosti. Biologicheskie struktury. [Anisotropic fluid. Biological structures]. Moscow: Physical faculty of Lomonosov Moscow State University. 2005. 112 p.

# Есть Такая Система



Группа компаний  
«Единая Торговая Система»

20 ЛЕТ  
НА РЫНКЕ  
СПЕЦИАЛЬНОГО  
ХИМИЧЕСКОГО  
СЫРЬЯ

WWW.UTSRUS.COM

Л.Г. ГЕРАСИМОВА, д-р техн. наук, М.В. МАСЛОВА, канд. техн. наук,  
А.А. ПАК, канд. техн. наук, Р.Н. СУХОПУКОВА, инженер

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН  
(184209, Мурманская обл., г. Апатиты, Академгородок, 26а)

## Использование цветных наполнителей при изготовлении стеновых блоков из полистиролгазобетона

Строительная индустрия использует в большом количестве белые и цветные наполнители и пигменты для защитных и декоративных целей. Как правило, такие материалы достаточно дорогие. С этой точки зрения интерес представляют окрашенные материалы (наполнители), которые получают из техногенных отходов. К числу наиболее проблемных техногенных отходов относятся отработанные катализаторы и сорбенты. Зачастую их регенерация невозможна, хранение в отвалах предприятий наносит вред окружающей среде из-за присутствия в них токсичных элементов, а хранение в виде вторичного сырья требует материальных затрат. В статье приведены данные по утилизации отработанных сорбентов с получением цветных пигментных наполнителей, которые использовали при изготовлении стеновых блоков из полистиролгазобетона.

**Ключевые слова:** техногенные отходы, цветные наполнители, стеновые блоки, защитные покрытия.

L.G. GERASIMOVA, Doctor of Sciences (Engineering), M.V. MASLOVA, Candidate of Sciences (Engineering),  
A.A. PAK, Candidate of Sciences (Engineering), R.N. SUKHORUKOVA, Engineer  
Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials named after I.V. Tananaev Kola Science Center RAS (26a, «Academic town», Apatity, 184209, Murmansk region, Russian Federation)

### The use of Color Fillers when Producing Wall Blocks from Polystyrene Gas Concrete

Construction industry uses a large number of white and color fillers and pigments for protective and decorative purposes. As a rule, these materials are quite expensive. From this point of view, colored materials (fillers) produced from anthropogenic waste are of interest. Used catalysts and sorbents are among the most problem anthropogenic waste. Often their regeneration is impossible, storage in dumps of the enterprises harms the environment due to the presence of toxic elements in them, and storage in the form of secondary raw materials requires material costs. The article gives the data on utilization of used sorbents with obtaining color pigments which were used for producing wall blocks from polystyrene gas concrete.

**Keywords:** anthropogenic waste, color fillers, wall blocks, protective coats.

Производство строительных материалов относится к крупнотоннажным, основанным на потреблении значительного количества сырья. Стоимость выпускаемых изделий строительного назначения и соответственно конечная стоимость зданий и сооружений, в которых используются строительные материалы, в значительной степени зависят от доступности сырьевых источников. С этой точки зрения отходы горнодобывающих предприятий представляют особый интерес. Использование техногенных отходов, таких как отработанные катализаторы и сорбенты, также является перспективным, поскольку при их утилизации могут быть получены дешевые продукты, реализуемые на рынке сырья для строительных материалов.

В литературе достаточно широко обсуждаются способы переработки отходов, например отработанных катализаторов [1–4]. Проблема же утилизации отработанных (загрязненных) сорбентов освещена недостаточно. В процессе длительной эксплуатации сорбентов в режиме сорбция–десорбция снижается их активность, за счет реструктурирования и механического разрушения гранул. Как правило, отработанные сорбенты сбрасываются в отвалы, создавая определенные экологические проблемы для окружающей среды.

В работе рассмотрен один из вариантов утилизации отработанных титансодержащих сорбентов, основанный на их термической обработке с получением цветных наполнителей, которые использованы в процессе изготовления стеновых блоков из ячеистого бетона.

#### Объект исследования и методика

Объектами исследования были сорбенты на основе титановых соединений, загрязненные цветными тяжелыми металлами. Они представляли собой порошкообразный материал или деградированные гранулы.

Основой сорбентов являются фосфаты титана с добавкой кремнезема (Ti–P–Si) или гидроксид титана (Ti–ГО). Метод утилизации – термическая обработка измельченных порошков (гранул). Предварительное измельчение гарантировало получение гомогенизированного материала для исследования [5, 6]. Исходный материал загрузили в лабораторный вибрационный измельчитель (ИВ-1) и выдерживали в заданном режиме в течение 2 и 5 ч. Термическую обработку проводили в муфельной печи, контроль температуры (250–850°C) осуществляли с помощью термопары. По окончании процесса продукты прокаливанию дезагрегировали с помощью механической ступки для дальнейшего определения их характеристик. Свойства полученных пигментных продуктов (содержание водорастворимых соединений – ВРС, укрывистость – У, маслосъемность – М и рН) устанавливали по стандартным методикам, приведенным в ГОСТ 9808–84 и в работе [7]. Цветовой оттенок – по визуальным наблюдениям. Присутствие в продукте диоксида титана анатазной модификации (основной компонент) должно способствовать повышению его фотокаталитических свойств, что обеспечивает эффект самоочистки наружных поверхностей [8].

Содержание в полученных образцах хромофорных компонентов (никель, медь и кобальт, хром) определяли на рентгеноспектрометре МАКС-GV. С помощью прибора ДРОН-2 и ДРФ Siemens D 5000 устанавливали их фазовый состав.

#### Эксперименты и обсуждение результатов

Термообработка проб исходных сорбентов и сорбентов, загрязненных катионами Me (Me – никель, медь, кобальт и хром), осуществлялась при температуре 250, 550 и 850°C в течение заданного промежутка времени. Исходное содержание примесей в сорбентах изменяется

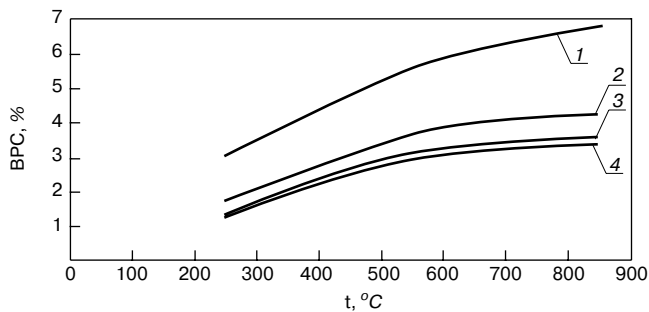


Рис. 1. Влияние температуры на содержание ВРС в титанофосфатном продукте (время прокаливания 2 ч): 1 – исходный сорбент; 2 – сорбция кобальта; 3 – сорбция никеля; 4 – сорбция меди

от 5 до 10 мас. %. Операция термообработки сопровождается постепенным снижением веса образцов (потери при прокаливании – ППП). Заметного различия в показателях ППП при одной и той же температуре и постоянной продолжительности их выдержки для исследуемых образцов не наблюдается. Так, при 250°C и выдержке 2 ч значение ППП составляет в среднем 5%, при 550°C – 12%, а при 850°C – 15%. При этом укрывистость и маслоемкость продуктов улучшаются. Однако увеличение времени выдержки в зоне повышенной температуры (более 550°C) до 5 ч приводит к спеканию частиц продукта и соответственно к ухудшению его малярно-технических характеристик, в частности укрывистости (табл. 1).

Что касается содержания в прокаленных образцах ВРС, то оно снижается по сравнению с исходным образцом в 1,5–2 раза (рис. 1). Повышение показателя ВРС с ростом температуры связано с потерей веса образцов за счет удаления летучей фазы, в основном воды.

Более низкие показатели ВРС для загрязненных образцов по сравнению с исходным сорбентом обусловлены тем, что в процессе прокаливания адсорбированные катионы взаимодействуют с титановой матрицей с образованием соединений, растворимость которых снижается по мере повышения температуры, инициирующей структурирование веществ в виде твердых растворов или шпинелей. По данным рентгенофазового анализа прокаленные образцы на основе гидроксида титана с примесью хрома представлены фазой с кристаллической структурой анатаза с примесью рутила (до 15 мас. %). Также присутствует слабо раскристаллизованная фаза в виде  $(\text{Cr}_{0,88}\text{Ti}_{0,12})\text{O}_3$ . Прокаленный образец наполнителя на основе фосфата титана с примесью Со состоит из рутила и полифосфата титана и натрия в виде  $\text{NaTi}_2(\text{PO}_4)_3$ . Фаза с кобальтом не обнаружена. Аналогичный состав характерен и для образцов с Cu и Ni.

Присутствие новообразований в исследуемых образцах подтверждается и визуальными наблюдениями. В частности, если цвет исходного образца белый и при повышении температуры практически не изменяется, то прокаленные загрязненные образцы приобретают различные цветовые оттенки (табл. 2), т. е. в присутствии катионов хромофорных металлов термообработка сопровождается образованием новых окрашенных соединений.

Таблица 1

Характеристика образца – время, ч	250°C		550°C		850°C	
	У, г/м <sup>2</sup>	М, г/100 г	У, г/м <sup>2</sup>	М, г/100 г	У, г/м <sup>2</sup>	М, г/100 г
1. Ti–P–Si–сорбент-2	120	49,9	97,5	39	95,4	34
2. Ti–OH–сорбент-2	115,4	52,9	96	41,2	90	35
Сорбент с Ni-2 (1)	122,3	50,8	94,8	42	89,5	32
Сорбент с Cu-2 (1)	112,8	55	93	44,1	87	35,1
Сорбент с Со-2 (1)	130,1	59	91	43	84	33
Сорбент с Cr-2 (2)	126	52,1	92,4	46,2	85,9	36,2
Сорбент с Со-5 (1)	117	52	92,9	44	101,4	34
Сорбент с Cr-5 (2)	130,2	54,2	91,8	43,9	99,6	33,9

Таблица 2

Характеристика образца (2 ч)	250°C	550°C	850°C
Исходный сорбент (1 и 2)	Белый	Белый	Белый
Сорбент с Ni	Кремовый	Кремовый	Светло-желтый
Сорбент с Cu	Салатовый	Салатовый	Светло-желтый
Сорбент с Со	Светло-серый	Светло-серый	Светло-зеленый
Сорбент с Cr	Светло-серый	Зеленый	Темно-серый
Сорбент с Cr+CaO	Светло-серый	Серый с желтым оттенком	Желто-серый

Таблица 3

Цвет	Наименование пигмента (Т обработки, °C)	ГОСТ, ТУ	Рекомендуемое содержание, мас. %
Красно-коричневый	Пигмент железоксидный марка К-1	ТУ 6-10-602-86	3–5
Желтый	Пигмент железоксидный желтый	ГОСТ 18172-80	5–7
Светло-желтый	Сорбент с Ni – 850°C	Опытный	7–14
Зеленый	Окись хрома	ГОСТ 2912-79	5–7
Светло-зеленый	Сорбент с Cr – 550°C	Опытный	8–15

Следует отметить, что у хромсодержащих продуктов прокаливания интенсивность цвета также значительно усиливается при температуре 850°C. Содержание ВРС в нем составляет 0,42%, рН – 6,92. Добавка в состав исходного образца извести в виде СаО в количестве, необходимом для связывания хрома в хромат кальция  $\text{CaCrO}_4$ , способствует появлению характерного для этого соединения желтого оттенка. Хромат кальция обладает антикоррозионными свойствами и достаточно широко используется в производстве специальных марок ЛКМ [9]. При этом наблюдается и повышение в продукте показателя ВРС до величины 5,62, а рН – 8,93.

При изготовлении мелких стеновых блоков из композиционного многослойного полистиролгазобетона использовалась ранее разработанная технология [9, 10]. Для повышения декоративности изделий, долговечности и архитектурной выразительности ограждающих конструкций зданий наружный слой блоков формовали из мелкозернистой бетонной смеси состава цемент:песок = 1:3 с введением щелочетермостойких традици-



**Рис. 2.** Стеновые блоки из полистиролгазобетона с цветным защитным слоем

онных пигментов и пигментных наполнителей, полученных из отработанных сорбентов. Количество вводимых пигментов зависело от требуемой цветности поверхности изделий и свойства пигментов (табл. 3)

Окрашенную мелкозернистую бетонную смесь укладывали ровным слоем толщиной 2–2,5 см на дно формы, уплотняли кратковременным встряхиванием на виброплощадке в течение 20–30 с. На поверхность уплотненного защитного слоя осторожно наливали газобетонную смесь первого конструктивного слоя блока.

#### Список литературы

1. Ажикина Ю.В., Серегин А.Н. Современные технологии утилизации отработанного ванадиевого катализатора // *Мир удобрений и пестицидов*. 1997. № 4. С. 43–45.
2. Герасимова Л.Г., Николаев А.И. Утилизация твердых отходов производства с получением пигментов и других неорганических материалов // *Экология промышленного производства*. 2007. № 2. С. 34–43.
3. Герасимова Л.Г., Маслова М.В., Охрименко Р.Ф. Получение пигментов при комплексной переработке отработанного алюмокобальт-молибденового катализатора // *Лакокрасочная промышленность*. 2008. № 10. С. 16–20.
4. Герасимова Л.Г., Скороходова О.Н. Наполнители для лакокрасочной промышленности. М: ЛКМ-пресс, 2010. 224 с.
5. Бобков С.П. Современные подходы к исследованию процесса механической активации // *Межвузовский сб. трудов «Процессы в дисперсных средах»*. Иваново, 1997. С. 28–37.
6. Герасимова Л.Г., Маслова М.В., Шукина Е.С. Роль механоактивации при получении минерального пигмента-наполнителя из титанита // *Журнал прикладной химии*. 2010 Т. 83. Вып. 12. С. 1953–1959.
7. Калинин Т.В., Дринберг А.С. *Цветные пигменты*. М.: ЛКМ-пресс, 2013. 360 с.
8. Бойнович Л.Б., Умельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия: принцип создания, свойства, применение // *Успехи химии*. 2008. Т. 77. Вып. 7. С. 619–638.
9. Пак А.А., Сухорукова Р.Н. Особенности технологии стеновых многослойных изделий из полистиролгазобетона // *Известия вузов. Строительство*. 2010. № 5 (617). С. 30–34.
10. Пак А.А., Сухорукова Р.Н. Пути совершенствования теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий // *Жилищное строительство*. 2009. № 8. С. 30–32.

Затем насыпали бисерный или частично вспененный полистирол (при формировании трехслойных блоков на поверхность полистирола укладывали лист рубероида и на него наливали второй слой газобетонной смеси). После окончания укладки материалов форма закрывалась крышкой и направлялась в пропарочную камеру на термовлажностную обработку, в процессе которой уже самопроизвольно, без внешнего воздействия осуществлялись в разной последовательности пять технологических операций: вспучивание газобетонной смеси; вспенивание полистирола; взаимное прижатие конструктивных слоев; окончательное формообразование изделия; ускорение твердения газобетона. Из данных табл. 3 видно, что расход пигментных наполнителей, полученных из отработанных сорбентов, практически в два раза больше, чем стандартных пигментов. Однако расширенные функциональные свойства защитного покрытия, выполненного с применением исследуемых образцов, в частности эффект самоочищения, положительно скажется на длительности эксплуатации стеновых блоков из ячеистого бетона. На рис. 2 представлены мелкие стеновые блоки размерами 195×198×398 мм из полистиролгазобетона с цветным защитным слоем.

Таким образом, показано, что из отработанных титаносодержащих сорбентов, загрязненных катионами хромофарных элементов, при термообработке получают спент пигментные наполнители, которые могут эффективно использоваться при изготовлении стеновых блоков с защитным цветным покрытием, которое обладает свойствами самоочищения.

#### References






1. Azhikina Yu.V., Seryogin A.N. Modern technologies in spent vanadium catalyst recovery. *Mir Udobreniy I Pestitsydov*. 1997. No. 4, pp. 43–45. (In Russian).
2. Gerasimova L.G., Nikolaev A.I. Recovery of industrial solid wastes to obtain pigments and other inorganic materials. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2007. No. 2, pp. 34–43. (In Russian).
3. Gerasimova L.G., Maslova M.V., Okhrymenko R.F. Pigment production in comprehensive processing of spent aluminium-cobalt molybdenum catalysts. *Lakokrasochnaya promyshlennost'*. 2008. No. 10, pp. 16–20. (In Russian).
4. Gerasimova L.G., Skorokhodova O.N. Napolniteli dlya lakokrasochnoi promyshlennosti [Fillers for the paint-and-varnish industry]. Moscow: LKM-Press. 2010. 224 p.
5. Bobkov S.P. Modern approaches to mechanical activation studies. *Intercollegiate Proceedings Processes in dispersive environment*. Ivanovo. 1997, pp. 28–37. (In Russian).
6. Gerasimova L.G., Maslova M.V., Shchukina E.S. The role of mechanical activation in production of pigment filler from titanite. *Zhurnal Prikladnoy Khimii*. 2010. Vol. 83, No. 12, pp. 1953–1959. (In Russian).
7. Kalinskaya T.V., Drinberg A.S. Tsvetnye pigmenty [Colouring pigment]. Moscow: LKM-Press, 2013. 360 p.
8. Boinovich L.B., Umel'yanenko A.M. Hydrophobic materials and coatings: principles of production, properties and application. *Uspekhi Khimii*. 2008. Vol. 77. No. 7, pp. 619–638. (In Russian).
9. Pak A.A., Sukhorukova R.N. Technological features of wall multilayered products from polystyrene gas concrete. *Izvestiya Vuzov. Stroitelstvo*. 2010. No. 5 (617), pp. 30–34. (In Russian).
10. Pak A.A., Sukhorukova R.N. Ways of improving of cold-resisting properties of enclosing structures in buildings. *Zhilishchnoye Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2009. No. 8, pp. 30–32. (In Russian).

# SibBuild








место проведения МВК «Новосибирск Экспоцентр»



## Неделя архитектуры и строительства

-  Оконные технологии
-  Ворота и автоматика
-  Строительные материалы  
и оборудование. Строительство
-  Инструменты и крепёж
-  Кровли и фасады

## Неделя отделочных материалов и интерьерных решений

-  Отделочные материалы
-  Двери и замки
-  Краски. Сухие строительные смеси
-  Керамика. Сантехника
-  Декоративный свет. Электрика
-  Ткани в интерьере
-  Натуральный и искусственный камень

[www.SibBuild.com](http://www.SibBuild.com)



Организатор ITE Сибирь  
ул. Станционная, 104, тел.: +7 (383) 363 00 63  
e-mail: sibbuild@sibfair.ru, www.ite-siberia.ru

## Нанотехнологии для решения конкретных задач строительства

Конец марта – время традиционной встречи в Каире (Египет) ученых и специалистов, занимающихся нанотехнологиями применительно к строительному комплексу. В 2014 г. состоялась VI Международная конференция «Нанотехнологии в строительстве», которую организуют Национальный исследовательский центр жилищного и гражданского строительства (НБРС), Министерство жилищного и городского хозяйства Египта, Египетско-Российский университет (ERU) и Ижевский государственный технический университет. Ее основными целями являются стимулирование международных совместных исследований в области нанотехнологий, обсуждение возможности применения результатов исследований в зеленом и устойчивом строительстве, обеспечение обмена идеями и опытом между учеными и практикующими инженерами из разных стран.



Президиум конференции



Участники конференции «Нанотехнологии в строительстве» – заинтересованная, благодарная аудитория

За прошедшие годы нанотехнологии заняли прочную позицию в строительной промышленности Египта, не случайно постоянным спонсором конференции является компания CMB group – один из крупнейших производителей строительных материалов страны.

Временная нестабильность политической ситуации в Египте не помешала научному взаимодействию и не нарушила долгосрочные планы профессионального сообщества: в конференции приняли участие около 200 человек. К сожалению, ряд стран – традиционных участников конференции, не рекомендовали своим ученым ехать в Египет. Российская делегация, напротив, увеличилась по количеству и расширила географию.



*Египетско-Российский университет (ERU) – первый российский университет на Ближнем Востоке, основанный в 2006 г. и располагающийся в г. Бэдр-Сити в 45 км от Каира. Это частное учебное заведение, созданное по инициативе группы египетских инвесторов. Одной из целей создания ERU была разработка учебных планов, которые бы сочетали лучшие достижения российских коллег, в том числе в области технических наук, и современные требования к специалистам данного профиля. Действующие в настоящее время учебные программы стали результатом плодотворного академического и научного сотрудничества между египетско-российским университетом и группой российских университетов. Учебный план ERU аккредитован Высшим советом египетских университетов. В настоящее время полным ходом идет работа по созданию филиала университета на юге страны, которую возглавляет ректор ERU профессор Ш.С. Хелми, член редакционного совета журнала «Строительные материалы»®.*

аккредитован Высшим советом египетских университетов. В настоящее время полным ходом идет работа по созданию филиала университета на юге страны, которую возглавляет ректор ERU профессор Ш.С. Хелми, член редакционного совета журнала «Строительные материалы»®.

В этом году в состав Российской делегации входили ученые и аспиранты ИжГТУ, КазГАСУ, Пермского национального исследовательского политехнического университета, Северо-Восточного университета им. М.К. Аммосова, Национального исследовательского Томского политехнического университета. Впервые в состав российской делегации вошли представители промышленности. Российский научно-технический журнал «Строительные материалы»®, как информационный партнер конференции, уже второй раз подготовил специальный выпуск журнала с подборкой статей – пленарных докладов конференции на русском и английском языке, который был представлен участникам конференции.



Встреча с сотрудниками Посольства России и Россотрудничества (Федерального агентства по делам Содружества Независимых Государств, соотечественников, проживающих за рубежом, и по международному гуманитарному сотрудничеству) в Арабской Республике Египет – добрая традиция делегации российских ученых



О.Л. Хасанов, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Наноматериалы и нанотехнологии», директор Нано-центра Томского политехнического университета, приехал на конференцию впервые. Его пленарный доклад о применении новых технологии для промышленного производства наноструктурированной керамики вызвал большой интерес коллег

Развитие и внедрение нанотехнологий в Египте является одной из приоритетных задач в области науки и техники. На конференции ученые Каирского университета предложили методику оценки экономической эффективности разработки и внедрения нанотехнологий в целях выработки государственной и частной инвестиционной политики. Было отмечено, что традиционные методики экономической оценки применительно к нанотехнологиям малоприменимы, так как многие экономические инструменты и метрики к ним неприменимы, недостаточно изучено влияние нанотехнологий и наноматериалов на окружающую среду и здоровье людей.

Традиционно ряд докладов конференции был посвящен обзору современных методов исследования, перспективам развития нанотехнологий в различных отраслях промышленности, применению наноматериалов в современном строительстве и соответствию их международным нормам экологической безопасности.



На двух языках журнал «Строительный материалы»® вдвойне полезен российским, египетским и французским коллегам



Г.И. Яковлев руководил магистерской работой Мохамеда Сабера. Теперь впереди совместная работа над кандидатской диссертацией



Модератор секции «Применение наноматериалов в архитектуре и строительстве» профессор Магда Метвали (Magda Metwally, справа) и координатор профессор Мерват Халил (Mervat Khalil, слева)

При этом значительная группа докладов была посвящена результатам исследования, направленным на решение конкретных задач строительства Египта. Приведем несколько примеров.

Провинция Эль-Гарбия в центральной части дельты реки Нила является сельскохозяйственным регионом. Естественно, для него актуально использования отходов сельскохозяйственного производства. Ученые университета г. Танта представили доклад о получении строительных материалов с высокой механической прочностью и теплозащитными свойствами на основе рисовой соломы и наноструктурированного гипсового вяжущего.

Одним из признаков развития страны является рост объема грузоперевозок. Применение большегрузной



Магистрант ИЖГТУ А. Политаева впервые выступала перед зарубежными коллегами на английском языке. Она сделала доклад об устойчивости водных дисперсий многослойных углеродных нанотрубок

Студенты, магистранты и аспиранты Египетско-русского университета с российскими коллегами. Четвертый справа профессор Г.Н. Первушин, декан инженерно-строительного факультета ИЖГТУ





техники ведет к увеличению давления в шинах и нагрузке на оси, что неминуемо влечет ускоренное разрушение покрытия автомобильных дорог. Ученые инженерного факультета South Valley University (дословно можно перевести – Университет Южной долины), расположенного в г. Кене в центральной части Египта, предложили модифицировать битум наноразмерной известью  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , что позволило существенно улучшить физико-механические характеристики асфальтобетона, особенно повысить прочность и температуру размягчения.

Совместное исследование ученых университета Файюма (область Эль-Файюм), университета Бенхи (провинция Аль-Кальюбия), Исламского университета (Эр-Рияд, Саудовская Аравия) направлено на повыше-



В перерыве между заседаниями для демонстрации высокой растворимости новой добавки для бетона на основе МУНТ, производимой на его предприятии, П.В. Кульнев воспользовался подручными средствами

ние долговечности бетонных конструкций, эксплуатируемых в соленой воде озера Карун, которое так же называют Меридово озеро (оазис Эль-Файюм). В работе изучено влияние наноразмерного кремнезема на химическую стойкость цементного бетона.

Доклады российских коллег постоянно вызывают повышенный интерес, поскольку носят не общий, а конкретный характер.

Всего за два дня работы на конференции было представлено около 50 докладов. Египетские коллеги подготовили для участников интересную культурную программу. И конечно, российские ученые получили приглашение принять участие в следующей конференции, которая по традиции состоится в марте 2015 г.



У главного редактора журнала «Строительные материалы»® Е.И. Юмашевой и члена редакционного совета Ш.С. Хелми (ректора Египетско-российского университета) всегда есть темы для обсуждения



В этом году группа российских ученых посетила Саккару (Saqqara) – руины древнего кладбища старой столицы Египта Мемфиса на плато в долине реки Нила, где находятся захоронения, гробницы и пирамиды времен Позднего и Нового царства. В отличие от многих древних пирамид, пирамиды Саккары дошли до наших дней лишь разрушенными временем, но не разграбленными людьми. Это объясняется тем, что до середины XIX в. большая часть Саккары была скрыта песками, пока известный французский египтолог О. Мариетт не открыл Серапиум. Шаг за шагом отвоевывали археологи у пустыни бесценные свидетельства древности, одной из последних отыскан знаменитую ступенчатую пирамиду Джосера, которая считается первой пирамидой, построенной в Египте. Это древнейшее в мире сохранившееся крупное каменное здание.



УДК 331.361

В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук, В.В. НЕЛЮБОВА, канд. техн. наук, Н.С. ДАНАКИН, д-р социол. наук, В.А. ВАСНЕВА, ведущий специалист

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

## **Опыт реализации концепции непрерывной подготовки специалистов школа – вуз – предприятие в области наносистем в строительном материаловедении**

Предложена концепция создания единой научно-образовательной и производственной среды в триаде школа – вуз – предприятие на основе циклической замкнутости непрерывного образовательного процесса. Показаны основные цели и задачи системы в совокупности и каждой подсистемы в отдельности. Показано, что основой для формирования комплекса фундаментальных знаний у обучающихся является междисциплинарный подход, используемый при создании образовательных предметных модулей. Приведены инновационные образовательные технологии, с использованием которых осуществлялась подготовка специалистов. Выстроена хронология этапов формирования междисциплинарной системы в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова на примере подготовки специалистов, бакалавров, магистров и кадров высшей квалификации в области наносистем в строительном материаловедении.

**Ключевые слова:** подготовка кадров, наносистемы, непрерывное образование

V.V. STROKOVA, Doctor of Sciences (Engineering), V.V. NELUBOVA, Candidate of Sciences (Engineering), N.S. DANAKIN, Doctor of Sciences (Sociology), V.A. VASNEVA, lead specialist

Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (46, Kostyukov Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

### **Experience of Implementation of Continuous Training of Specialists «School – University – Enterprise» in the Field of Nanosystems in Building Materials**

The concept of creating a unified scientific and educational and working environment in the triad «School–University–Enterprise» on the basis of cyclic circularity of continuous educational process was proposed. The basic aims and issues of the system in common and for each subsystem separately were presented. It is shown that the basis for the formation of a complex of fundamental knowledge of students is an interdisciplinary approach that is used in the creation of educational subject modules. Innovative educational technology which application provides training were presented. Chronology of stages of forming interdisciplinary system in Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov on the example of training of specialists, bachelors, masters and highly qualified personnel in the field of nanosystems in building materials was organized.

**Keywords:** training of personnel, nanosystems, continuing education, interdisciplinary

Реализация федеральных программ жилищного<sup>1</sup> и дорожного<sup>2</sup> строительства невозможна без переориентации строительной отрасли на инновационный путь развития. Как показывает зарубежный опыт, разработка и производство современных высокоэффективных, энергосберегающих, долговечных, экологических и интеллектуальных строительных материалов основана на широком внедрении нанотехнологий. Это, в свою очередь, ставит задачу формирования образовательной инфраструктуры для подготовки кадрового потенциала отрасли.

В то же время согласно концепции образовательной деятельности ГК «Роснано»<sup>3</sup> создание национальной нанотехнологической сети, формируемой в соответствии с президентской инициативой «Стратегия развития nanoиндустрии»<sup>4</sup>, в качестве одного из факторов, обеспечивающих развитие нанотехнологий в Российской Федерации, предполагает значительное увеличение кадрового обеспечения организаций и предприятий, работающих по каждому из тематических направлений. Квалификация кадров должна определять и уровень проводимых исследований в этой междисциплинарной области, и качество производственных решений в области nanoиндустрии.

В этой связи в БГТУ им. В.Г. Шухова была разработана и реализована междисциплинарная научно-

образовательная система непрерывной подготовки кадров школа – вуз – предприятие в области наносистем в строительном материаловедении.

В основу концепции междисциплинарной научно-образовательной системы непрерывной подготовки кадров школа – вуз – предприятие в области наносистем в строительном материаловедении лег расширенный принцип опережающего образования, идея которого заключается в принципиальной ориентации системы на условия жизни и профессиональной деятельности, в которых окажется выпускник учебного заведения после его окончания.

Необходимым условием для создания системы стала глубокая интеграция научно-образовательных процессов в подсистемах «школа», «вуз» и «предприятие». Специалисты отрасли активно участвовали в научно-образовательных мероприятиях в школах и вузах, а сотрудники вузов курировали развитие школьных программ. Таким образом, было сформировано единое научно-образовательное пространство, которое обеспечило надежное хранение и ускоренную передачу профильной и междисциплинарной информации. Важным эффектом внедрения единого информационного пространства стала возможность обеспечения непрерывного и адаптивного научно-образовательного процесса в системе школа – вуз – предприятие.

<sup>1</sup> Постановление Правительства Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. № 1050 «О федеральной целевой программе «Жилище» на 2011–2015 годы».

<sup>2</sup> Постановление Правительства Российской Федерации от 5 декабря 2001 г. № 848 «О федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010–2015 гг.)».

<sup>3</sup> Утверждена Наблюдательным советом ГК «Роснано» (протокол № 20 от 04.08.09 г.).

<sup>4</sup> Поручение Президента Российской Федерации № Пр-688 от 24.04.2007 г.

Основными целями разработанной междисциплинарной научно-образовательной системы непрерывной подготовки кадров:

- подготовка будущих специалистов к работе в непрерывно развивающейся инновационной отрасли строительных материалов;
- внедрение системы параллельного образования в области наносистем в строительном материаловедении;
- обеспечение условий для непрерывного повышения междисциплинарной квалификации обучающихся;
- формирование гибкой системы поступательного профессионального и карьерного роста в системе школа – вуз – предприятие;
- построение системы формирования кадрового резерва в области инновационного направления «Наносистемы в строительном материаловедении».

Задачи системы сформированы как в совокупности общие для всех, так и с учетом подсистем в отдельности.

*Общие задачи в рамках междисциплинарной системы непрерывной подготовки кадров:*

- обеспечение преемственности знаний в системе школа – вуз – предприятие;
- обеспечение постоянной доступности междисциплинарной институциональной среды для получения актуальных знаний и навыков;
- создание системы непрерывного мониторинга оценки содержания и качества образования;
- обмен опытом с лидерами научной и производственной среды в области наносистем в строительном материаловедении;
- предоставление широких возможностей для самообучения;
- разработка методологии прогнозирования будущих потребностей отрасли в инновационных кадрах;
- создание института наставничества в инновационной системе школа – вуз – предприятие;
- формирование личностной мотивации и инновационного мышления.

*Задачи в рамках подсистемы «школа» междисциплинарной системы непрерывной подготовки кадров:*

- раннее вовлечение школьника в процесс активного познания в среде профессионального сообщества;
- формирование социально активной личности;
- привлечение ребенка к профильным занятиям и научной деятельности в области нанотехнологий;
- адаптация образовательных материалов для повышения эффективности восприятия обучающихся;
- использование принципиально новых методик и технологий преподавания;
- анализ долгосрочной перспективы развития образовательного процесса ученика;
- выявление талантливых детей и целенаправленная работа по их развитию с применением инновационных методов и технологий.

*Задачи в рамках подсистемы «вуз» междисциплинарной системы непрерывной подготовки кадров:*

- помощь в профессиональной адаптации и успешном трудоустройстве;
- организация целевой подготовки обучающихся по инновационным направлениям;
- внедрение системного процесса стажировок на предприятиях промышленности строительных материалов, в том числе и международных;
- самостоятельное проектирование и прогнозирование собственной профессиональной карьеры с учетом необходимости непрерывного повышения квалификации.

*Задачи в рамках подсистемы «предприятие» междисциплинарной системы непрерывной подготовки кадров:*

- снижение порога вхождения в рабочий процесс для молодых специалистов;
- формирование неинституциональной среды, стимулирующей процесс инновационного развития предприятия;
- обеспечение постоянной нацеленности специалистов на генерацию инноваций и нововведений;
- формирование у специалиста набора интеллектуальных моделей для решения междисциплинарных задач;
- создание опережающей системы формирования кадрового резерва для отрасли за счет междисциплинарного взаимодействия в системе школа – вуз – предприятие;
- повышение уровня квалификации и инновационной грамотности специалистов предприятия за счет интеграции в научно-образовательную среду.

Реализация предложенной концепции осуществлялась с использованием как традиционных, так и инновационных образовательных технологий, элементов и инструментов, предварительно адаптированных для обучения по направлению «Наносистемы в строительном материаловедении»:

### *1. Образовательные технологии.*

- 1.1. Технокейсы (кейс-метод).
- 1.2. Научно-исследовательская деятельность.
- 1.3. E-learning.
- 1.4. Элективные курсы для школьников.

### *2. Образовательные элементы.*

- 2.1. Научные практики.
- 2.2. Научно-производственные практики.
- 2.3. Деловые (ролевые) игры в условиях реального производства.
- 2.4. Мультипредметные практики.
- 2.5. Зарубежные стажировки.
- 2.6. Научная активность студентов и школьников.
- 2.7. Кружок «НИКА».
- 2.8. Внеучебные поддерживающие проекты.

### *3. Образовательные инструменты.*

- 3.1. Междисциплинарные образовательные комплексы.
- 3.2. Онлайн-мониторинг качества образования.
- 3.3. Информационно-аналитическая система выявления и поддержки талантливых детей.
- 3.4. Информационно-образовательный портал.
- 3.5. Компьютерное моделирование процессов в области наносистем в строительном материаловедении.
- 3.6. Использование технологий 3D-визуализации и 3D-печати.

3.7. Межрегиональная общественная организация «Ассоциация ученых и специалистов в области строительного материаловедения».

Разработанная научно-образовательная система создает условия и предпосылки для непрерывной подготовки специалистов в отдельно взятом научном направлении.

Отличительной чертой системы является циклическая замкнутость непрерывного образовательного процесса. Она позволяет создать своеобразный эволюционный круговорот обучающихся. В частности, возникает высокая вероятность, что новые поколения участников образовательного процесса начиная со школьного образования будут являться участниками этой системы в будущем. Таким образом, создается благоприятная творческая, инновационная среда для формирования элитности обучающихся.

Ведущие высшие заведения страны формируют элитные контингенты обучающихся по фундаменталь-

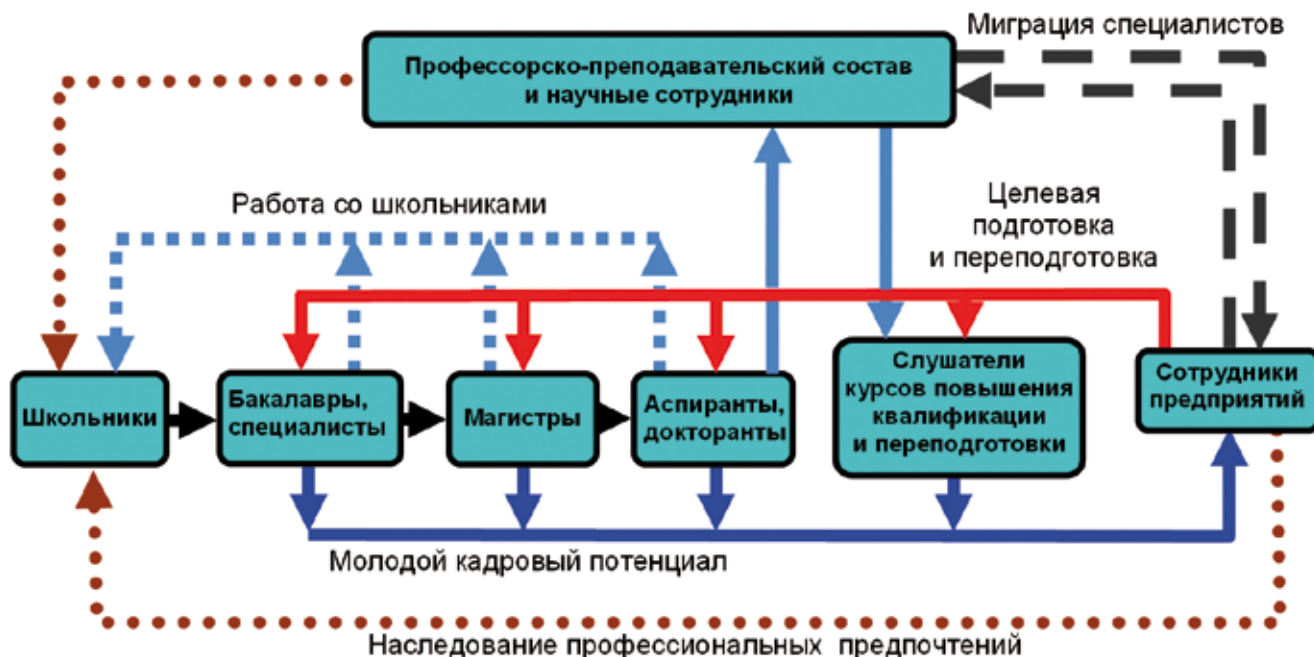


Рис. 1. Инкапсуляция различных категорий обучающихся через систему непрерывной опережающей подготовки в среду элитарного профессионального сообщества

ным направлениям науки и техники через свои специализированные средние учебные заведения – физико-математические школы и школы-интернаты. Основу обучающихся в них составляют, как правило, тщательно отобранные в различных регионах одаренные школьники – победители и призеры региональных и общероссийских олимпиад по профильным дисциплинам. Подобный подход (по принципам «снятия сливок» или «с бору по сосенке») способен подготовить относительно небольшое в масштабах страны количество будущих элитных специалистов.

Реализация такого подхода для вузов производственно-технической направленности невозможна, с одной стороны, ввиду отсутствия специализированных, предметно-ориентированных школ и, с другой – из-за необходимости массовой, в масштабах промышленных отраслей подготовки высококлассных элитных специалистов и команд профессионалов.

Поэтому наиболее целесообразно начальное формирование элитного контингента обучающихся путем вовлечения школьников в среду научно-образовательной системы. Это происходит через прохождение элективных курсов и участие в научно-исследовательской работе по отдельным вопросам нанотехнологий. Задача данного этапа заключается в создании и стимулировании у школьников интереса к креативной деятельности и повышению общеобразовательного уровня. Кроме того, у них создается устойчивая профориентационная мотивация – связать свою будущую профессиональную деятельность с отраслью промышленности строительных материалов.

Студенты, работая в группах над инновационными проектами в условиях, аналогичных производственным, приобретают необходимые профессиональные навыки для будущей деятельности. Метод погружения в проблемно-предметную среду современных инновационных разработок в области наносистем в строительном материаловедении, генераторами которых являются аспиранты и докторанты, стимулирует студентов на активизацию многоплановой профессиональной подготовки. Кроме того выполняя в проектных группах функции наставников для школьников, студенты приобретают навыки и компетенцию менеджмента.

В процессе получения высшего образования, при получении степеней бакалавра и магистра, а также квалификации специалиста реализуются два варианта их карьерно-квалификационного роста (рис. 1).

Первый вариант заключается в возможности для заинтересованных и склонных к научной деятельности продолжения образования в аспирантуре. Эта категория высококвалифицированных специалистов пополняет ряды профессорско-преподавательского состава и научно-исследовательского персонала вуза. Они становятся основой интеллектуальной и креативной кадровой компоненты инновационного, научно-прикладного направления отрасли.

Второй вариант – трудоустройство на предприятиях отрасли или создание собственных инновационных предприятий непосредственно после завершения образования в бакалавриате, специалитете или магистратуре.

Циклический компонент системы непрерывного образования составляют различные формы профессиональной переподготовки и повышения квалификации для сотрудников предприятий, профессорско-преподавательского состава и научного персонала вузов.

Особая роль в разработанной научно-образовательной системе непрерывной подготовки кадров школа – вуз – предприятие в области наносистем в строительном материаловедении отводится профессорско-преподавательскому составу и научному персоналу вуза. Подготовка и переподготовка специалистов по направлению наносистемы в строительном материаловедении происходит, образно говоря, на острие научно-исследовательских событий последних нескольких лет. Поэтому к этой категории участников научно-образовательной системы выдвигается требование непосредственного получения и поиска в научно-информационной среде новых знаний и оперативной их адаптации для использования в образовательном процессе.

Немаловажным при подготовке специалистов любого уровня является наличие необходимой инфраструктуры. Для реализации предложенной образовательной концепции, решения важных фундаментальных и прикладных задач, образования новых научных



**Рис. 2.** Этапы решения технокейсов

школ был создан научный консорциум по направлению наносистемы в строительном материаловедении [1]. В рамках консорциума, объединившего инструментальную и научную базу, партнерами университета стали ведущие вузы РФ и зарубежных стран, осуществляющие подготовку кадров как по направлению «Строительство», так и по направлениям материаловедения и геологического цикла наук. Консорциум объединил усилия ученых различных ветвей науки для проведения комплекса междисциплинарных исследований. Впервые для решения такого крупного проекта были объединены усилия Российской академии наук и Российской академии архитектуры и строительных наук.

Для координации деятельности по разработке, апробации и внедрению инновационных разработок в области создания и продвижения высокоэффективной продукции в БГТУ им. В.Г. Шухова создан и активно функционирует Инновационный научно-образовательный и опытно-промышленный центр наноструктурированных композиционных материалов (ИНО и ОПЦ НКМ), который объединил в единую цепочку все этапы: научные исследования, образовательную деятельность, апробацию научных разработок в полупромышленных условиях и упаковку проектов для последующего инвестирования.

Таким образом, БГТУ им. В.Г. Шухова обладает всей необходимой инфраструктурой для подготовки высококвалифицированных специалистов в области наносистем в строительном материаловедении.

Апробация указанной системы в области наносистем в строительном материаловедении начата более десяти лет назад и продолжается по сей день. Стоит отметить, что ученые БГТУ им. В.Г. Шухова на протяжении двух десятилетий занимаются проблемами многоуровневой подготовки специалистов и адаптации их к работе на предприятиях строительного профиля [2–4].

Результаты реализации непрерывной системы подготовки можно отследить по всем ее уровням в отдельности: в подсистемах «школа», «вуз», «предприятие».

Так, для реализации системы подготовки в подсистеме «школа» коллективом ИНО и ОПЦ НКМ были

созданы экспериментальные классы, основной миссией которых стала помощь в реализации идей и просто самореализации наиболее активной и талантливой молодежи. Следующим этапом стало введение разработанного курса «Основы нанотехнологий» в школах Белгородской области, что позволило расширить представления будущих абитуриентов о наиболее актуальном и перспективном направлении развития всех областей знаний, как технических, так и гуманитарных.

При работе с учащимися особое внимание уделяется увлекательной внеклассной работе, которая включает: учебно-исследовательские проекты, проектные работы, экскурсии в научно-исследовательские центры, участие в выполнении реальных научно-исследовательских работ в рамках проектных групп, посещение специализированных выставок, выступление на конференциях и семинарах регионального, областного, всероссийского уровней. Однако только в ходе выполнения конкретной проектной или научной работы запоминается самое большое количество информации, приобретаются практические исследовательские навыки и формируется настоящее научное сознание.

Реализация в подсистеме «вуз» осуществляется в рамках подготовки инженеров, бакалавров, магистров, а также кадров высшей квалификации. Результаты многолетней научной деятельности ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, созданная и общепризнанная как в РФ, так и за рубежом научная школа в области строительного материаловедения, анализ передовых образовательных технологий, методов и инструментов позволили разработать концепцию подготовки элитных специалистов материаловедов-исследователей с фундаментальным университетским образованием. БГТУ им. В.Г. Шухова – первый в России вуз, в рамках которого осуществляется подготовка специалистов в области наносистем в строительном материаловедении.

Система обучения специалистов в рамках концепции непрерывной подготовки максимально приближена к реальной инженерной деятельности, направлена на приобретение навыков решения сложных техниче-

ских задач за счет профессионального и творческого подхода.

Студенты в процессе обучения получают базовые знания в области общих гуманитарных и социально-экономических дисциплин, математических и общих естественно-научных, общепрофессиональных и специальных дисциплин. Комплекс знаний, изучаемых в рамках базовых дисциплин, ориентирован на будущую специализацию студента и направлен на формирование профессиональных навыков. Междисциплинарные связи при их целенаправленном формировании выступают как принцип конструирования учебного процесса. Они позволяют осуществить синтез разнопредметных знаний и реализовать системный подход к профессиональному обучению специалистов в области наносистем в строительном материаловедении.

Для повышения качества практической инженерной подготовки и оценки степени подготовки выпускников к профессиональной деятельности разработаны междисциплинарные учебные комплексы, предусматривающие изучение всех дисциплин в тесной взаимосвязи между собой, с различными видами практик. Применение знаний, полученных при обучении, обеспечивает активное и результативное участие студентов в составе проектных групп при решении фундаментальных и прикладных задач в рамках формируемых технокейсов (рис. 2).

Подготовленные кадры высшей квалификации (кандидаты и доктора наук) в рамках междисциплинарной научно-образовательной системы непрерывной подготовки кадров школы – вуз – предприятие в области наносистем в строительном материаловедении являются главным резервом профессорско-преподавательского состава и основой создания научной элиты инновационной экономики России.

В процессе обучения аспиранты и докторанты ведут активную научно-исследовательскую и образовательную деятельность. Эта категория обучающихся может выступать как наставниками, так и коучами (наравне с докторами наук) в составе проектных групп. Обладая опытом реализации проектов и решения технокейсов, работая с участниками группы, они подводят их к самостоятельной постановке цели и ее достижению.

Молодые ученые, защитившие диссертации в период реализации междисциплинарной системы, в определенное время являлись представителями той или иной подсистемы в системе школы – вуз – предприятие и прошли через выполнение функциональных ролей, свойственных каждой подсистеме. Это весьма красноречиво демонстрирует возможности и эффективность разработанной системы междисциплинарной подготовки кадров.

Для обеспечения промышленности строительных материалов высококвалифицированными специалистами, способными оперативно решать задачи внедрения инновационных разработок с переходом на выпуск высокоэффективной, в том числе принципиально новой продукции, получаемой с использованием нанотехнологий, при реализации междисциплинарной непрерывной подготовки кадров в подсистеме «предприятие» проводились профессиональная переподготовка специалистов и курсы повышения квалификации, в том числе была разработана и реализована программа повышения квалификации в системе E-learning:

- программа профессиональной переподготовки в области производства бесцементных минеральных наноструктурированных вяжущих негидратационного твердения и композиционных материалов строительного назначения на их основе (2010 г.);

- краткосрочные курсы повышения квалификации для продвижения технологий производства энергоэффективных наноструктурированных композиционных материалов (2011 г.). Тематическая ориентация образовательных модулей определялась согласно основным направлениям производственной деятельности «портфельных» компаний ОАО «Роснано», создающих и реализующих продукцию, в том числе для строительной отрасли: солнечная энергетика; создание тонкопленочных солнечных модулей (ООО «Хевел»); светодиоды и светотехника (ЗАО «Оптоган»); энергоэффективное стекло (ГК «СТиС»); композиционные материалы на основе углеволокна в строительстве (ХК «Композит»);

- дополнительные образовательные курсы для учащихся старших классов «Основы нанотехнологий в строительстве» (2011 г.);

- программа повышения квалификации «Основы нанотехнологий в строительстве» (обучение в режиме E-learning, 2012 г.);

- программа профессиональной переподготовки и повышения квалификации «Разработка наноструктурированных водных эмульсий полимеров» (2013 г.).

Разработка и реализация указанных программ осуществлялись по заказу предприятий строительной отрасли проводились при содействии Фонда инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО (ФИОП).

Целью образовательных программ профессиональной переподготовки являлось опережающее обеспечение кадровых потребностей предприятий путем формирования профессиональных компетенций технических специалистов отрасли строительных материалов с использованием современных нанотехнологических подходов к проектированию и производству высокоэкологичной и энергосберегающей продукции строительного и специального назначения.

Основной целью курсов повышения квалификации было создание образовательной инфраструктуры для повышения квалификации различных групп слушателей как организаций и предприятий, реализующих проекты по внедрению нанотехнологических инноваций, так и для реализации инновационной многоуровневой системы дистанционного образования в области нанотехнологий. В качестве целевой задачи краткосрочных курсов повышения квалификации были сформулированы необходимые образовательные результаты (компетенции), которыми должны обладать слушатели по окончании учебного процесса.

В качестве пилотной части широкомасштабного проекта, реализуемого Национальным фондом подготовки кадров совместно с ФИОП, коллектив ИНО и ОПЦ НКМ разрабатывал и апробировал первый образовательный инфраструктурный проект для нужд промышленности строительных материалов РФ, который был реализован по системе E-learning. E-learning – обучение, построенное с использованием информационных и телекоммуникационных технологий, эффективная модель приобретения слушателем новых знаний, умений и опыта практической деятельности. Включает поддержку процесса обучения и доставку учебного контента слушателям через Интернет.

Все программы (переподготовки, повышения квалификации, курсы для школьников) апробировались в очно-дистанционной форме с использованием образовательного портала [npoopen.ru](http://npoopen.ru).

Реализация междисциплинарной научно-образовательной системы непрерывной подготовки кадров в подсистеме «предприятие» дает ее участникам комплекс знаний, навыков и компетенций, необходимых для обеспечения инновационного развития технологи-

ческих и организационных процессов отдельных производственных предприятий и всей промышленности строительных материалов. Использование современных систем информационной поддержки обучаемых с применением дистанционных образовательных технологий обеспечивает индивидуальность, оперативность, целенаправленность и доступность всего образовательного процесса. Развитию инновационной грамотности и активности участников системы способствует использование разработанных с привлечением ведущих отечественных и зарубежных специалистов междисциплинарных лекционных и практических курсов в области наносистем в строительном материаловедении.

### Список литературы

1. Строкова В.В., Гридчин А.М., Лесовик В.С. Консорциум как инструмент развития направления наносистемы в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2007. № 8. С. 9–11.
2. Гридчин А.М., Лесовик В.С., Оспишев П.И. Инновационный комплекс в инфраструктуре Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. *Инновационный университет и инновационное образование: модели, опыт, перспективы*: сборник трудов конференции. М. 2003. С. 38–41.
3. Гридчин А.М., Лесовик В.С., Севостьянов В.С., Оспишев П.И., Фомин В.Н. Организация непрерывного многоуровневого профессионального образования в УНИК БГТУ им. В.Г. Шухов. *Инновационные технологии в системе непрерывного профессионального образования*: сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. Новочеркасск, 2004. С. 30–33.
4. Шутенко А.И., Оспишев П.И. Социокультурная детерминация инновационного развития высшей школы. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. № 9. С. 109–111.

Таким образом, междисциплинарная научно-образовательная система непрерывной подготовки кадров школа – вуз – предприятие первоначально, была разработана и апробирована для строительного материаловедения. В ней учитывалась специфика отрасли производства строительных материалов. Тем не менее эта система после соответствующей проблемно-отраслевой адаптации – с учетом масштабности производства, географического положения регионов, их экономического и инфраструктурного развития может быть использована в качестве методологической основы для опережающей базовой и непрерывной подготовки специалистов любых других направлений

### References

1. Strokovva V.V., Gridchhin A.M., Lesovik V.S. Consortium as an instrument of development of profile nanosystems in building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 8, pp. 9–11. (In Russian).
2. Gridchhin A.M., Lesovik V.S., Ospishhev P.I. Innovative complex in infrastructure of Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov. *Innovation University and innovative education: models, experience, perspectives*: Proceedings of the conference. Moscow. 2003, pp. 38–41. (In Russian).
3. Gridchhin A.M., Lesovik V.S., Sevost'janov V.S., Ospishhev P.I., Fomin V.N. Management of multi-level organization of vocational education in Educational Research and Innovation Complex of BSTU named after V.G. Shoukhov. *Innovative technologies in continuing professional education: a collection of research papers based on the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Novocherkassk. 2004, pp. 30–33. (In Russian).
4. Shutenko A.I., Ospishhev P.I. Social and cultural determination of innovative development of higher education. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy*. 2013. No. 9, pp. 109–111. (In Russian).



**БЕЛГОРОДСКАЯ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА**

» **БЕЛЭКСПОЦЕНТР**



**6–8 августа 2014**

**X БЕЛГОРОДСКИЙ**

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ**

**XI межрегиональная специализированная выставка**

**СОВРЕМЕННЫЙ ГОРОД**

**Стройиндустрия**

**Энергетика. Ресурсосбережение.**

**Экология**



Т./ф.: (4722) 58-29-40, 58-29-48, 58-29-65, 58-29-66, 58-29-41  
E-mail: [belexpro@mail.ru](mailto:belexpro@mail.ru); [www.belexprocentr.ru](http://www.belexprocentr.ru). Белгород, ул. Победы, 147-а

УДК 544.774:691

Е.В. КОРОЛЕВ, д-р техн. наук, директор

Научно-образовательный центр «Наноматериалы и нанотехнологии»,  
Московский государственный строительный университет (129337, Москва, Ярославское ш., 26)

## Оценка концентрации первичных наноматериалов для модифицирования строительных композитов

Представлены модели механизмов влияния первичных наноматериалов на структурообразование строительных материалов: модель № 1 заключается в предположении об уплотняющем и упрочняющем влиянии первичных наноматериалов на вещество матричного материала композита, возникающем под действием физико-химического потенциала частиц; в модели № 2 – первичные наноматериалы являются центрами кристаллизации, а в модели № 3 первичные наноматериалы являются барьерами, предотвращающими объединение и перекристаллизацию кристаллов матричного материала композита. Проведена оценка концентрации и размеров первичных наноматериалов, введение которых обеспечивает формирование структуры материала с наноразмерными параметрами. Показано, что для формирования структуры материала с характерными размерами структурных элементов не более 100 нм первичный наноматериал должен иметь размер менее 100 нм и их концентрация должна быть близка к 10 об. %. Для каждой модели установлены зависимости, характеризующие интенсивную зависимость концентрации первичных наноматериалов от их размера. Сформулированы задачи развития исследований в области применения первичных наноматериалов в строительном материаловедении.

**Ключевые слова:** первичные наноматериалы, наноразмерный модификатор, оценка концентрации, строительный композит, нанотехнология.

E.V. KOROLEV, Doctor of Sciences (Engineering), Director  
Research and Education Center «Nanomaterials and Nanotechnology» Moscow State University of Civil Engineering  
(26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Assessment of Primary Nano-materials Concentration for Modification of Building Composites

The article presents models of mechanisms of influence of primary nano-materials on the structure formation of building materials: Model № 1 is a supposition about compacting and strengthening influence of primary nano-materials on the substance of matrix material of a composite which arise under the action of physical-chemical potential of particles; Model № 2 – primary nano-materials are centres of crystallization; Model № 3 – primary nano-materials are barriers which prevent the amalgamation and recrystallization of crystals of the composite matrix material. The assessment of concentration and sizes of primary nano-materials, introduction of which ensures the formation of material structure with nano-size parameters, is made. It is shown that to form the structure of material with characteristic sizes of structural elements not over 100 nm, the primary nano-material should have the size less than 100 nm and their concentration should be near 10% by volume. The dependences characterizing the intensive dependence of the nano-materials concentration on their sizes are established for each model. The goals of studies in the field of using primary nano-materials in the building material science are formulated.

**Keywords:** primary nano-materials, nano-size modifier, assessment of concentration, building composite, nano-technologies.

Современный этап развития нанотехнологии в строительном материаловедении связан с накоплением эмпирических данных по влиянию и эффективности применения различных первичных наноматериалов. Экспериментальные данные, как правило, различаются не только по величине достигаемого эффекта, но и его знаком. Также недостаточно статистической информации и сведений о влиянии первичных наноматериалов на весь спектр свойств, определяющих качество строительного материала. Кроме того, отсутствуют данные о влиянии среды-носителя, не содержащей первичных наноматериалов, но прошедшей все физические и/или химические воздействия, на показатели качества строительного материала. Отсутствие такой эмпирической информации сдерживает разработку адекватного механизма влияния первичных наноматериалов на структурообразование материала и его эффективную технологию [1].

Очевидно, что свойства дисперсной системы зависят от содержания контактирующих фаз. При этом масштабный эффект является интенсифицирующим фактором, влияющим на синергизм. Из этого следует, что при введении первичных наноматериалов их влияние также может быть оценено концентрацией (объемной долей –  $v_n$ ) и характерным размером  $d_n$ .

Рассмотрим несколько гипотез влияния первичных наноматериалов и установим соответствующие значения  $v_n$  и  $d_n$ , обеспечивающие получение материала, состоящего из структурных элементов с размерами не более 100 нм. Дополнительно условимся, что в данной работе рассматривается строительный композит, содержание матричного материала в котором оценивается величиной объемной доли  $v_m$  ( $v_m < 1$ ).

**Гипотеза № 1.** Первичные наноматериалы, обладая избыточной поверхностной энергией, влияют на структуро-

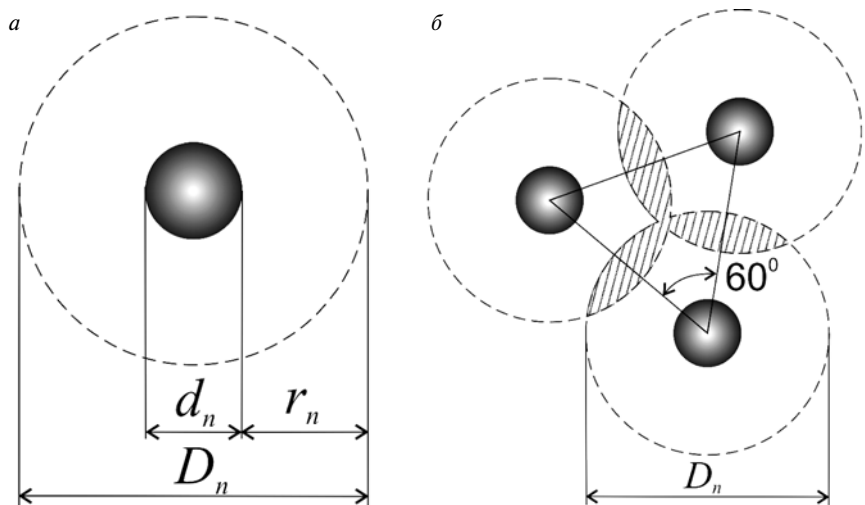


Рис. 1. Модельные представления по первой гипотезе

Таблица 1

Зависимость  $v_n=f(k)$ , % (при  $v_m=0,2$ ,  $\eta_n=0,74$ )

Значение $k=r_n/d_n$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,548	0,118	0,043	0,02	0,011	0,007	0,004	0,003	0,0022	0,0016

Таблица 2

Характерные размеры кристаллов  $d_k$ , нм (при  $v_m=0,2$ )

Характерный размер первичного наноматериала, нм				
10	50	100	500	1000
Объемная доля первичного наноматериала $v_n=1 \cdot 10^{-6}$				
471	2357	4714	23568	47135
$v_n=1 \cdot 10^{-5}$				
219	1094	2188	10939	21878
$v_n=1 \cdot 10^{-3}$				
47	236	471	2357	4714
$v_n=1 \cdot 10^{-1}$				
10	51	102	508	1015

Таблица 3

Параметры  $d_n$  и  $v_n$  (при  $\xi=8$ ,  $d_k=100$  нм)

Параметр	Соотношение $d_n/d_k$			
	1	0,5	0,1	0,01
$d_n$	100	50	10	1
$v_n$	0,13	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$

образование матричного материала, способствуя образованию плотного и прочного вещества.

Указанное предполагает наличие некоторой сферы влияния первичного наноматериала  $D_n$  (рис. 1, а). Количество таких сфер, которые могут разместиться в матричном материале композита, равно:

$$N_n = \frac{6\eta_n v_m V_0}{\pi D_n^3};$$

объем, занимаемый частицами первичного наноматериала:

$$V_n = \frac{\pi}{6} d_n^3 N_n,$$

где  $\eta_n$  – максимальная степень наполнения;  $V_0$  – объем композита.

Отсюда объемная доля первичного наноматериала равна:

$$v_n = \frac{V_n}{V_0} = v_m \eta_n \left( \frac{d_n}{D_n} \right)^3.$$

При замене  $D_n = d_n + 2r_n$  и  $r_n = kd_n$  получим:

$$v_n = v_m \eta_n \left( \frac{1}{1+2k} \right)^3.$$

Зависимость  $v_n=f(k)$  представлена в табл. 1, из которой видно, что при адекватной оценке величины  $r_n$  ( $r_n=10^{-7}-10^{-9}$  м [2]) характерный диаметр первичных наноматериалов не должен превышать 100 нм ( $d_n=1-100$  нм). Применение более крупных образований первичных наноматериалов, например агрегатов, существенно увеличивает их расход, но не увеличивает возможный положительный эффект.

При необходимости обеспечения воздействия первичных наноматериалов на весь объем матричного материала композита сферы их влияния будут пересекать-

ся (рис. 1, б). Это приведет к очевидному увеличению объемной доли первичных наноматериалов:

$$v_n = \frac{v_m}{k_g} \left( \frac{d_n}{D_n} \right)^3 = \frac{v_m}{k_g} \left( \frac{1}{1+2k} \right)^3,$$

где  $k_g = \frac{2\cos(30^\circ)-1}{\cos(30^\circ)} = 0,604$ .

Отсюда величина объемной степени наполнения первичных наноматериалов при условии их влияния на весь объем матричного материала будет больше величины объемной доли первичных наноматериалов при их контактном расположении (табл. 1) в  $\eta_n/0,604=1,225$  раза. При этом требование к характерному размеру первичных наноматериалов сохраняется.

**Гипотеза № 2.** Первичные наноматериалы являются центрами кристаллизации (рис. 2, а).

В этом случае число центров кристаллизации и количество кристаллов будут равны  $N_n$ :

$$N_k = N_n = \frac{6v_m V_0}{\pi D_n^3 k_g}.$$

Из предыдущих формул определим:

$$D_n^3 = \frac{v_m d_n^3}{k_g v_n}.$$

Отсюда число кристаллов:

$$N_k = \frac{6v_n V_0}{\pi d_n^3}.$$

Предположим, что все кристаллы растут равномерно и в конце процесса роста их характерный размер будет равен  $d_k$ . Тогда объем одного кристалла равен:

$$v_k = \frac{v_m V_0}{N_k} = \frac{v_m \pi}{v_n} \frac{d_n^3}{6},$$

а его характерный размер  $d_k = 0,806 d_n \sqrt[3]{\frac{v_m}{v_n}}$ .

Результаты расчета приведены в табл. 2, из анализа которой можно заключить, что формирование структуры матричного материала, имеющей наноразмерные параметры, возможно при использовании первичных наноматериалов с размерами менее 100 нм и концентрацией (объемной долей) не менее 0,1.

**Гипотеза № 3.** Первичные наноматериалы располагаются на границе раздела кристаллов, предотвращая их укрупнение, перекристаллизацию и снижая плотность объемных дефектов.

Проведение оценки параметров  $d_n$  и  $v_n$  в соответствии с данной гипотезой требует некоторого дополнительного упрощения, а именно: предположим, что первичные наноматериалы располагаются только в узлах кристаллического сростка (агломерата). Узлом является область примыкания кристаллов (рис. 2, б). В этом случае количество частиц первичного наноматериала  $N_n$  будет равно числу узлов  $N_{y3}$ :

$$N_{y3} = \frac{2}{\xi} N_k = \frac{2 v_m V_0}{\xi d_k^3},$$

где  $\xi$  – координационное число.

Отсюда объемная доля первичного наноматериала:

$$v_n = N_{y3} \frac{\pi}{6} d_n^3 / v_m V_0 = \frac{\pi}{3\xi} \left( \frac{d_n}{d_k} \right)^3.$$



Таблица 4

Эмпирические данные по влиянию первичных наноматериалов на свойства строительных материалов

Авторы	Вид системы	Вид первичного наноматериала	Концентрация	Эффект
М.Е. Юдович и др. [3]	Мелкозернистый бетон	Астралены™ – фуллероидный наномодификатор	0,01–0,013% от массы цемента	Снижение расхода пластификатора на 50–60%; повышение прочности на 15–20%
Г.И. Яковлев и др. [4]	Газобетон на основе фторангидрита	Углеродные нанотрубки «Таунит»	0,05% от массы матрицы	Повышение прочности на 14–19%
Г.И. Яковлев и др. [5]	Цементный пенобетон	Углеродные нанотрубки	0,05% от массы матрицы	Повышение прочности в 1,7–2 раза; снижение теплопроводности на 20%
С.Н. Толмачев и др. [6]	Мелкозернистый бетон	Углеродные коллоидные частицы	0,0045 и 0,0225% от массы цемента	Повышение прочности в 1,2–1,5 раза
Н.П. Лукутцова и др. [7]	Мелкозернистый бетон	Наноразмерный кремнезем	–	Повышение прочности до 1,9 раза
М.Г. Габидуллин и др. [8]	Мелкозернистый бетон	Углеродные нанотрубки Graphistrength	0,0005–0,0025% от массы цемента	Повышение прочности при сжатии на 13% и прочности при изгибе на 41%

Величины объемной доли первичного наноматериала, обеспечивающего формирование матричного материала композита с размерами структурных элементов (кристаллов) не более 100 нм, приведены в табл. 3.

Некоторые эмпирические данные представлены в табл. 4.

Расчеты объемной доли первичных углеродных наноматериалов, проведенные по представленным эмпирическим данным, показывают, что максимальная величина  $v_n = (1,1-1,4) \cdot 10^{-4}$ . Эти результаты существенно отличаются от величин, вычисленных теоретически по представленным моделям.

Данные, полученные с применением предложенных геометрических представлений, безусловно, являются общими и не позволяют прогнозировать результаты для конкретных материаловедческих систем по причине отсутствия взаимосвязи с физико-химическими свойствами контактирующих фаз (указанное заменено геометрическими величинами, не зависящими от свойств вещества и выбираемыми произвольно). Однако такие модели с привлечением эмпирических данных позволяют сделать оценки предельных значений величин (размер и концентрация первичного наноматериала), контроль которых может быть осуществлен в технологическом процессе. Кроме того, они являются основой для формирования модели механизма влияния первичного наноматериала на структурообразование модифицируемого строительного композита, его математической записи и основой для управления тиражируемых технологий различных материаловедческих систем. Проведенные расчеты показывают, что для получения строительных материалов, имеющих наноразмерные параметры структуры, необходимо использовать первичные наноматериалы с характерными размерами менее 100 нм, объемная доля которых должна быть близкой к 10%. Уменьшение размеров применяемых первичных наноматериалов способствует существенному снижению их концентрации. Так, по второй гипотезе при использовании первичных наноматериалов с характерным размером  $d_n = 10$  нм матричный

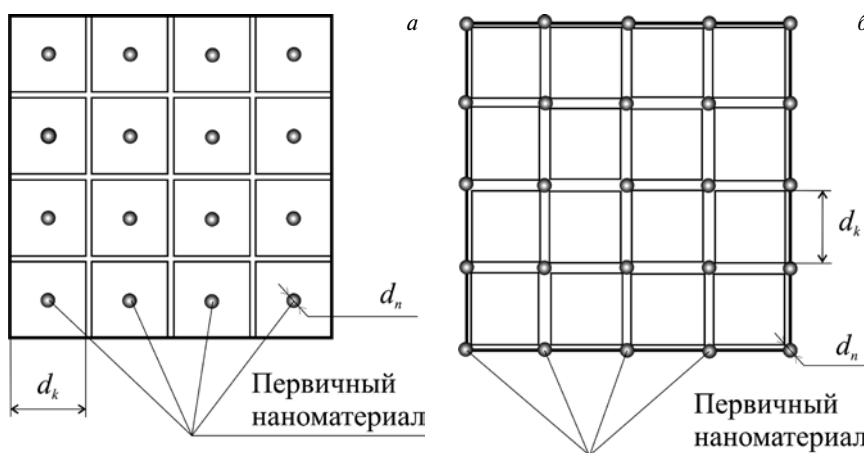


Рис. 2. Модельные представления второй (а) и третьей (б) гипотез

материал с  $d_k \approx 100$  нм формируется при  $v_n = 1 \cdot 10^{-4}$ , что сопоставимо с полученными эмпирическими данными (табл. 4).

Сопоставление эмпирических данных с представленными теоретическими оценками позволяет сформулировать задачи развития исследований в области применения первичных наноматериалов:

- а) установить влияние физико-химических аспектов взаимодействия контактирующих фаз;
- б) оценить влияние предыстории технологических воздействий на среду-носитель, содержащую первичные наноматериалы, на этапе подготовки к наномодифицированию композита;
- в) оценить адекватность полученных экспериментальных данных по влиянию первичных наноматериалов на параметры структуры и качество строительного композита с привлечением статистического анализа.

#### Список литературы

1. Королев Е.В. Принцип реализации нанотехнологии в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 60–64.
2. Вейцман Э.В. Квазитонная теория межфазовой области раздела и ее приложения. М.: Энергоатомиздат, 1999. 144 с.



3. Юдович М.Е., Пономарев А.Н., Великоруссов П.В., Емелин С.В. Регулирование свойств пластичности и прочности бетонов // *Строительные материалы*. 2007. № 1. С. 56–58.
4. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Крутиков В.А., Макарова И.С., Мачюлайтис Р., Фишер Х.-Б., Бурьянов А.Ф. Газобетон на основе фторангидрита, модифицированный углеродными наноструктурами // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 70–72.
5. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Кодолов В.И., Крутиков В.А., Кодолов В.И., Крутиков В.А. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками. *Строительные материалы*. 2009. № 3. С. 99–102.
6. Толмачев С.Н., Беличенко Е.А., Холодный А.Г. Технологические, механические и структурные характеристики цементных систем с углеродными коллоидными частицами // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 96–100.
7. Лукутцова Н.П. Наномодифицирующие добавки в бетон // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 101–104.
8. Габидуллин М.Г., Хузин А.Ф., Рахимов Р.З., Ткачев А.Г., Михалева З.А., Толчков Ю.Н. Ультразвуковая обработка – эффективный метод диспергирования углеродных нанотрубок в объеме строительного композита. *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 57–59.

**References**

1. Korolev E.V. Principle of realization of nanotechnology in building materials science. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 60–64. (In Russian)
2. Veitsman E.V. Kvazitonnyaya teoriya mezhfazovoi oblasti razdela i ee prilozheniya [Quasi-ton interphase regions theory and its applications]. Moscow: Energoatomizdat. 1999. 144 p.
3. Yudovich M.E., Ponomarev A.N., Velikorussov P.V., Emelin S.V. Regulation properties of ductility and strength concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 1, pp. 56–58. (In Russian)
4. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Krutikov V.A., Makarova I.S., Machyulaitis R., Fisher Kh.-B., Bur'yanov A.F. Gas concrete based ftorangidrita modified carbon nanostructures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 70–72. (In Russian)
5. G.I. Yakovlev, G.N. Pervushin, A.F. Buryanov, V.I. Ko-dolov, V.A. Krutikov, H.-B. Fisher, Ya. Kerene Modification of porous cement matrixes with carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 3, pp. 99–102. (In Russian)
6. Tolmachev S.N., Belichenko E.A., Kholodny A.G. Technological, mechanical and structural characteristics of cement systems with carbon colloidal particles. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 96–100. (In Russian)
7. Lukuttsova N.P. Nanomodifying additives to concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 101–104. (In Russian)
8. Gabidullin M.G., Khuzin A.F., Rakhimov R.Z., Tkachev A.G., Mikhaleva Z.A., Tolchikov Yu.N. Ultrasound treatment is an efficient method of dispersion of carbon nanotubes in a volume of a building composite. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 57–59. (In Russian)

Министерство образования и науки Российской Федерации  
 Российская академия архитектуры и строительных наук  
 Кабинет Министров Республики Татарстан  
 Академия наук Республики Татарстан  
 Министерство образования и науки Республики Татарстан  
 Министерство строительства, архитектуры и ЖКХ  
 Республики Татарстан  
 Казанский государственный архитектурно-строительный университет

**VIII Академические чтения РААСН –  
 Международная научно-техническая  
 конференция**



**«Механика разрушения  
 строительных материалов и  
 конструкций»**



18-20 сентября 2014 г. г. Казань

**Основные научные направления**

- Фундаментальные закономерности механики разрушения строительных материалов и конструкций.
- Механика свойств бетона, железобетона и других строительных материалов, закономерности разрушения конструкций.
- Современные методы исследования и моделирования механизмов разрушения строительных композитов и конструкций.
- Разрушение строительных материалов и конструкций под воздействием эксплуатационных факторов.
- Структурные факторы управления сопротивлением разрушению строительных композитов, наномодифицирование структуры и повышение сопротивления разрушению.

**Адрес Оргкомитета:**

420043, г. Казань, ул. Зелёная, 1, КГАСУ, УНИД, к. 1-78.  
 Контактные тел.: (843) 510-46-05, 510-46-39, 238-37-71,  
 510-46-36, 238-37-91  
 Факс: (843)236-26-88  
 e-mail: nauka-info@kgasu.ru, patent@kgasu.ru,  
 irina-starovoitova@yandex.ru  
 сайт конференции: www.RAASN8.kgasu.ru

УДК 666.914

А.Ф. ГОРДИНА<sup>1</sup>, инженер, И.С. ПОЛЯНСКИХ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Ю.В. ТОКАРЕВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук; А.Ф. БУРЬЯНОВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук; С.А. СЕНЬКОВ<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

<sup>2</sup> Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26)

<sup>3</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

## Водостойкие гипсовые материалы, модифицированные цементом, микрокремнеземом и наноструктурами

Установлены различия в формировании структуры гипсового вяжущего при использовании многослойных углеродных наноструктур, цемента и микрокремнезема, вводимых совместно и отдельно, а также определено их влияние на физико-механические свойства получаемого материала. Выявлено оптимальное соотношение компонентов, вводимых совместно (цемент – 20%, микрокремнезем – 3%, многослойные углеродные нанотрубки – 0,005%), приводящее к повышению предела прочности при сжатии образцов в возрасте 14 сут на 95% и предела прочности при изгибе – на 81%. При этом достигается повышение коэффициента размягчения до 0,99 (контрольный состав – 0,76). Такое увеличение физико-механических показателей при совместном введении добавок происходит за счет формирования плотной прочной структуры кристаллов с увеличением плотности межфазной поверхности.

**Ключевые слова:** гипсовое вяжущее, многослойные углеродные нанотрубки, микрокремнезем, цемент, морфология.

A.F. GORDINA<sup>1</sup>, Engineer, I.S. POLYANSKIKH<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), Yu.V. TOKAREV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering);

A.F. BUR'YANOV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering); S.A. SEN'KOV<sup>3</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> Izhevsk State Technical University named after Kalashnikov (7, Studencheskaya Street, Izhevsk, Udmurt Republic, 426069, Russian Federation)

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslkoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

<sup>3</sup> Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolskiy Avenue, Perm, 614990, Russian Federation)

### Waterproof Gypsum Materials Modified by Cement, Microsilica, and Nanostructures

Differences in forming the structure of a gypsum binder when using multilayer carbon nanostructures, cement, and microsilica introduced simultaneously or separately are established; their influence on the physical-mechanical properties of the material obtained are also defined. The optimal ratio of the components introduced together (cement - 20%, microsilica - 3%, multilayer carbon nanotubes – 0.005%), resulting in increased compressive strength of samples at the age of 14 days by 95% and flexural strength by 81% is revealed. In the process, the coefficient of softening increases up to 0.99 (a control composition – 0.76). This improvement of physical-mechanical properties in the course of joint introduction of additives takes place due to the formation of the dense, tight structure of crystals with increasing the density of inter-phase surface.

**Keywords:** gypsum binder, multilayer carbon nanotubes, microsilica, cement, morphology.

В строительном материаловедении получают широкое распространение материалы с применением отходов производства. В различных отраслях промышленности образуется большое количество отходов в виде ультра- и нанодисперсных порошков. Например, для получения прочных и водостойких бетонов широко применяют нанокремнезем [1] – ультрадисперсный порошок, который образуется попутно в результате конденсации из газовой фазы при выплавке кремниевых сплавов (ферросилиция, силикохрома, силико-марганца) [2].

В то же время актуально развитие бесклинкерных вяжущих. К таким материалам относятся гипсовые вяжущие вещества. Разработка эффективных гипсовых материалов невозможна без их модификации. Свойства гипсовых материалов (водостойкость, прочность и т. д.) во многом определяются состоянием и структурой матрицы. Различные добавки существенно влияют на протекание гидратации и формирование структуры минеральных вяжущих: изменяют размер и морфологию кристаллов, состояние межфазной поверхности, пористость и т. д.

Добавки частиц с нанометровым размером обладают высокой поверхностной энергией и химической активностью и оказывают более сильное влияние на формирование структуры граничных слоев минеральных матриц [3–5]. Введение в состав гипсовых вяжущих дисперсий углеродных нанотрубок приводит к повышению прочностных показателей и формированию прочной, плотной структуры [6, 7].

В 60-х гг. XX в. исследователями [8] было разработано прочное и водостойкое гипсовое вяжущее с активными минеральными добавками. Данные добавки содержат активный кремнезем, который приводит к стабилизации системы гипс–цемент. В связи с этим, было предположено, что прочностные свойства гипса должны увеличиваться при введении добавок в виде микрокремнезема и цемента.

Целью данной работы являлось установление влияния на водостойкость, прочностные характеристики и структуру гипсового вяжущего модифицирующих добавок, таких как наноструктуры, цемент и микрокремнезем, вводимых совместно или отдельно.

В качестве вяжущего использовался нормально твердеющий гипс средней степени помола марки Г-3 предприятия ООО «Прикамская гипсовая компания» (г. Пермь), соответствующий ГОСТ 125-79. В качестве наноструктур были использованы многослойные углеродные нанотрубки на основе Masterbatch CW2-45 французской корпорации «Аркема», вводимые в виде дисперсии. Дисперсия представляет гранулированную смесь углеродных нанотрубок (УНТ) в среде карбоксил-метилцеллюлозы, содержащей 45% многослойных углеродных нанотрубок. Masterbatch CW2-45 при механическом перемешивании с водой превращается в малоустойчивую дисперсию с включениями частиц микрометровых размеров.

Для модификации свойств гипсового вяжущего использовался микрокремнезем – побочный продукт металлургического производства при выплавке ферроси-

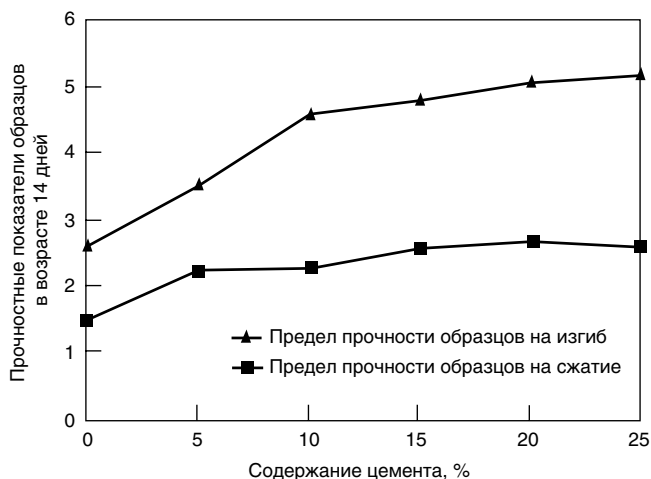


Рис. 1. Прочность гипсовой матрицы с добавлением многослойных углеродных нанотрубок, цемента и микрокремнезема

лия и его сплавов, образующийся в результате восстановления углеродом кварца высокой чистоты в электропечах [2]. Кроме SiO<sub>2</sub> в состав добавки также входят Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O и C. Средний размер частиц порошка микрокремнезема составляет 20 мкм.

Гипсовые образцы, модифицированные цементом, микрокремнеземом и углеродными наноструктурами, выдерживали в течение 14 сут при T = 20°C с последующим проведением механических испытаний. Количество воды составляло 70%. Содержание многослойных углеродных нанотрубок принимали в количестве 0,005%; микрокремнезема – 3%; количество цемента варьировалось от 0 до 25% от массы вяжущего.

Механические испытания гипсовых образцов-балочек 40×40×160 мм проводили по стандартной методике с последующим изучением структуры образцов методом растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Было установлено, что оптимальная концентрация цемента и микрокремнезема в составе гипсового вяжущего составляет 10 и 3% соответственно, при этом происходит повышение предела прочности при сжатии на 45%. Дальнейшее увеличение концентрации цемента приводит к постепенному падению прочности образцов. Улучшение механических характеристик возможно за счет взаимодействия микрокремнезема и цемента. При затворении водой цемента происходит образование свободных оксидов кальция. Активная добавка микрокремнезем вступает с ними во взаимодействие, таким образом регулируя щелочность среды и пред-

Содержание цемента *, %	Коэффициент размягчения
0	0,76
5	0,99
10	0,91
15	0,91
20	0,96
25	0,98

**Примечание.** \*С добавлением многослойных углеродных нанотрубок в количестве 0,005% и микрокремнезема – 3% от массы гипсового вяжущего

отвращая образование этtringита. В результате взаимодействия гидроксида кальция и микрокремнезема происходит формирование гидросиликатов кальция, которые связывают кристаллы двуводного гипса и защищают от растворения водой.

Результаты механических испытаний гипсовых композиций показали, что введение нанодобавки в количестве 0,005% способствует повышению прочности при сжатии и изгибе (рис. 1).

Анализ результатов полученных зависимостей прочностных характеристик показал, что оптимальная концентрация цемента при введении нанодобавки и микрокремнезема, равна 20%. При совместном введении активных минеральных добавок и наносистем достигается повышение предела прочности при сжатии на 95% и при изгибе на 81%. Такие показатели связаны с формированием новообразований при взаимодействии микрокремнезема и цемента, а также за счет введения нанодобавок. Нанотрубки, обладая высокой поверхностной энергией, играют роль центров кристаллизации, на поверхности которых происходит интенсивная кристаллизация новообразований. Данную гипотезу подтверждают результаты испытания по определению коэффициента размягчения гипсовых композиций при совместном введении добавок (см. таблицу).

Анализ ИК-спектров образцов без добавок и с добавлением цемента и нанотрубок показал, что интенсивность линий поглощения, соответствующих сульфатам (SO<sub>4</sub>) и воде (ОН-группы и H<sub>2</sub>O), изменяется незначительно. Однако следует отметить сильный сдвиг частот, соответствующих ОН- группе (3419,79 и 3404,36), сульфатов (SO<sub>4</sub>) (1182,36 и 1176,58) и силикатов (1085,92 и 1091,71), что свидетельствует о формировании гидросиликатов кальция. Это говорит о том, что добавка принимает непосредственное участие в формировании структуры гипсовой матрицы.

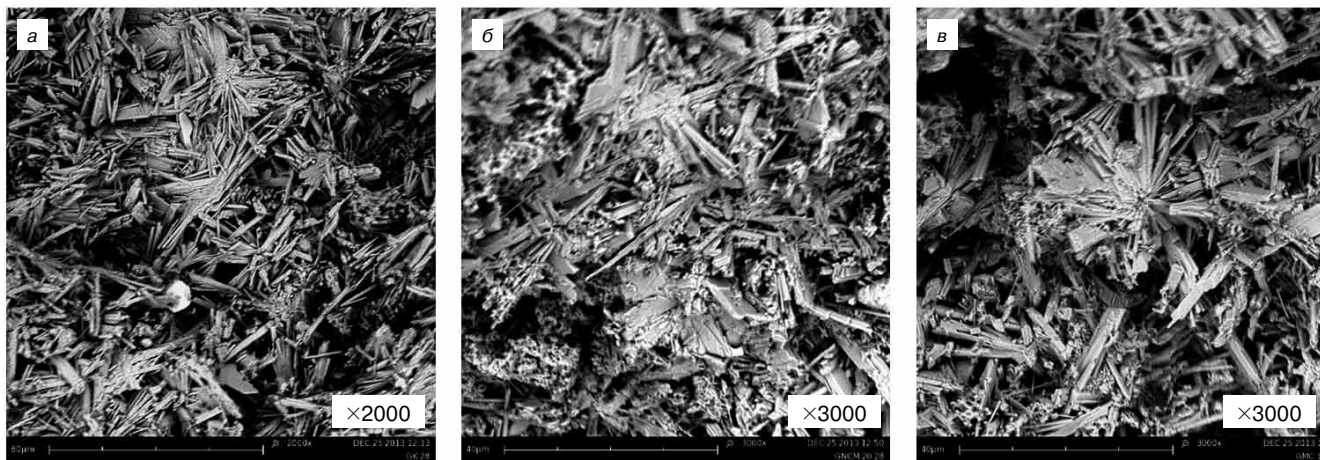


Рис. 2. Микроструктура гипсовой матрицы: а – без добавок; б – с цементом (10%) и микрокремнеземом; в – при совместном введении добавок (цемент – 20%, микрокремнезем – 3%, МУНТ – 0,005%)

Микроструктурный анализ образцов без добавок показал (рис. 2, а), что в структуре преобладают призматические кристаллы, хаотично распределенные в объеме матрицы, длиной до 30 мкм, достигающие в поперечнике 1–2 мкм. В гипсовой матрице с добавлением цемента и микрокремнезема (рис. 2, б) также преобладает призматическая структура, но присутствуют новообразования, которые уплотняют матрицу. При совместном введении добавок (рис. 2, в) имеются участки с плотноупакованными кристаллами, покрытыми новообразованиями,

которые приводят к увеличению площади межфазной поверхности, снижению пористости, формированию более прочных контактов и повышению физико-механических показателей.

Таким образом, при совместном введении добавок происходит формирование плотной, прочной структуры кристаллов с увеличением плотности межфазной поверхности, в результате чего достигается повышение физико-механических показателей гипсовой матрицы.

**Список литературы**

1. Хела Р., Марсалова Я. Возможности нанотехнологий в бетоне // *Труды III Международной конференции «Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства»*. Каир (Египет). 14–17 марта 2010. С. 8–15
2. Брыков А. С., Камалиев Р. Т., Мокеев М. В. Влияние ультрадисперсных кремнеземов на гидратацию портландцемента // *Журнал прикладной химии*. 2010. Т. 83. № 2. С. 211–216.
3. Яковлев Г.И., Керене Я., Маева И.С., Хазеев Д.Р., Пудов И.А. Влияние дисперсий многослойных углеродных нанотрубок на структуру силикатного газобетона автоклавного твердения // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2012. № 2. С. 180–186.
4. Яковлев Г.И., Первущин Г.Н., Маева И.С., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Мачюлайтис Р. Модификация ангидритовых композиций многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2010. № 7. С. 25–27
5. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Maeva I.S., Kerene Ja., Pudov I.A., Shajbadullina A.V., Korzhenko A., Bur'janov A.F., Sen'kov S.A. Modification of Construction Materials with Multi-Walled Carbon Nanotubes. *Procedia Engineering. Modern Building Materials, Structures and Techniques*. 2013. No. 57, pp. 407–413.
6. Гордина А.Ф., Токарев Ю.В., Яковлев Г.И., Керене Я., Спудулис Э. Различия в формировании структуры гипсового вяжущего, модифицированного углеродными нанотрубками и известью // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 34–38.
7. Gordina A.F., Tokarev Ju.V., Yakovlev G.I., Kerene Ja., Sychugov S.V., Ali El Sayed Mohamed Evaluation of the Influence of Ultradisperse Dust and Carbon Nanostructures on the Structure and Properties of Gypsum Binders. *Procedia Engineering. Modern Building Materials, Structures and Techniques*. 2013. No. 57, pp. 334–342.
8. Волженский А.В., Роговой В.И., Стамбулко В.И. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1960. 168 с.

**References**

1. Hela R., Marsalova J. Possibilities of nanotechnology in concrete. *The II International Conference «Nanotechnology for green and sustainable construction»*. Cairo (Egypt). 14–17 march 2010, pp. 8–15.
2. Brykov A.S., Kamaliev R.T., Mokeev M.V. Influence of ultradispersed silica on the hydration of Portland cement. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2010. Vol. 83. No. 2, pp. 211–216. (In Russian).
3. Yakovlev G.I.; Kerene J.; Mayeva I.S.; Khazeev D.R.; Pudov I.A. Influence of the dispersions of multilayer carbon nanotubes on the structure of silicate gas concrete of autoclave hardening. *Intellectual'nye sistemy v proizvodstve*. 2012. No. 2, pp. 180–186. (In Russian).
4. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Maeva I.S., Korzhenko A., Bur'janov A.F., Machjulajtis R. Modification anhydrite compositions multilayer carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2010. No. 7, pp. 25–27. (In Russian).
5. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Maeva I.S., Kerene Ja., Pudov I.A., Shajbadullina A.V., Korzhenko A., Bur'janov A.F., Sen'kov S.A. Modification of Construction Materials with Multi-Walled Carbon Nanotubes. *Procedia Engineering. Modern Building Materials, Structures and Techniques*. 2013. No. 57, pp. 407–413.
6. Gordina A.F., Tokarev Ju.V., Yakovlev G.I., Kerene Ja., Spudulis Je. Difference in forming the structure of gypsum binder modified with carbon nanotubes and lime // *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2013. No. 2, pp. 34–38. (In Russian).
7. Gordina A.F., Tokarev Ju.V., Yakovlev G.I., Kerene Ja., Sychugov S.V., Ali El Sayed Mohamed Evaluation of the Influence of Ultradisperse Dust and Carbon Nanostructures on the Structure and Properties of Gypsum Binders. *Procedia Engineering. Modern Building Materials, Structures and Techniques*. 2013. No. 57, pp. 334–342.
8. Volzhenskiy A.V., Rogovoi M.M., Stambulko V.I. *Gipsocementnye i gipsoshlakovyе vjzhushhie* [Gypsum-cement and gypsum-slag binders]. Moscow: State publishing house of literature on construction, architecture and construction materials, 1960. 168 p.

**НОВОСТИ**

**В Подмоскowie открыт новый завод по производству изделий из газобетона**

В г. Электросталь Московской области состоялось торжественное открытие завода по производству изделий из автоклавного ячеистого газобетона торговой марки DRAUBER. Предприятие, собственником которого является ООО «БФТ», будет выпускать полную линейку газобетонных блоков и армированных изделий.

К моменту открытия на заводе под контролем приглашенных немецких специалистов была введена в эксплуатацию полностью автоматизированная современная производственная линия, изготовленная и установленная компанией WERNHANN (ФРГ), позволяющая выпускать до 700 м<sup>3</sup> газобетона в сутки (230 тыс. м<sup>3</sup> в год). До конца года планируется оборудовать вторую автоматизированную производственную линию, изготовленную другой немецкой фирмой – Masa-Heinke. Техническая оснащенность завода

и строгий контроль качества позволяют компании соблюдать при выпуске продукции идеальные геометрические и физико-механические параметры газобетонных блоков.

Суммарный объем выпускаемой продукции после выхода двух линий на полную проектную мощность составит более 590 тыс. м<sup>3</sup> в год. Сумма инвестиций в проект составила 1,6 млрд р. Ожидаемый срок возврата инвестиций до 7 лет. Клиентами предприятия станут строительные организации Москвы и Московской области, а также индивидуальные застройщики. На данный момент БФТ получила предварительное согласие от потенциальных клиентов на покупку 90% планируемой к выпуску до конца года продукции.

**По материалам компании «Билд Фаст Текнолоджи»**

Н.К. СКРИПНИКОВА<sup>1</sup>, д-р техн. наук; Н.А. САЗОНОВА<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Томский государственный архитектурно-строительный университет (634003, г. Томск, Соляная пл., 2)

<sup>2</sup> Ангарская государственная техническая академия (665835, Иркутская обл., г. Ангарск, ул. Чайковского, 60)

## Прочность цементного камня на основе наноструктурированного вяжущего вещества

Применение наноструктурированного вяжущего вещества (НВВ), полученного на основе цементного клинкера, синтезируемого в условиях низкотемпературной плазмы, позволяет повышать прочность цементного камня при сжатии на 18–68%, на растяжение при изгибе – на 46%. Увеличение прочности образцов связано с технологической особенностью синтеза цементного клинкера, которая влияет на минералогический состав вяжущего, его структуру, частичную аморфизацию. В процессе гидратации НВВ образуются преимущественно низкоосновные тоберморитоподобные соединения и гидрогранат, оказывающие значительное влияние на прочность цементного камня.

**Ключевые слова:** цементный камень, наноструктурированное вяжущее вещество, низкотемпературная плазма, цемент, цементный клинкер.

N.K. SKRIPNIKOVA<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering); N.A. SAZONOVA<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> Tomsk State University of Architecture and Building (2, Solyanaya Square, Tomsk, 634003, Russian Federation)

<sup>2</sup> Angarsk State Technical Academy (60, Chaikovskogo Street, Irkutsk region, Angarsk, 665835, Russian Federation)

### Strength of Cement Stone on the Basis of a Nano-Structured Binding Agent

The use of the nano-structured binding agent (NBA) produced on the basis of cement clinker which is synthesized under conditions of low-temperature plasma makes it possible to increase the compression strength of cement stone by 16–68%, bending tensile strength by 46%. Increasing the strength of samples is connected with the technological feature of cement clinker synthesis which influences on the mineralogical composition of the binding agent, its structure, partial amorphization. In the process of NBA hydration the low-basic, tobermorite-like compounds and hydrogarnet which significantly influence on the cement stone strength are mainly formed.

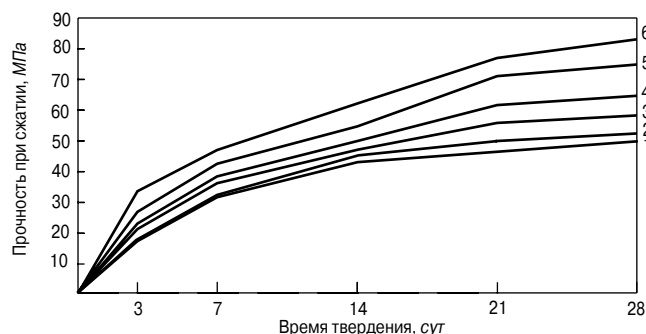
**Keywords:** cement stone, nano-structured binding agent, low-temperature plasma, cement, clinker.

При производстве высокоэффективных строительных материалов, представляющих собой искусственные композиционные конгломераты, цемент с середины XIX в. является основным минеральным вяжущим веществом, получившим широкое распространение. С видом вяжущего вещества и его активностью тесно связана прочность цементного камня – основа прочности различных видов бетонов. В настоящее время предметом многочисленных исследований являются процессы гидратации цемента и увеличение прочности цементного камня на его основе. Работы ведутся в направлениях, связанных с механоактивацией вяжущего вещества [1–3]; введением различных наноразмерных добавок [4–8], в том числе наномодификаторов на основе нанотрубок [9, 10] и т. д., которые, безусловно, перспективны и имеют высокий технический уровень. Однако необходимо учитывать, что введение различных видов добавок в определенной степени влечет за собой усложнение технологического процесса производства вяжущего. При этом корреляция физико-химических, физико-механических особенностей добавок усложняет детерминирование прочности цементного камня, так как на процессы гидратации только цемента оказывает влияние более пятидесяти факторов [11].

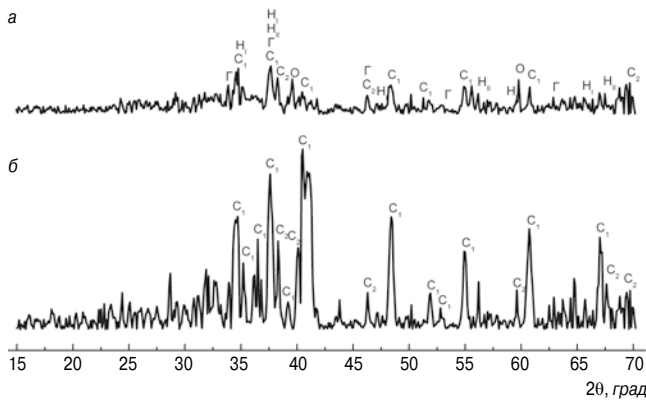
В работе представлены результаты исследования цементного камня на основе только наноструктурированного вяжущего вещества (НВВ), полученного с использованием цементного клинкера, синтез которого осуществлялся в условиях низкотемпературной плазмы (НТП) [12–14] при температуре 3000–3500°C. Это направление является актуальным в связи с возможностью высокоинтенсивного (в течение 90 с) синтеза цементного клинкера, имеющего деформированную кристаллическую решетку и представленного наноразмерными новообразованиями метастабильных минералов: зернами алита (ширина 90–900 нм, длина 500 нм–20 мкм) с игольчатой, пластинчатой и дендритной формами и белита до 2 мкм с округлой или дендритной формами [15]. Удлиненная форма кристаллов обуславлива-

ет высокую активность образцов, так как быстро развивающиеся в процессе роста грани минералов менее устойчивы при гидратации [16].

В работе использовался цемент ОАО «Ангарскемент» ПЦ500 Д0 с удельной поверхностью 380 м<sup>2</sup>/кг, полученный на основе цементного клинкера с химическим составом, мас. %: SiO<sub>2</sub> – 21; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 5; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4; CaO – 64; MgO – 4. Химический состав цементных клинкеров, синтезируемых в условиях НТП, мас. %: SiO<sub>2</sub> – 21,52; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,63; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,87; CaO – 66,74; MgO – 4,24. Удельная поверхность наноструктурированного вяжущего вещества (НВВ) – 310 м<sup>2</sup>/кг. Минералогический состав цементного клинкера, синтезируемого в условиях НТП, мас. %: C<sub>3</sub>S – 70,3–71,8; C<sub>2</sub>S – 7,5–9,9; C<sub>3</sub>A – 10,6–11,2; C<sub>4</sub>AF – 8,7–9,5. При этом в клинкере содержится 24,2% стеклофазы. Исследования производились на образцах размером 40×40×160 мм, хранение которых в течение 28 сут осуществлялось в соответствии с ГОСТ 310.4–81. При этом НВВ, полученное на основе исследуемого цементного клинкера, постепенно заменяло традиционный цемент от 20 до 100% (с шагом 20%). На рис. 1 представлены кинетические кривые процесса роста прочности на сжатие исследуемых образцов.



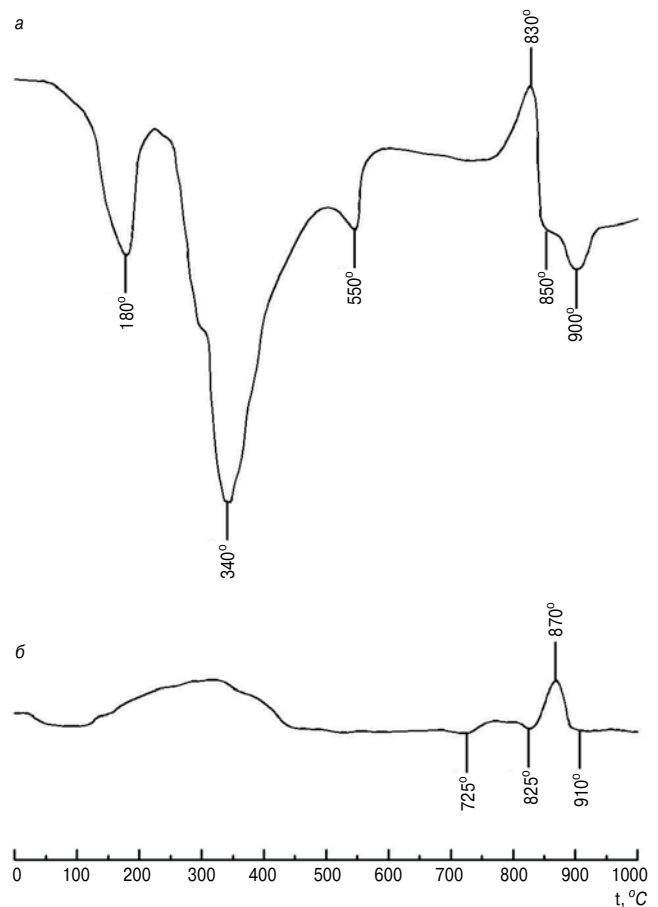
**Рис. 1.** Кинетические кривые процесса роста прочности при сжатии образцов: 1 – контрольный; 2 – с добавлением 20% НВВ; 3 – 40% НВВ; 4 – 60% НВВ; 5 – 80% НВВ; 6 – 100% НВВ



**Рис. 2.** Дифрактограмма: а – цементного камня на основе НВВ, 28 сут; б – цементного клинкера, синтез которого осуществлялся в условиях НТП на основе традиционных компонентов; Г – гидрогранат; C<sub>1</sub> – C<sub>3</sub>S; C<sub>2</sub> – β-C<sub>2</sub>S; H<sub>I</sub> – C-S-N(I); H<sub>II</sub> – C-S-N(II); O – Ca(OH)<sub>2</sub>

Анализ кривых показал, что введение 20% наноструктурированного вяжущего вещества от массы всего цемента особого эффекта на скорость гидратации и прочность образцов в возрасте 28 сут не оказывает. Однако последующее увеличение его содержания значительно изменяет ситуацию: при 40% прочность на сжатие образцов составляет 59 МПа; 60% – 64 МПа; 80% – 75 МПа; 100% – 84 МПа. Прочность на растяжение при изгибе увеличилась с 6,5 до 9,6 МПа. Увеличение прочности цементного камня, полученного на основе НВВ, связано в первую очередь с технологической особенностью синтеза цементного клинкера, которая в последующем влияет на минералогический состав и гидратационную активность вяжущего. Анализ дифрактограмм цементного клинкера и цементного камня, полученного на основе наноструктурированного вяжущего вещества, показал, что в образцах осуществляется интенсивный процесс гидратации; об этом свидетельствует снижение дифракционных максимумов, соответствующих фазам трехкальциевого и двухкальциевого силикатов (рис. 2, а). Осуществляется образование Ca(OH)<sub>2</sub>, которое связано с разрушением связей мостика – Ca–O–Ca – с образованием гидросиликата кальция. Образцы представлены преимущественно дифракционными максимумами, относящимися к тоберморитоподобным гидросиликатам кальция различной основности: C–S–N(I) и C–S–N(II), и гидрогранату, образование которого осуществляется при гидратации стеклофазы НВВ, минуя метастабильные гексагональные формы, и обладающего значительными прочностными характеристиками. Особенностью рентгенограммы цементного клинкера является отсутствие алюминатной и алюмоферритной фаз (рис. 2, б), которые скорее всего расположены в стеклофазе. Об этом свидетельствует наличие дифракционных максимумов, переходящих в фон.

На термограмме цементного камня (рис. 3, а) присутствуют традиционные эндотермические эффекты, которые соответствуют удалению адсорбционно-связанной воды из гелеобразных продуктов гидратации (100–140°C), удалению кристаллогидратной воды из гидросиликатов кальция (145–190°C). Эндотермические эффекты в интервале температуры 490–550°C и 760–900°C соответствуют дегидратации Ca(OH)<sub>2</sub> и декарбонизации CaCO<sub>3</sub> соответственно. Особенностью представленных кривых является наличие дополнительных эндо- и экзоэффектов интенсивной глубины при 340 и 830°C соответственно. Эндозффект связан с постепенной потерей воды – дегидратацией минералов, а экзоэффект – с основностью тоберморитоподобного соединения – 0,8–1,25 и протекающих дальнейших превращениях минералов в волластонит или ортосиликат кальция в соответствии с



**Рис. 3.** Кривые ДТА: а – цементного камня на основе НВВ, 28 сут; б – цементного клинкера, синтез которого осуществлялся в условиях НТП

основностью гидросиликата кальция. Наряду с этим высокая интенсивность эндозффекта при 340°C обусловлена происходящими процессами разложения гидрограната в цементном камне. О присутствии повышенного количества стеклофазы в НВВ свидетельствует экзоэффект (рис. 3, б) при температуре 800–900°C, связанный с растекловыванием образца при нагревании.

Таким образом, в результате исследования установлена возможность увеличения прочности цементного камня при сжатии на 18–68%, на растяжение при изгибе на 47% за счет применения только наноструктурированного вяжущего вещества, полученного на основе цементного клинкера, синтезируемого в условиях низкотемпературной плазмы. Повышение прочности образцов связано с наличием в используемом цементном клинкере наноразмерных новообразований метастабильных минералов, деформаций кристаллической решетки, внедрения в нее повышенного количества дополнительных оксидов и присутствием стеклофазы. Это в комплексе способствует образованию преимущественно низкоосновных тоберморитоподобных соединений и гидрограната, оказывающих значительное влияние на активность НВВ и прочность цементного камня на его основе. В связи с этим наноструктурированное вяжущее вещество на основе плавленого клинкера может быть применено при производстве специальных цементов и сухих строительных смесей небольшими партиями, потребность в которых обусловлена разнообразием строительных конструкций и условий их эксплуатации, что позволит дополнительно сократить расход цементного клинкера в 1,5–2 раза и, как следствие, снизить себестоимость цемента и стоимость строительных конструкций, изготовленных с его использованием.



**Список литературы**

1. Кузьмина В.П. Механоактивация цемента // *Строительные материалы*. 2006. № 5. С. 7–9.
2. Sekulic Z., Popov S., Duricic M., Rosic A. Mechanical activation of cement with addition of fly ash // *Materials Letters*. 1999. № 39, pp. 115–121.
3. Гирштель Г.Б., Глазкова С.В., Левицкий А.В. Строительные материалы, модифицированные наночастицами // *Технологии бетонов*. 2013. № 6. С. 48–51.
4. Kong D., Du X., Weia S., Zhang H., Yang Y. Influence of nano-silica agglomeration on microstructure and properties of the hardened cement-based materials // *Construction and Building Materials*. 2012. № 37, pp. 707–715.
5. Баженов М.И., Харченко А.И. Исследование некоторых свойств цементов с тонкодисперсной добавкой // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2012. № 5. С. 83–85.
6. Павленко Н.В., Бухало А.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Сумин А.В. Модифицированное вяжущее с использованием нанокристаллических компонентов для ячеистых композитов // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 20–24.
7. Бердов Г.И., Ильина Л.И., Машкин И.А. Влияние волластонита на прочность цементного камня из длительно хранившегося портландцемента // *Строительные материалы*. 2011. № 1. С. 48–49.
8. Лесовик В.В., Потапов В.В., Алфимова Н.И., Ивашова О.В. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 60–62.
9. Nochaiya T., Chaipanich A. Behavior of multi-walled carbon nanotubes on the porosity and microstructure of cement-based materials // *Applied Surface Science*. 2011. № 257, pp. 1941–1945.
10. Габидуллин М.Г., Хузин А.Ф., Сулейманов Н.М., Тогулев П.Н. Влияние добавки наномодификатора на основе углеродных нанотрубок на прочность цементного камня // *Известия КазГАСУ*. 2011. № 2. С. 185–189.
11. Бердов Г.И., Аронов Б.Л. Экспрессный контроль и управление качеством цементных материалов. Новосибирск: Новосибирский университет, 1992. 252 с.
12. Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Позднякова Н.А., Волокитин О.Г., Луценко А.В. Высокотемпературные способы производства цементного клинкера с использованием низкотемпературной плазмы и электродугового прогрева (Джоулев нагрев) // *Вестник ТГАСУ*. 2008. № 4(21). С. 106–112.
13. Skripnikova N.K., Sazonova N.A., Volokitin G.G. Synthesis of cement clinker using low-temperature plasma // *European Science and Technology. Materials of the V international research and practice conference*. Munich, 3–4 October, 2013. Vol. 1, pp. 476–480.
14. Glasser F. Production and properties of some cements made by plasma fusion // *Cement and concrete research*. 1975. Vol. 5, pp. 55–61.
15. Скрипникова Н.К., Сазонова Н.А. Особенности наноструктурированной матричной модели цементного клинкера при плазмохимическом синтезе // *Вестник ИрГТУ*. 2013. № 8. С. 33–37.
16. Волконский Б.В., Макашев С.Д., Штейерт Н.П. Технологические, физико-химические и химические исследования цементных материалов. Л.: Стройиздат, 1972. 304 с.

**References**

1. Kuz'mina V.P. Mechanical activation of cement. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 5, pp. 7–9. (In Russian).
2. Sekulic Z., Popov S., Duricic M., Rosic A. Mechanical activation of cement with addition of fly ash. *Materials Letters*. 1999. No. 39, pp. 115–121.
3. Girshtel' G.B., Glazkova S.V., Levitskii A.V. Building materials modified with nanoparticles. *Tekhnologii betonov*. 2013. No. 6, pp. 48–51. (In Russian).
4. Kong D., Du X., Weia S., Zhang H., Yang Y. Influence of nano-silica agglomeration on microstructure and properties of the hardened cement-based materials. *Construction and Building Materials*. 2012. No. 37, pp. 707–715.
5. Bazhenov M.I., Kharchenko A.I. Investigation of some properties of cements with the addition of fine. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2012. No. 5, pp. 83–85. (In Russian).
6. Pavlenko N.V., Bukhalo A.B., Strokova V.V., Nelyubova V.V., Sumin A.V. Modified binder using nanocrystalline composites components for cellular. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 20–24. (In Russian).
7. Berdov G.I., Il'ina L.I., Mashkin I.A. Effect of wollastonite on the strength of cement stone of long-term storage of portland cement. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 1, pp. 48–49. (In Russian).
8. Lesovik V.V., Potapov V.V., Alfimova N.I., Ivashova O.V. Improving the efficiency of binding by using nano-modifiers. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 12, pp. 60–62. (In Russian).
9. Nochaiya T., Chaipanich A. Behavior of multi-walled carbon nanotubes on the porosity and microstructure of cement-based materials. *Applied Surface Science*. 2011. No. 257, pp. 1941–1945.
10. Gabidullin M.G., Khuzin A.F., Suleimanov N.M., Togulev P.N. Influence of additives nanomodifier based on carbon nanotubes for strength to cement. *Izvestiya KazGASU*. 2011. No. 2, pp. 185–189. (In Russian).
11. Berdov G.I., Aronov B.L. *Ekspressnyi kontrol' i upravlenie kachestvom tsementnykh materialov* [Express control and quality management of cementitious materials]. Novosibirsk: Novosibirskiy universitet, 1992. 252 p.
12. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Pozdnyakova N.A., Volokitin O.G., Lutsenko A.V. High-temperature method of manufacturing the cement clinker low-temperature plasma and electric warm up (Joule heating). *Vestnik TGASU*. 2008. No. 4(21), pp. 106–112. (In Russian).
13. Skripnikova N.K., Sazonova N.A., Volokitin G.G. Synthesis of cement clinker using low-temperature plasma. *European Science and Technology. Materials of the V international research and practice conference*. Munich, 3–4 October, 2013. Vol. 1, pp. 476–480.
14. Glasser F. Production and properties of some cements made by plasma fusion. *Cement and concrete research*. 1975. Vol. 5, pp. 55–61.
15. Skripnikova N.K., Sazonova N.A. Features of nanostructured matrix model of cement clinker under plasmachemical synthesis. *Vestnik IrGTU*. 2013. No. 8, pp. 33–37. (In Russian).
16. Volkonskii B.V., Makashev S.D., Shteiert N.P. *Tekhnologicheskie, fiziko-khimicheskie i khimicheskie issledovaniya tsementnykh materialov* [Technological, physical-chemical and chemical studies of cementitious materials]. L.: Stroizdat, 1972. 304 p.





## к 70-летию Леонида Абрамовича Вайсберга

20 июня 2014 г. исполнилось 70 лет доктору технических наук, профессору, члену-корреспонденту РАН Леониду Абрамовичу Вайсбергу – известному ученому, специалисту, организатору промышленности и науки.

В 1968 г., по окончании Днепропетровского горного института Л.А. Вайсберг начал работать в институте «Механобр», где последовательно прошел путь от инженера до генерального директора. В настоящее время Леонид Абрамович является научным руководителем и председателем совета директоров НПК «Механобр-техника».

Результаты выполненных Л.А. Вайсбергом фундаментальных исследований и разработок в области теории вибрации являются общепризнанной научной базой для создания передовых отечественных технологий и машин, широко применяются при проектировании и производстве дробильно-сортировочного оборудования, а также непосредственно используются в научно-образовательном процессе. Широкомасштабное применение новых научных результатов на действующих и проектируемых предприятиях стало основным принципом научной работы Л.А. Вайсберга. Он считает, что если у работника отраслевой науки нет практических результатов, его не знают на предприятиях, в промышленности, он вообще вне науки.

Под руководством Леонида Абрамовича на предприятиях горно-металлургического комплекса и в нерудной промышленности строительных материалов внедрены новые технологии и новые конструкции высокопроизводительного оборудования: дробилки, грохоты, сепараторы и питатели. Благодаря высокому уровню технических решений и качеству они пользуются постоянным спросом не только в России, но и в десятках стран мира.

Л.А. Вайсберг является руководителем ведущей научной школы, ориентированной на создание принципиально новых высокоэффективных методов переработки минерального сырья. Особенностью разработок, выполненных под руководством и при непосредственном участии Л.А. Вайсберга, является их нацеленность на актуальнейшую проблему горной промышленности – энергосбережение. Эти достижения дважды были отмечены премией Правительства РФ в области науки и техники, премией им. А.П. Карпинского, присуждаемой Правительством Санкт-Петербурга.

Леонид Абрамович Вайсберг автор около 270 научных трудов и изобретений в области теории и практики рудоподготовки, современных методов дезинтеграции минерального и техногенного сырья, а также теории, расчета и проектирования вибрационных машин и технологий, применяемых в строительной промышленности и горном деле. Он профессор Национального минерально-сырьевого университета «Горный», почетный профессор Санкт-Петербургского политехнического университета, почетный профессор Национального горного университета Украины, член редколлегии нескольких научно-технических журналов, в том числе журнала «Строительные материалы».

Заслуги Л.А. Вайсберга отмечены многими государственными и ведомственными наградами, из которых больше всего он дорожит званием «Заслуженный строитель Российской Федерации» и орденом Монгольской Народной Республики «Полярная звезда», которые получены не по занимаемой должности, не к юбилейной дате, а за успешное решение важных для страны задач.

Редакция, редакционный совет, коллеги сердечно поздравляют Леонида Абрамовича Вайсберга с 70-летием, желают крепкого здоровья, дальнейших успехов в научной и производственной деятельности.

УДК 625.861:622.73

Л.А. ВАЙСБЕРГ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, член-корр. РАН; Е.Е. КАМЕНЕВА<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> НПК «Механобр-техника» (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 22-я линия, 3)

<sup>2</sup> Петрозаводский государственный университет (185910, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33)

## Исследование состава и физико-механических свойств вторичного щебня из дробленого бетона

Приведены результаты исследования физико-механических свойств вторичного щебня, полученного при дроблении бетонного лома. Установлено, что во вторичном щебне присутствуют разнородные по составу и свойствам зерна минерального заполнителя, их сростки с цементно-песчаным камнем и агрегаты цементно-песчаного камня. Минеральный заполнитель представлен породами различных генетических типов и металлургическим шлаком. Показано, что присутствие различных по составу и свойствам минеральных зерен является причиной неоднородности прочностных характеристик вторичного продукта. Минеральный заполнитель в целом сохраняет свойства первичного щебня. Снижение прочностных характеристик и морозостойкости вторичного щебня связано с присутствием цементно-песчаного камня. Качество вторичного щебня повышается с увеличением крупности фракций. Различия в составе и свойствах вторичного щебня необходимо учитывать при выборе дробильно-сортировочного оборудования, компоновочного решения схемы дробления, а также при выборе направлений использования и определении цены на отдельные фракции крупности.

**Ключевые слова:** вторичный щебень, бетонный лом, физико-механические свойства.

L.A. VAYSBERG<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAS; E.E. KAMENEVA<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences

<sup>1</sup> «Mechanobr-Tekhnika» Research and Engineering Corporation (22, Line 3, Vasilevsky Island, 199106, St. Petersburg, Russian Federation)

<sup>2</sup> Petrozavodsk State University (33, Lenin Street, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation)

### Study of Composition and Physical-Mechanical Properties of Secondary Crushed Stone from Crushed Concrete

Results of the study of physical-mechanical properties of secondary crushed stone obtained as a result of concrete fragments crushing are presented. It is established that the secondary crushed stone contains grains of the mineral filler different by their composition and properties as well as their aggregates with cement-sand stone, and aggregates of cement-sand stone. The mineral filler is presented by rocks of different genetic types and metallurgical slag. It is shown that the presence of grains different by their compositions and properties is a reason for the non-homogeneity of strength characteristics of the secondary product. As a whole, the mineral filler saves properties of the primary crushed stone. The reduction of strength characteristics and frost resistance of the secondary crushed stone is connected with the presence of cement-sand stone. The increase in the size of fractions improves the quality of the secondary crushed stone. Differences in compositions and properties of the secondary crushed stone should be taken into account when selecting screening-and-crushing equipment, layout solution of a crushing scheme, as well as when selecting directions of the use and determining the price for some fractions of fineness.

**Keywords:** secondary crushed stone, concrete fragments, physical-mechanical properties.

В России ежегодный объем строительных отходов, образующихся в результате ремонта, реконструкции и сноса зданий, составляет 12–14 млн т и в ближайшие годы увеличится до 35–45 млн т/год [1]. В этой связи большую актуальность приобретает проблема утилизации строительных отходов, в частности, бетонного лома.

Зарубежный и отечественный опыт показывает, что отходы бетона могут быть переработаны во вторичный щебень и использованы для устройства подстилающих слоев малонапряженных дорог, тротуаров, автостоянок, фундаментов малоэтажных зданий, укрепления откосов береговых сооружений, благоустройства территорий, ландшафтных работ, а также при производстве бетонов [1, 2]. Добавка в состав бетонных смесей вторичного щебня в количестве до 40% не снижает их качества [3]. Щебень, полученный при переработке бетонного лома, имеет более низкую стоимость, его использование позволяет сократить потребление минерального сырья, а также уменьшить нагрузку на окружающую среду.

Несмотря на то что в настоящее время в России функционируют десятки дробильно-сортировочных установок по переработке бетонного лома и в целом накоплен положительный опыт применения вторичного щебня, проблема прогнозной оценки его свойств и обоснования направлений использования в строительстве изучена недостаточно. Широкие расхождения результатов исследований вторичного щебня [3–6] связаны с непостоянством его состава. Практика оперативной оценки качества вторичного щебня на предприятиях-

производителей отсутствует, вследствие чего товарный продукт имеет весьма неопределенные свойства. Это предопределяет необходимость изучения его физико-механических характеристик в каждом конкретном случае.

В настоящей работе изучена взаимосвязь состава и физико-механических свойств вторичного щебня, полученного при дроблении строительных отходов на дробильно-сортировочной установке, специально спроектированной и изготовленной научно-производственной корпорацией «Механобр-техника» для предприятия «Кириши-нефтеоргсинтез» в Ленинградской области в 2007 г.

Технологическая схема установки включает операцию дробления на виброщечковой дробилке ВЩД 440–800, работающей в замкнутом цикле с грохотом ГИС-53 (рис. 1).

Общий вид этой установки показан на рис. 2. Преимуществом применения виброщечковой дробилки при переработке железобетонного лома от сноса зданий является возможность эффективной дезинтеграции конструкций с большим соотношением длины к толщине, содержащих недробимые тела, а также высокая степень дробления, что позволяет существенно снизить энергозатраты на производство товарной продукции за счет дробления в одну стадию.

Характерные элементы исходного материала – отходы в виде элементов железобетонных строительных конструкций (рис. 3).

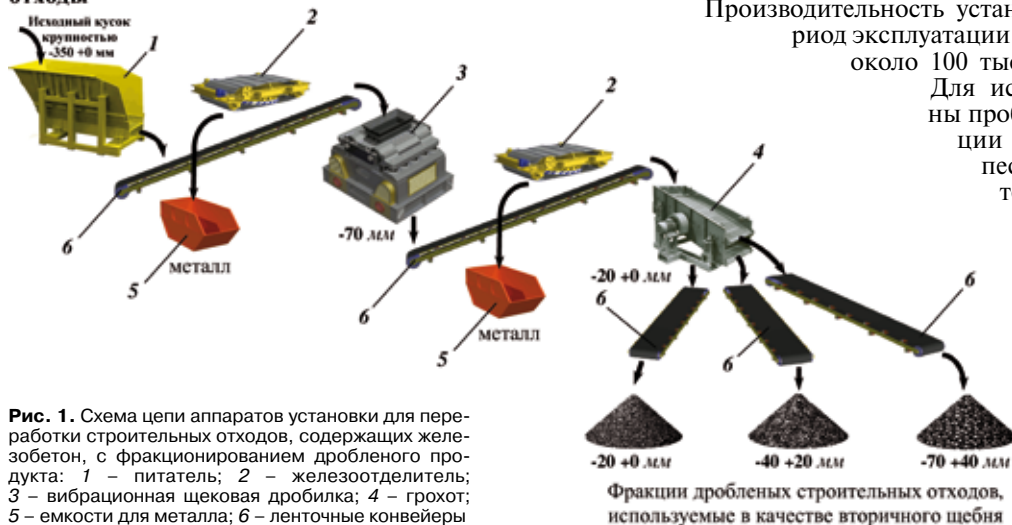
Основной товарной продукцией дробильно-сортировочной установки является щебень фракций 20–40 мм, 40–70 мм и щебеночно-песчаная смесь 0–20 мм. Побочная продукция – металлический лом.

Производительность установки 15–20 м<sup>3</sup>/час. За период эксплуатации 2008–2014 гг. переработано около 100 тыс. т строительных отходов.

Для исследований были отобраны проба вторичного щебня фракции 20–40 мм и щебеночно-песчаная смесь 0–20 мм. Материал крупностью 0–20 мм был разделен на стандартные фракции щебня 5–10 и 10–20 мм и песок-отсев 0–5 мм.

В выделенных фракциях крупности присутствуют раскрытые зерна щебня, их сростки с цементно-песчаным камнем и агрегаты цементно-песчаного камня (рис. 4).

**Строительные отходы**



**Рис. 1.** Схема цепи аппаратов установки для переработки строительных отходов, содержащих железобетон, с фракционированием дробленого продукта: 1 – питатель; 2 – железотделитель; 3 – вибрационная щековая дробилка; 4 – грохот; 5 – емкости для металла; 6 – ленточные конвейеры



**Рис. 2.** Общий вид установки для дробления строительных отходов



**Рис. 3.** Элементы железобетонных строительных отходов, поступающих на переработку

Таблица 1

Содержание раскрытых зерен, сростков и агрегатов цементно-песчаного камня во фракциях крупности вторичного щебня

Характеристика зерен	Содержание во фракциях крупности, %		
	5–10 мм	10–20 мм	20–40 мм
Раскрытые зерна щебня, в том числе дробленые зерна со свежей поверхностью	23,3	26,6	42,1
Сростки зерен щебня с цементно-песчаным камнем	7	15	27,6
Агрегаты цементно-песчаного камня	69,7	58,4	30,3

Таблица 2

Размеры отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на ситах, мас. %			
	Требования ГОСТ 8267–93	Фракция 5–10 мм	Фракция 10–20 мм	Фракция 20–40 мм
1,25D	До 0,5	0,47	0	0
D	До 10	3,74	3,24	0
0,5(d+D)	30–80	57,74	58,04	36,02
d	90–100	96,24	98,14	92,42
2,5	95–100	98,73	Не нормируется	Не нормируется

**Примечание.** D и d – наибольший и наименьший номинальный размер зерен во фракции.

Таблица 3

Состав минерального заполнителя во вторичном щебне

Фракции, мм	Содержание, вес. %				
	Гранит	Габбро-диабаз	Кварцит	Гравий	Металлургический шлак
5–10	86,3	8,3	5,4	–	–
10–20	70,8	14,1	5,5	5,4	4,2
20–40	57,8	22,1	2,6	10,1	7,4

Таблица 4

Сравнительная характеристика физико-механических свойств компонентов вторичного щебня фракции 10–20 мм

Показатели	Минеральный заполнитель	Цементно-песчаный камень
Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	2,67	2,1
Водопоглощение, %	0,26	8,3
Прочность (потеря массы при испытании), %	13,1	29,3
Морозостойкость (марка)	F200	F15
Сопротивление удару (потеря массы при испытании), %	10,2	43,4

Цементный раствор, заполняющий поры, снижает водопоглощение минеральных зерен. Значение этого показателя составляет 0,13–0,34%, что на порядок ниже, чем для гранитного щебня, получаемого при дроблении скальных пород. Водопоглощение минеральных зерен



Рис. 4. Компонентный состав вторичного щебня (фракция 20–40 мм): а – раскрытые зерна щебня; б – сростки щебня с цементно-песчаным камнем; в – цементно-песчаный камень

Разрушение происходит преимущественно по цементно-песчаному камню, а также по его границе с крупными зернами минерального заполнителя. По этой причине содержание раскрытых зерен щебня увеличивается в крупных фракциях (табл. 1). Содержание дробленых зерен щебня со свежей поверхностью не превышает 9,7–21,1% от общего количества зерен.

Сростки зерен щебня с цементно-песчаным камнем присутствуют в количестве от 7% во фракции 5–10 мм до 31,4% во фракции 20–40 мм.

Количество агрегатов цементно-песчаного камня наиболее велико в мелкой фракции – 69,7%. Содержание таких агрегатов во фракциях 20–40 и 10–20 мм может быть оценено только условно, так как в них могут присутствовать скрытые мелкие зерна щебня.

По зерновому составу все фракции вторичного щебня соответствуют требованиям ГОСТ 8267–93 (табл. 2).

Минеральные зерна, входящие в состав вторичного щебня, представлены породами различных генетических типов: разновидностями гранитов, габбро-диабазом, кварцитом и гравием. В пробе присутствует также металлургический шлак (рис. 5). В составе минеральной фракции преобладает гранит (табл. 3). Важно отметить, что такое распределение минеральных зерен является частным случаем. В общем случае генетический тип минерального заполнителя в бетонном ломе априорно определен быть не может.

Содержание слабых компонентов (гравия и металлургического шлака) снижается с уменьшением крупности. Во фракции 5–10 мм их зерна отсутствуют, что связано с переходом этих компонентов в песок-отсев при дроблении.

Исследование морфологии поверхности зерен методом сканирующей электронной микроскопии показывает, что практически вся поверхность нераздробленных минеральных зерен покрыта тонким слоем цементного раствора. Частицы цемента заполняют первичные трещины и поры (рис. 6).

Таблица 5

Физико-механические свойства вторичного щебня

Показатели	Значения показателей для фракций		
	5–10 мм	10–20 мм	20–40 мм
Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	2,31	2,34	2,41
Водопоглощение, %	7,2	5,7	4,4
Содержание лещадных зерен, %	25,4	14,2	11,9
Прочность (потеря массы при испытании), %	21,9	17,2	14,9
Марка по истираемости (потеря массы при испытании), %	И4 (45,9)	И2 (33,1)	И2 (28,3)
Морозостойкость (марка)	F25	F50	F50
Сопротивление удару (потеря массы при испытании), %	32,1	18,3	10,6



Рис. 5. Зерна минерального заполнителя в составе вторичного щебня (материал одной пробы): а – гранит; б – габбро-диабаз; в – кварцит; г – гнейс; д – металлургический шлак

в основном обусловлено свежими трещинами, образованными в результате дробления бетона (рис. 7), а также присутствием слоя цемента толщиной 1–2 мм на их отдельных участках (рис. 8).

Сканирование поверхности цементно-песчаного камня показывает, что для этих агрегатов характерна рыхлая пористая структура (рис. 9) и, как следствие, высокое водопоглощение.

Поскольку свойства вторичного щебня определяются свойствами содержащихся в нем компонентов, были сформированы искусственные фракции минерального заполнителя и цементно-песчаного камня и выполнена сравнительная оценка их основных физико-механических свойств (табл. 4).

Анализ данных табл. 4 показывает, что минеральный заполнитель в целом сохраняет свойства первичного щебня.

Цементно-песчаный камень характеризуется высоким значением водопоглощения (8,3%) и низкой прочностью: потеря массы при испытании 29,3%; марка по морозостойкости F15. Следует отметить низкое сопротивление цементно-песчаного камня ударным нагрузкам: потеря массы при испытании на копре составляет 43,4%, что почти в четыре раза выше значения этого показателя для фракции минерального заполнителя во вторичном щебне.

Исследование структуры горных пород методом рентгеновской компьютерной микротомографии показало, что в результате действия сжимающих напряжений при дроблении происходит деструктуризация наиболее слабых составляющих и их вынос из зоны разрушения [7–8]. Различное соотношение содержания различных составляющих во фракциях крупности вторичного щебня приводит к разнице в их свойствах. При всех видах нагрузок (истирании, сжатии и ударе) преимущественно разрушается цементный камень. Аналогичный вывод сделан при исследовании морозостойкости: уже после трех циклов попеременного замораживания и оттаивания происходит практически полное разрушение цементного камня и высвобождение зерен щебня.

Мелкая фракция 5–10 мм состоит преимущественно из цементно-песчаного камня, что увеличивает водопоглощение, снижает прочностные свойства и морозостойкость. Свойства этой фракции в значительной степени определяются свойствами цемента.

В крупной фракции 20–40 мм увеличивается содержание зерен минерального заполнителя и снижается доля цементного камня, в результате чего прочностные характеристики и морозостойкость выше (табл. 5).

Песок-отсев крупностью 0–5 мм, образующийся при дроблении бетона, имеет модуль крупности 3,16 (повышенная крупность); в то же время он характеризуется высоким содержанием лимитируемой фракции – 0,16 мм (11,5%) и пылевидных частиц (6,9%). Минералогический анализ показал, что высокое содержание в песке крупных фракций связано с минеральной составляющей, а фракция – 0,16 мм на 80% представлена цементом. Коэффициент фильтрации песка-отсева дробления бетона составляет 1,85 м/сут, что позволяет использовать его для устройства дренажных слоев оснований дорог.

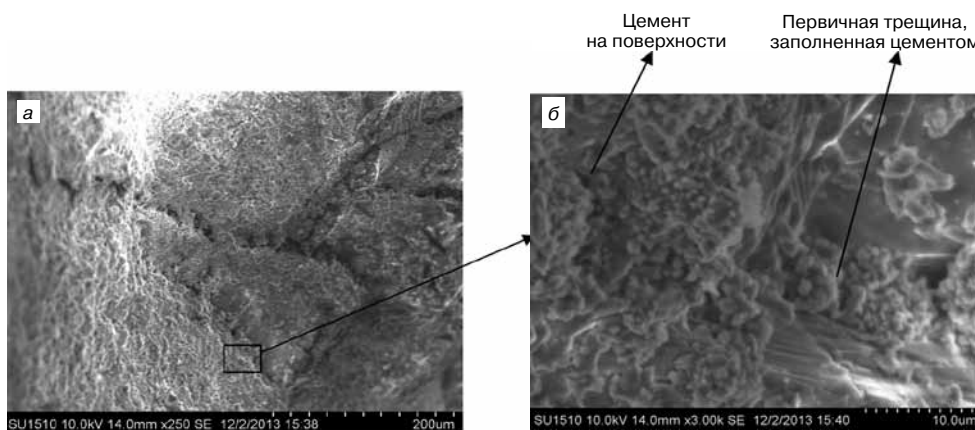
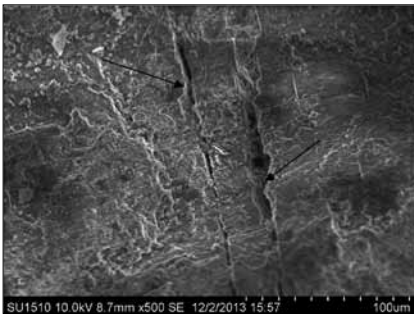


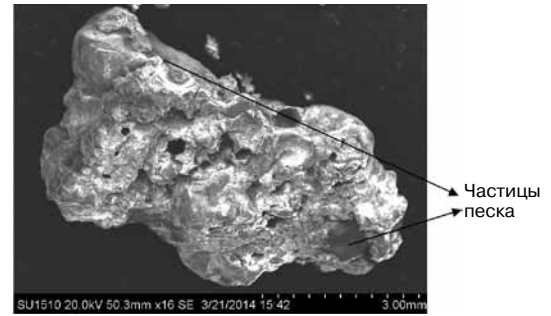
Рис. 6. Поверхность зерен вторичного щебня: а – поверхность зерна гранита (увеличение ×250); б – выделенный участок (увеличение ×3000)



**Рис. 7.** Новообразованные трещины (указаны стрелками) на поверхности зерна гранита из вторичного щебня (увеличение  $\times 500$ )



**Рис. 8.** Цементный раствор (указан стрелками) на поверхности зерна щебня



**Рис. 9.** Зерно цементно-песчаного камня (увеличение  $\times 16$ ); темные участки – поры и трещины

Нефракционированный материал крупностью 0–20 мм по зерновому составу соответствует щебеночно-песчаной смеси по ГОСТ 25607–2009. По основным физико-механическим характеристикам (устойчивость структуры против распадов 0,18%; потеря массы при испытании прочности 17,4%; марка по истираемости И2; марка по морозостойкости F50; коэффициент фильтрации 14,26 м/сут) щебеночно-песчаная смесь соответствует установленным требованиям и может использоваться для дорожных работ.

Таким образом, установлено, что во вторичном щебне, полученном в результате дробления, присутствуют разнородные по составу и свойствам зерна минерального заполнителя, их сростки с цементно-песчаным камнем и агрегаты цементно-песчаного камня. Минеральный заполнитель представлен породами различных генетических типов и металлургическим шлаком. Присутствие различных по составу

и свойствам минеральных зерен является причиной неоднородности прочностных характеристик вторичного продукта.

Минеральный заполнитель в целом сохраняет свойства первичного щебня. Снижение прочностных характеристик и морозостойкости вторичного щебня связано с присутствием цементно-песчаного камня. Качество вторичного щебня повышается с увеличением крупности фракций. С учетом селективности дробления технологическая схема может быть ориентирована на получение фракций крупности, обладающих наиболее высокой прочностью.

Различия в составе и свойствах вторичного щебня необходимо учитывать при выборе дробильно-сортировочного оборудования, компоновочного решения схемы дробления, а также при выборе направлений использования и определении цены на отдельные фракции крупности.

#### Список литературы

1. Олейник П.П., Олейник С.П. Организация системы переработки строительных отходов. М.: МГСУ, 2009. 251 с.
2. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов-на Дону: Феникс, 2007. 368 с.
3. Бибик М.С., Семенюк С.Д. Влияние физико-механических характеристик рециклированного щебня из дробленого бетона различных классов по прочности на сжатие на свойства бетонной смеси и бетона // *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2010. № 3(28). С. 128–134.
4. Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш., Гишкалаева М.И. Формирование структуры и свойств бетонов на заполнителе из бетонного лома // *Бетон и железобетон*. 2008. № 5. С. 25–28.
5. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Фатыхов Г.А. К комплексному использованию шлаков из бетонного лома в производстве шлакощелочных вяжущих // *Известия КазГАСУ*. 2011. № 2. С. 218–223.
6. Ye Zhengmao, Chang Jun, Lu Lingchao, Huang Shifeng, Chen Xin. Modification of the intermediate transition zone sulfoaluminatnom solution on cement // *Guisuan yuan xuebao*. J. Chin. Ceram. Soc. 2006. No. 4, pp. 511–515.
7. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е. Исследование структуры порового пространства гнейсогранита методом рентгеновской компьютерной микротомографии // *Обогащение руд*. 2013. № 3. С. 37–41.
8. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е., Аминов В.Н. Оценка технологических возможностей управления качеством щебня при дезинтеграции строительных горных пород // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 30–34.

#### References

1. Oleinik P.P., Oleinik S.P. Organizatsiya sistemy pererabotki stroitel'nykh otkhodov [Organization of recycling construction waste]. Moscow: MGSU, 2009. 251 p.
2. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti [Construction materials from the waste industry]. Rostov-on Don: Feniks, 2007. 368 p.
3. Bibik M.S., Semenyuk S.D. Influence of physical and mechanical characteristics of recycled crushed concrete rubble from different classes by compressive strength properties of the concrete mix and concrete. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta*. 2010. No. 3(28), pp. 128–134. (In Russian).
4. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh., Formation of the structure and properties of concrete on aggregate concrete breakage. *Beton i zhelezobeton*. 2008. No. 5, pp. 25–28. (In Russian).
5. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Fatykhov G.A. By slag comprehensive utilization of scrap in the production of concrete slag-alkaline binders. *Izvestiya KazGASU*. 2011.No. 2, pp. 218–223. (In Russian).
6. Ye Zhengmao, Chang Jun, Lu Lingchao, Huang Shifeng, Chen Xin. Modification of the intermediate transition zone sulfoaluminatnom solution on cement. *Guisuan yuan xuebao*. J. Chin. Ceram. Soc. 2006. No. 4, pp. 511–515.
7. Vaisberg L.A., Kameneva E.E. Investigation of the structure of the pore space gneiss-granite by X-ray microtomography computer. *Obogashchenie rud*. 2013. No. 3, pp. 37–41. (In Russian).
8. Vaysberg L.A., Kameneva E.E., Aminov V.N. Assessment of technological capabilities of control over crushed stone quality in the course of disintegration of building rocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 11, pp. 30–34. (In Russian).



MosBuild

Международная  
строительная и  
интерьерная  
выставка

## MosBuild-2014 – 20 лет успеха



Первый заместитель генерального директора ЗАО «Экспоцентр» Николай Гусев вручил региональному директору ITE по России Александру Шталенкову памятный диплом «За многолетнее плодотворное сотрудничество и в связи с проведением XX юбилейной международной выставки MosBuild».

Третий год подряд выставка строительной и интерьерной индустрии страны проходила в двухнедельном формате и состояла из трех масштабных тематических экспозиций: MosBuild Fenestration, MosBuild Building&Interiors и MosBuild Cersanex, открытых на двух выставочных площадках – ЦВК «Экспоцентр» и ВВЦ. Организатором MosBuild выступила Группа компаний ITE, занимающая шестое место в мире среди выставочных организаторов.

Вторая неделя MosBuild проходила с 15 по 18 апреля в ЦВК «Экспоцентр» и была целиком посвящена тематической экспозиции Cersanex / «Керамика. Камень. Сантехника».

20 лет международная выставка MosBuild ежегодно становится центром консолидации профессионального сообщества, единым информационным и деловым пространством отрасли. По словам регионального директора ITE по России Александра Шталенкова, «MosBuild уже в течение двух десятилетий по праву является важнейшим бизнес-событием отрасли, формирующим рынок строительных материалов и способствующим внедрению передовых технологических решений».

В MosBuild-2014 приняли участие более 2325 российских и зарубежных компаний из 48 стран мира, были организованы национальные группы производителей строительных и отделочных материалов из 18 стран: Чехии, Финляндии, Греции, Португалии, Польши, Испании, Тайваня, Италии, США, Германии, Словакии, Сербии, Малайзии, Кореи, Китая, Хорватии, Канады и Бельгии. Площадь выставочной экспозиции превысила 145 тыс. м<sup>2</sup>.

За две недели работы на обеих площадках выставку посетили специалисты отрасли из 81 региона России и 64 зарубежных стран, общее количество посетителей составило 129 тыс.

В этом году на выставке впервые представлен объединенный стенд российских производителей. Свою продукцию демонстрируют предприниматели из Новгородской, Московской, Тверской, Тульской, Свердловской и Ивановской областей. По мнению участников объединенной экспозиции, новый проект стартовал весьма успешно.

Продолжил свою работу MosBuild Diamond Club – клуб крупнейших закупщиков России и ближнего зарубежья. Представители торговых сетей, девелоперы,



Машиностроительная компания «Вселуг» (Москва), возобновившая свое участие в выставке Mosbuild, провела множество полезных встреч и переговоров



Компания «ТехноСонус» (Москва) занимается производством и реализацией экологически чистых материалов для систем звукоизоляции



На стенде ООО «Торговый дом «Система» (Владимирская обл.) представлены плиты GREEN BOARD® – деревоцементные плиты, состоящие из 60% древесной шерсти, 39,8% порландцемента и 0,2% раствора силиката натрия низкой концентрации. Плиты могут быть не только конструкционными, но и отделочными



Компания «Тегола Руфинг Сейлз» продемонстрировала нетрадиционное использование гибкой черепицы

архитекторы, дизайнеры и другие крупные участники строительного и интерьерного рынка имели возможность проводить встречи и переговоры в комфортных условиях.

Традиционно выставка MosBuild сопровождалась обширной деловой программой по наиболее актуальным для строительной и интерьерной отрасли темам.

Значительным событием деловой программы в ЦВК «Экспоцентр» является международная конференция «Технологии проектирования и строительства энергоэффективных зданий, Passive House».

Конференция нацелена на развитие комплексного подхода к решению вопросов по энергосбережению. Прошли две секции: «Теплоизоляционная оболочка пассивных домов и энергоэффективных зданий. Санация старых зданий. Оптимизация теплопотерь через ограждающие конструкции с грунтом. Снижение влияния тепловых мостов. Нормативы, расчетные методики и программы для определения тепловых мостов» и «Инженерное оборудование для пассивных и энергоэффективных зданий. Примеры реализации вентиляционных установок совместно с грунтовыми теплообменниками. Системы мониторинга и управления. Особенности проектирования нежилых зданий».

Крупнейший в России и на территории СНГ холдинг по производству строительных материалов «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» на выставке MosBuild презентовал высокотехнологичные центры качества, осуществляющие подбор оптимальных сырьевых смесей для производства бетона и разработки технологических карт для различных объектов.

Впервые в рамках MosBuild был проведен конкурс «Новинка года», в котором приняли участие компании из 11 стран: Германии, Греции, Ирландии, Италии, Португалии, России, Сингапура, Тайваня, Франции, Швейцарии и Южной Кореи.

«Новинку» выбирали посетители сайта MosBuild путем online-голосования. Лучшим из 26 представленных продуктов была признана система электрического отопления ECONDOL от южнокорейской компании Geosung ARK.

Тема экологии, энергосбережения и энергоэффективности уже не первый год является одним из ключевых направлений деловой программы. В 2013 г. впервые в рамках MosBuild была учреждена международная экологическая премия в области строительных и отделочных материалов – e3 Award. Премия вручается компаниям-производителям, продукция которых по результатам экспертизы соответствует высоким эко-стандартам и отмечена знаком e3. В этом году победители конкурса на лучший экопродукт были определены в 8 номинациях: «Конструкции», «Сухие смеси и строительная химия», «Изоляция», «Лаки и краски», «Напольные покрытия», «Инженерные системы», «Интерьер», «Отопление, кондиционирование, вентиляция».

Специализированное деловое мероприятие e3 Forum «Экология. Энергия. Эффективность» традиционно посвящено обсуждению актуальных вопросов экологии и энергоэффективности в строительстве и архитектуре. В тематических секциях форума приняли участие первые лица зеленого строительства, архитекторы, аналитики, консультанты и эксперты рынка, которые обсудили последние достижения и перспективы в области экоустойчивого строительства и архитектуры в России и в мире.

В рамках выставки MosBuild проходил международный архитектурный конкурс «ArchCeramica. Керамика и архитектура», который был посвящен возможностям использования в архитектуре и дизайне интерьеров одного из важнейших отделочных материалов — керамической плитки.

Международная премия для молодых архитекторов и студентов архитектурных вузов MosBuild Architecture & Design Awards (MADA) объединяет представителей из разных стран мира. В этом году на соискание третьей международной архитектурной премии MADA было представлено 146 проектов из 32 стран мира.

Впервые организованная в 2013 г. специализированная площадка активного образования MosBuildSchool сразу завоевала большую популярность среди молодых специалистов в дизайне и архитектуре. MosBuildSchool была открыта для проведения обучающих занятий с участием российских и зарубежных специалистов на весь период проведения выставки. В рамках школы проводились мастер-классы известных архитекторов и дизайнеров, воркшопы и тренинги от лучших преподавателей профильных вузов и экспертов архитектурного и строительного рынка. Эксперты делились своими знаниями и опытом с теми, кто хотел улучшить свои практические достижения.

В рамках деловой программы MosBuild-2014 провели свои мероприятия Национальное объединение проектировщиков (НОП), Национальный кровельный союз и Совет по экологическому строительству.

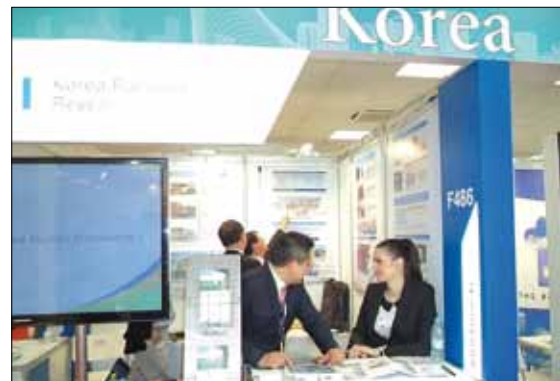
В 2015 г. XXI строительная и интерьерная выставка MosBuild пройдет в двухнедельном формате с 31 марта по 3 апреля и с 14 по 17 апреля в Москве в ЦВК «Экспоцентр» и на ВВЦ.



На стенде компании «СТЭС-Владимир» представлены теплоизоляционные материалы из вспененного стекла марки «НЕОПОРМ»



Современные способы печати на обоях на УФ-солвентном плоттере фирмы Mimaki можно было наблюдать на стенде компании «Русском Праймтех» (Москва)



Компания KRRRI (Республика Корея), созданная как исследовательский центр железных дорог, представила свои разработки для ускоренной термообработки бетона токами СВЧ, которые можно использовать как для сборного железобетона, так и для монолитных конструкций



Открытые площадки Экспоцентра всегда заполнены оборудованием

А. ФЕЛЬБЕР, управляющий директор фирмы aac-concept GmbH (Германия)

# Различные технологии производства автоклавного газобетона.

## Преимущества и недостатки

Сравнительный анализ различных технологий производства ячеистого бетона, применяемых в настоящее время, показывает, что каждой из них свойственны как преимущества, так и недостатки. Делая необходимую поправку на то, что некоторые производители оборудования комбинируют элементы разных технологий, можно признать, что в мире существуют четыре основные системы:

1. Система Итонг с вертикальной резкой и вертикальным автоклавированием.
2. Система Хебель/Дюрокс с горизонтальной резкой и горизонтальным автоклавированием.
3. Система Сванхольм с вертикальной резкой, при этом днище формы служит автоклавной тележкой.
4. Комбинированная система с вертикальной резкой и обратной кантовкой для горизонтального автоклавирования.

В России и странах СНГ хорошо известна и применяется ударная технология с горизонтальной резкой и горизонтальным автоклавированием.

В целом на этапах технологии от подачи песка на мельницу и далее на смеситель системы похожи между собой, но в зависимости от мощности завода при дозировании сырья могут быть различия.

Помол песка бывает двух типов – сухой и мокрый. Обе технологии помола могут использоваться во всех системах производства газобетона. Недостатком сухого помола является необходимость сушки песка перед подачей в мельницу. Данная технология требует дополнительных затрат на оборудование и электроэнергию. В то же время песок может храниться в бункерах. Основным недостатком мокрого помола является потребность в больших емкостях и мешалке для песчаного шлама. Учитывая абразивную природу материала, требуется дополнительное время на эксплуатацию и очистку емкостей.

**Смешивание.** На заводах небольшой производительности процесс смешивания может протекать таким образом, что смесительная емкость также выполняет функцию взвешивания. Это касается песка или песчаного шлама (в зависимости от типа помола), возвратного шлама, цемента, извести и ангидрида. Другие компоненты подаются в смеситель отдельно.

На больших заводах требуется система, при которой различные виды сырья предварительно дозируются в отдельные емкости. В этом случае дозирование происходит одновременно с работой смесителя. Время дозирование может быть коротким.

Для производств газобетона большой мощности возможно применение также «отрицательных» систем дозирования, при которых расход материала меньше загрузки. При этой системе для всех видов сырья необходимы большие емкости дозирования. Из емкостей посредством шнековых конвейеров материал подается в смеситель. Это также возможно для коротких циклов.

### Система Итонг

Данная технология применяется с 1960-х гг. во всем мире на всех предприятиях компании. Считается, что в настоящее время это наиболее распространенная и технически проработанная система. Некоторые машиностроительные компании копируют это оборудование и продают его во многих странах (рис. 1).



Рис. 1. Схема процесса производства по системе Итонг

Сам процесс типичен для всех систем. Смесь заливается в формы, при этом конструкция самих форм может различаться. Процесс вызревания также похож в разных системах и занимает 90–240 мин в зависимости от рецептуры и наличия первичного сырья.

Форма системы Итонг имеет съемный борт-поддон, применяемый также для запаривания, который при помощи крана вместе с массивом отделяется от формы, кантуется на 90°, устанавливается на тележку и пропускается через линию резки. Массив проходит через станции горизонтальной, вертикальной и поперечной резки, т. е. разрезается с трех сторон. Поскольку на линии резки массив находится в вертикальном положении, на данном этапе также может происходить фрезерование ручных захватов («карманов»).

Разновидностью данной системы является подвижная резательная машина, последовательно перемещающаяся через массив, который остается в одном положении.

После окончания резки массив с бортом-поддоном устанавливается вторым краном на запарочную тележку, на которой он затем подается в автоклав. После запаривания в автоклаве массив перемещается в зону разгрузки.

После запаривания блоки или панели должны проходить через устройство разделения (делитель), поскольку в результате химической реакции, протекающей в автоклаве, ряды по горизонтали склеиваются под собственным весом. Делитель может быть спроектирован как кран для перемещения расформованных изделий на паллеты.

### Преимущества

- Возможность производства блоков и панелей разных типоразмеров и функционального назначения.
- Возможность резки и профилирования всех сторон массива.
- Возможность профилирования системы паз-гребень и ручных захватов на сырье.
- Гибкость системы при применении таких вяжущих, как известь и цемент.
- Возможность замещения извести цементом и наоборот.

### Недостатки

- Для линии резки требуется нижний слой толщиной до 50 мм.
- При нетто-объеме массива 4,5 м до 4% составляют отходы (после обработки могут направляться на повторную рециркуляцию, что экономит цемент и известь).

### Система Хебель/Дюрокс

Технологическая система до этапа смешивания идентична вышеописанной. Приготовленная смесь заливается в формы, конструкция которых отлична от системы Итонг.

Вместо одной стороны все боковины отсоединяются от днища формы и переносятся краном. На некоторых предприятиях применяются формы с несъемными боковинами, которые раскрываются при распалубке массива (рис. 2).

Затем массив целиком при помощи вакуумного крана (без днища) подается на резательную машину. Массив не кантуется и проходит через линию резки. Ручные захваты не могут фрезероваться на этапе резки, поскольку массив находится в горизонтальном положении. Эта операция выполняется уже на готовом массиве после автоклавирования.

По окончании резки массив переносится краном на запарочные решетки, которые в два или три яруса устанавливаются на автоклавные тележки. Поскольку массивы подаются в автоклав в горизонтальном положении и блоки не проседают под собственным весом, эффект склеивания менее выражен по сравнению с технологией Итонг.



**Преимущества**

- Нижний слой не требуется для делителя.
- Меньше повреждений изделий, толщина которых менее 100 мм.
- Возможность производства массивов с очень ровной поверхностью.

**Недостатки**

- Резательная машина имеет более сложную конструкцию и более трудоемка в обслуживании и эксплуатации.
- Невозможность профилирования захватов на этапе резки.
- Массивы должны иметь большую пластическую прочность для переноса на линию резки, что требует более качественного сырья и высокого расхода вяжущих (цемента и извести).
- Более высокие производственные издержки.
- Длительность цикла возрастает, поскольку скорость резки замедляется для обеспечения ровной поверхности массивов, что по сути не имеет большого практического значения.
- Сложность очистки автоклавных рам (Дюрюкс).

**Система Сванхольм**

Данная система отличается невысокой производительностью с низким уровнем автоматизации и может быть рекомендована в первую очередь для развивающихся стран.

Система базируется на том, что форма имеет две емкости для заливки и одновременно служит и запарочной тележкой (рис. 3). Она неподвижна во время выдержки массивов (35-60 мин) и затем проходит через резательную машину. При этой системе нет возможности профилировать захваты. Затем форма подается в автоклав. Конструкции формы обуславливают низкое использование полезного объема автоклавов и повышенный расход электроэнергии для прогрева металлических частей формы.

**Преимущества**

- Небольшие инвестиции.
- Низкие эксплуатационные затраты.

**Недостатки**

- Низкая производительность.
- Невозможность производства панелей.
- Более высокая трудоемкость.
- Повышенный расход электроэнергии при автоклавировании.

**Комбинированная система**

Система практически идентична описанной вплоть до этапа резки. Перед резательной машиной установлен небольшой кран для распалубки массива. Он снимает боковины, которые являются рамной конструкцией. Массив перемещается на кантователь. В отличие от других систем кран отсутствует. После прохождения последней станции резки массив кантуется в горизонтальное положение и нижний слой падает в приямок для повторного использования. Массив переносится на автоклавную тележку и устанавливается в три яруса для запаривания.

При производстве изделий толщиной менее 200 мм требуется делитель, поскольку ниже этого значения материал склеивается и должен расформовываться.

Процесс автоклавирования во всех системах идентичен.

**Преимущества**

- Возможность производства панелей и блоков разных типоразмеров.
- Возможность профилирования ручных захватов на этапе сырца.

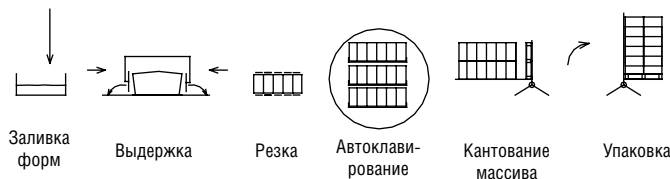


Рис. 2. Схема производства по системе Хебель

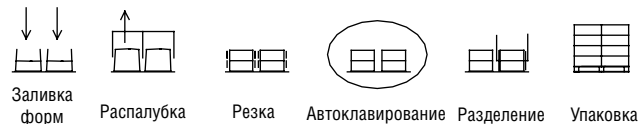


Рис. 3. Схема системы Сванхольм

- Нет отходов ввиду отсутствия нижнего слоя.
- Нет необходимости в кране для переноса массива на резательную машину, эту функцию выполняет кантователь.

**Недостатки**

- Полностью автоматизированная система, требуется квалифицированный персонал.
- В ряде случаев также необходим делитель.
- Вероятность повреждения массива-сырца в результате дополнительных перемещений.
- Необходимость обратной кантовки для укладки на паллеты.
- Поверхность блоков различна.

**Ударная технология**

Данная технология была разработана в 1980-х гг. в бывшем СССР и до сих пор применяется в России. Основное отличие от других систем заключается в том, что форма устанавливается на ударный стол, который сообщает ей динамическое воздействие для ускорения процесса созревания массива. Затем формы вновь переносятся на фундамент для набора прочности. Технология резки массива аналогична системе Хебель.

**Преимущества**

- Применение смесей с водотвердым отношением (В/Т) до 0,48.
- Получение более высокой прочности при одинаковой плотности, что дает возможность снижать расход вяжущих материалов.
- Более короткий цикл созревания массива.

**Недостатки**

- Высокие первоначальные затраты.
- Требуется прочный фундамент для ударного стола.
- Более короткий срок службы форм из-за ударных воздействий.
- Горизонтальная резка требует длинной струны, что негативно отражается на геометрии блоков.

Таковы основные системы производства автоклавного газобетона, применяемые в мире на современном этапе.

Фирма SKM GmbH предлагает заказчикам в России индивидуальные технические решения, сочетающие в себе преимущества всех перечисленных технологий, для производства блоков высокого качества и точной геометрии.



SKM GmbH  
Schadendorfer Str. 51  
02943 Boxberg/ O.L. Germany  
Тел.: +49 35774 356-0  
Факс: +49 35774 356-12  
www.skm-boxberg.de



aac-concept GmbH  
Pöttmeserstr. 26  
D-86529 Schrobenhausen Germany  
Тел.: +49 8252-8812-131  
Факс: +49 8252-8812-153  
info@aac-concept.de

Представитель в РФ  
Николай Станиславович  
Кондрашов  
Моб.: +7-926-310 89 60  
e-mail: n.kondrashov@aac-concept.com

# ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® В малоэтажном домостроении

В РФ активными темпами развивается загородное домостроение: объемы ввода в эксплуатацию малоэтажного жилья за последние 10 лет увеличились в 3,8 раза. Рациональный выбор строительных материалов, в том числе и теплоизоляции, является одним из наиболее важных аспектов эффективного строительства.

Известно, что через плохо утепленные стены дом теряет до 45% тепла. Некачественная теплоизоляция может привести к таким неприятным последствиям, как промерзание стен, что, в свою очередь, становится причиной появления трещин и неровностей на фасаде здания, а также плесени и грибка внутри помещения.

## Дома из газобетона. Надежная теплоизоляция стен

В качестве материала для строительства малоэтажных домов все большей популярностью пользуется газобетон, поскольку он обладает множеством достоинств: прочностью, огнестойкостью, устойчивостью к гниению, к воздействию грызунов, низкой теплопроводностью и многими другими положительными свойствами (рис. 1).

Сочетание газобетонной кладки и надежной теплоизоляции позволяет построить комфортное и энергоэффективное жилище, в котором сохраняется благоприятная температура и влажность как в зимние морозы, так и в летнюю жару.

Наилучший выбор для утепления стен из газобетона – это теплоизоляционные плиты ПЕНОПЛЭКС СТЕНА®. Материал обладает низким коэффициентом теплопроводности ( $\lambda=0,032$  Вт/(м·К)) и отлично подходит для эксплуатации как во влажном, так и в сухом климате. Для утепления наружных стен зданий требуется слой теплоизоляции ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® ориентировочно в 1,5 раза тоньше, чем многих других утеплителей (пенопласта, минеральной ваты и др.).

Кроме того, плиты ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® обладают нулевым водопоглощением, поэтому при отрицательной температуре, когда точка росы находится в утеплителе, в нем не образуется конденсата. В отличие от минераловатной теплоизоляции ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® в данной ситуации не увлажняется и не теряет своих теплозащитных свойств.

К несомненным преимуществам теплоизоляционных плит ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® также относится долговечность более 50 лет, высокая прочность при сжатии (не менее 0,2 МПа) и экологичность материала. Данная теплоизоляция не содержит мелких волокон и пыли, фенолформальдегидных смол.

Благодаря однородной прочной структуре и малой массе, плиты ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® очень удобны при монтаже: они не осыпаются и не крошатся, не требуют использования масок и других средств защиты. Поверхность плит подготовлена специальным образом, что обеспечивает лучшее сцепление с отделочными материалами – штукатуркой и облицовочной плиткой.

При теплоизоляции газобетонных (пенобетонных) стен требуется пароизоляция с внутренней стороны помещения (рис. 2). Дело в том, что газобетон обладает высокой паропроницаемостью (0,11–0,26 мг/(м·ч·Па)), а материал ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® – значительно меньшей (0,007–0,008 мг/(м·ч·Па)).



Рис. 1. Дом из газобетона, утепленный плитами ПЕНОПЛЭКС СТЕНА®

Роль паробарьера может на себя взять полиэтиленовый материал и жидкое стекло (жидкое стекло является экологически чистым антисептиком, препятствующим образованию плесени, грибка).

## Теплоизоляция стен каркасного дома

Все большей популярностью в сфере загородного домостроения пользуются также каркасные дома. При строительстве каркасного дома правильный выбор теплоизоляции играет особо важную роль. В домах данной конструкции утеплитель выполняет основную защитную функцию, сберегая тепло и ограждая дом от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. Правильный выбор теплоизоляции для стен каркасного дома обеспечит не только благоприятный климат внутри помещения, но и долговременный безремонтный срок службы всей конструкции здания.

Обладая низким коэффициентом теплопроводности, нулевым водопоглощением, прочностью, надежностью и экологичностью, теплоизоляция ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® прекрасно подходит на роль утеплителя для стен каркасного дома.

Теплоизоляция ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® с течением времени не увлажняется и не проседает. Соответственно и не образует мостиков холода. Дома с такими утеплителями практически не требуют реконструкции стен и их дополнительного утепления.

Таким образом, при приобретении более дорогого утеплителя на стадии проекта, в результате получается значительная экономия при эксплуатации. А это имеет большое значение для частных застройщиков.

Конструкция каркасных стен представляет собой утеплитель и балочную деревянную конструкцию, которая заключена между внешней и внутренней листовой обшивкой. В качестве теплоизоляционного материала рекомендуется использовать плиты ПЕНОПЛЭКС СТЕНА®.

Листовая обшивка производится влагостойкими материалами, такими как ориентированно-стружечные плиты (ОСП) или цементно-стружечные плиты (ЦСП). Несущий каркас представляет собой деревянные брусья с антисептической пропиткой. Сечение бруса зависит от толщины теплоизоляции.

Крепление каркасной стены к фундаменту осуществляется к закладному брусу, зафиксированному на плите основания металличе-

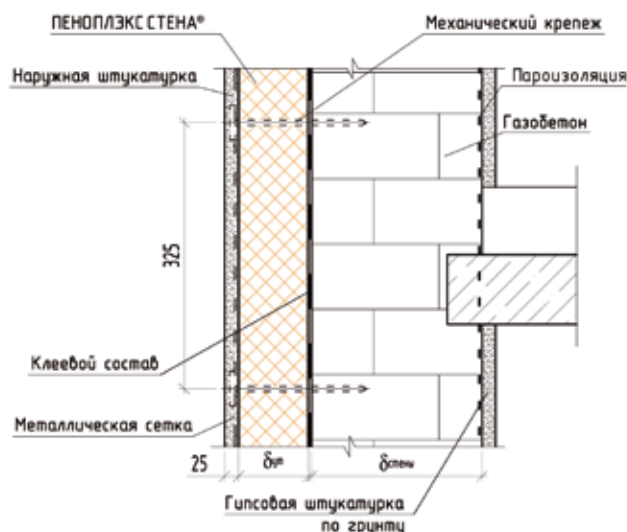


Рис. 2. Схема наружной стены здания с утеплителем



Рис. 3. Каркасный дом, утепленный плитами ПЕНОПЛЭКС СТЕНА®

ским анкером. Внутренняя отделка помещения производится влагостойким гипсокартонном. Для внешней отделки могут применяться самые различные материалы, в зависимости от бюджета и эстетических предпочтений: листового материал, сайдинг (виниловый или металлический), штукатурка, акриловые покрытия, искусственный камень и отделка деревом (блокхаус).

Жесткость стены обеспечивается краевыми и несущими балками, которые составляют единый несущий каркас, а пространство между балками заполняется утеплителем. Шаг несущих деревянных балок выбирается согласно расчету нагрузки под габариты теплоизоляционных плит ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® (ширина 600 мм, длина 1200 мм).

Таким образом, можно констатировать, что плиты ПЕНОПЛЭКС СТЕНА® – это надежный, энергоэффективный теплоизоляционный материал, который обеспечивает комфортный, здоровый микроклимат внутри помещения, гарантирует надежность и прочность всей конструкции дома.

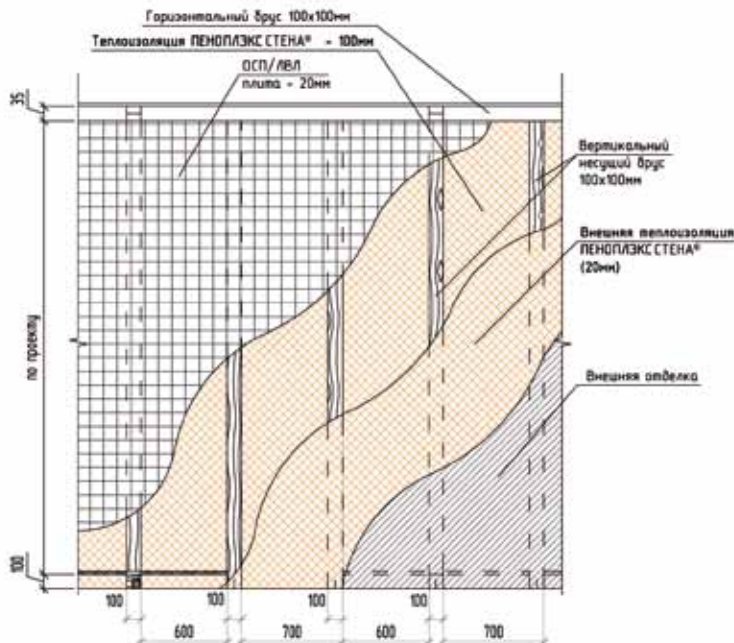


Рис. 4. Схема стены каркасного дома

Компания «ПЕНОПЛЭКС» является одним из лидеров на рынке современных строительных материалов. Объекты с применением теплоизоляции ПЕНОПЛЭКС® возводятся в самых разных уголках стран, от Калининграда до Владивостока и от Ямала до Краснодарского края.

Первая производственная линия по выпуску теплоизоляционных материалов ПЕНОПЛЭКС® была запущена 15 лет назад, и с тех пор компания постоянно растет и развивается, совершенствуя качество своей продукции и предлагая инновационные решения в области теплоизоляции.

# ПЕНОПЛЭКС®

## ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

Произведено по беспрерывной технологии

БЕЗОПАСНО ДЛЯ ПРИРОДЫ И ЧЕЛОВЕКА  
БЕЗ ФРЕОНА

- Теплоизоляция, пароизоляция и ветрозащита в одном продукте
- Не содержит вредных веществ для человека и окружающей среды
- Неизменно превосходный коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,032$  Вт/(м·К)
- Эффективная эксплуатация не менее 50 лет
- Водопоглощение 0%

Установи мобильное приложение на iOS или Android и сделай расчет количества теплоизоляции на своем гаджете.

ПРОЧНАЯ ОСНОВА ТЕПЛОГО ДОМА

РАССЧИТАЙ

WWW.PENOPLEX.RU

# Структурное усиление железобетонных конструкций компании Sika

В журнале «Строительные материалы» №1–2/2014 опубликована статья В.В. Бабкова, Р.Ш. Дистанова, В.А. Ивлева, И.Б. Струговца, М.Э. Нестеренко «Применение арочных сталефибробетонных малопролетных строений в конструкциях насыпных мостов и возможности их усиления».

Данная статья позволяет сделать вывод об успешном опыте применения сталефибробетона в автодорожном строительстве. В частности, благодаря проведенным исследованиям впервые в России стало возможным применять данный материал для производства звеньев малопролетных арочных насыпных мостов, работающих на внецентренное сжатие при значении эксцентриситета продольной сжимающей силы относительно центра тяжести сечения за пределами поперечного сечения. Эффективность сталефибробетонных арок подтверждается теоретическими расчетами и экспериментально. С помощью этого материала достигнуто повышение надежности и долговечности конструкций арочных мостов, а также значительное снижение трудозатрат на стадии изготовления данных конструкций.

При строительстве моста на автомобильной дороге северного обхода жилого микрорайона Затон (г. Уфа) были нарушены требования к производству работ и потребовалось усиление арки. Ни в коем случае не умаляя достижений авторов, специалисты компании Sika считают, что в данном случае целесообразно было бы применение структурного усиления углеродными волокнами в нижней растянутой зоне арки. При этом необходимо учитывать, что эпюра изгибающих моментов в сечениях арки имеет знакопеременный характер, в связи с чем важно правильно выбрать участок растянутой зоны, где будет эффективно усиление системой внешнего армирования углеродными волокнами.

Компания Sika на протяжении более 30 лет производит широкий спектр материалов линейки Sika **CarboDur** и **SikaWrap** для усиления несущих строительных конструкций, в том числе железобетонных, кирпичных, каменных и деревянных. На российском рынке материалы Sika для усиления несущих конструкций успешно применяются более 10 лет.

Материалы подходят для восстановления несущей способности конструкций, в том числе после землетрясений, пожаров, а также позволяют повысить стойкость конструкций в сейсмоопасных зонах.

Методика, а также расчеты усиления несущих конструкций основываются на европейских нормативах «Eurocode 2: Проектирование железобетонных конструкций» и «Fib 14. Техническое руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами методом внешнего армирования».

Композитные материалы для усиления несущих конструкций бывают на основе углеволокна, стекловолокна и арамидного волокна. Для усиления высокопрочных железобетонных конструкций больше всего подходят материалы на основе углеволокна, для конструкций с электротехническим оборудованием больше подходит стекловолокно, так как оно не является проводником электрического тока. Для конструкций с требованиями по ударопрочности, а также по повышенной устойчивости к быстро меняющимся по величине нагрузкам более подходят материалы на основе арамидного волокна в связи с его так называемой эластичностью.

Наряду с усилением стандартных конструкций компания Sika предлагает специально разработанную методику, оборудование и материалы для усиления преднапряженных конструкций. Усиление внешним армированием с преднапряжением осуществляется при помощи специального устройства **Sika CarboStress**, которое предварительно анкерится к основанию усиливаемой конструкции. Усиление преднапряжением позволяет получить высочайшую прочность на растяжение, превосходящую на 70–80% прочность на растяжение при обычном способе усиления углепластиком Sika CarboDur.

Еще одна интересная разработка компании Sika – методика усиления конструкций в кратчайшие сроки. Для сокращения продолжительности технологического цикла возможно применение специального устройства **Sika CarboDur Heater**, позволяющего интенсифицировать процесс полимеризации эпоксидного клея путем нагревания свежеприклеенных ламелей. При этом клей набирает необходимую прочность уже через 3–4 ч. Также это устройство позволяет выполнять работы при температуре до -10°C, что актуально для российского климата.

*А.В. САФОНОВА, инженер-проектировщик  
Д.В. САЛАМАТОВ, технический специалист  
ООО «Сика»*



## Комплексные решения Sika для транспортной инфраструктуры

Компания Sika поставляет надёжные и долговечные материалы для строительства, ремонта и усиления несущих конструкций:

- Автомобильных дорог, бетонных дорог
- Железнодорожных дорог
- Аэродромов и аэропортов
- Железобетонных и стальных мостов
- Морских и речных портов
- Тоннелей

Широкий ассортимент материалов строительной химии, поставляемых компанией Sika в Россию, позволит решить любую задачу строительства инженерных сооружений транспортной инфраструктуры на самом современном уровне с использованием новейших технологий и материалов.

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

BUILDING TRUST



Реклама



**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](mailto:gips@rescom.ru)  
[www.rosgips.ru](http://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)
- ангидритовые вяжущие
- гипсовые материалы в малоэтажном строительстве
- привлекательность и механизмы инноваций в гипсовой отрасли
- современное оборудование для производства гипсовых вяжущих, материалов и изделий на их основе
- лаборатории, менеджмент качества, экологический менеджмент и их роль в обеспечении качества и долговечности гипсовых материалов
- нормативно-техническая документация в соответствии с современными требованиями
- обучение и переподготовка специалистов в области производства и применения гипсовых материалов и изделий

Генеральный информационный спонсор: журнал

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

УДК 691.16

А.Г. ЕВГЕНЬЕВА, инженер

Московский автомобильно-дорожный технический университет, 125319, Москва, Ленинградский просп., 64

## Особенности оценки асфальтобетонного материала для производства работ по технологии холодного ресайклинга

Рассмотрены вопросы, связанные с предпроектной оценкой регенерируемого материала. Представлен алгоритм производства работ по технологии холодного ресайклинга. Отражены основные типы указаний по проектированию состава смесей асфальтогранулобетона. Определена приоритетность информации по детальной оценке состояния слоя дорожной одежды как конструктивного материала, а также приоритетность информации о состоянии поверхности существующего покрытия с точки зрения его эксплуатационных свойств. Представлены два принципиально разных способа отбора асфальтобетонного материала для лабораторных исследований и дальнейшего проектирования состава смеси асфальтогранулобетона. Рассмотрена схема отбора проб асфальтобетонного материала. В результате предлагаемого алгоритма предпроектной оценки представляется возможным получить более объективную информацию о состоянии регенерируемого асфальтобетона, вследствие чего будет облегчена задача проектирования составов смесей асфальтогранулобетона.

**Ключевые слова:** холодный ресайклинг, предпроектная оценка, отбор проб асфальтобетонного материала.

A.G. EVGEN'EVA, engineer, Moscow State Automobile and Road Technical University (64, Leningradsky Avenue, 125319, Moscow, Russian Federation)

### Features of assessing asphalt concrete material for execution of works according to cold recycling technology

Issues connected with the pre-design assessment of a regenerated material are considered. An algorithm of work execution according to the technology of cold recycling is presented. Main types of instructions for designing the composition of asphalt grained concrete mixes are shown. Priority of the information on the detailed evaluation of a road pavement layer as a structural material, and also the priority of information about the state of the surface of existing pavement from the point of view of its operation characteristics are determined. Two principally different methods of selecting the asphalt concrete material for laboratory study and further design of the asphalt-grained concrete mix composition are presented. The scheme of asphalt concrete material sampling is considered. As a result, the proposed algorithm of pre-design assessment makes it possible to receive more objective information on the state of regenerated asphalt concrete that facilitates the problem of designing compositions of asphalt-granular concrete mixes.

**Keywords:** cold recycling, pre-design assessment, sampling of asphalt concrete material.

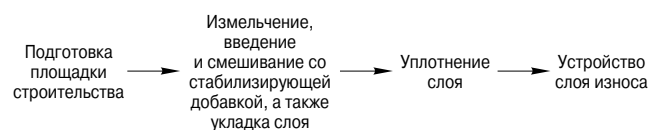
На сегодняшний день ни в одной стране мира не существует единого общепринятого стандарта по производству работ с применением технологии холодной регенерации на месте (ХРМ).

Основная проблема использования данной технологии заключается в том, что холодный ресайклинг обычно применяется на достаточно больших участках. Дорогостоящее оборудование целесообразно использовать при большом объеме работ. Однако чем больше площадь перерабатываемого материала (покрытие, покрытие с частью основания), тем неоднороднее исходный материал: естественные колебания гранулометрического состава, участки локальных ремонтов, неоднородность уплотнения приводят к тому, что усреднить характеристики слоя, подлежащего переработке, представляется практически невозможным [1].

Тем не менее технология успешно применяется по всему миру, в том числе и в Российской Федерации (рис. 1) [2].

Для ХРМ, как и для любой другой технологии, существует свой порядок выполнения работ. На первый

взгляд алгоритм выполнения работ прост и состоит всего из четырех основных этапов:



Современные ресайклеры быстро и качественно выполняют свою часть работы [3]. Но существует еще два этапа, не относящихся к технологической фазе производства работ. Это — предпроектная оценка материала и проектирование состава смеси асфальтогранулобетона (АГБ).

В данной публикации вопросы, связанные с проектированием состава смеси, не рассматриваются. Отметим лишь, что указания по проектированию состава для АГБ делятся на два основных типа:

- указания по технологии проведения работ (технологические карты) — описывают технологические операции и оборудование, которое будет использоваться;



Рис. 1. Производство работ по технологии холодного ресайклинга: а – Россия, Калужская обл., 2012 г.; б – США, штат Виргиния, 2012 г.

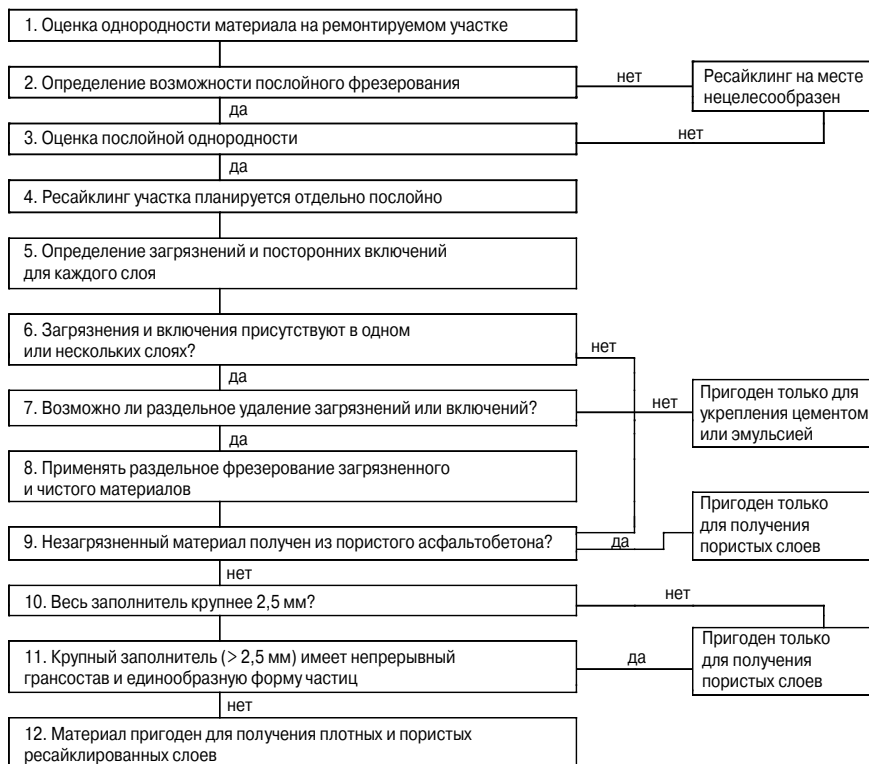


Рис. 2. Алгоритм сбора информации об объекте ремонта, предпроектная стадия

— указания, основанные на требованиях к итоговому слою, т. е. задаются контрольные границы по показателям испытаний готового слоя.

Как показывает практика, целесообразнее разрабатывать указания на основе комбинации из указаний к технологическим операциям и оборудованию и требований к итоговому слою [4].

Однако для выбора технологических параметров работы ресайклера (скорость вращения фрезы, глубина слоя переработки, скорость движения ресайклера, выбор типа и расход вяжущего, добавок, необходимость введения нового заполнителя) необходима информация, получаемая на стадии предпроектной оценки материала.

Для установления общих характеристик объекта достаточно провести визуальный осмотр и собрать информацию согласно алгоритму, отраженному на рис. 2.

Основными признаками являются однотипность поперечного сечения дорожных одежд и однотипность материала конструктивных слоев.

Визуальный осмотр и сбор информации о ходе строительства и работ по содержанию участка, выполненных на восстанавливаемой части дороги, также используются для корректного разделения объекта ремонта на однотипные участки, которые в дальнейшем необходимо рассматривать отдельно.

Предпроектные изыскания необходимы, так как если не выявить причины образования дефектов, невозможно будет произвести качественные ремонтные работы и дефекты появятся вновь. Экономия ресурсов на стадии предпроектной оценки и проектирования составов смеси, включая полевую апробацию, становится неактуальной по причине ввода контрактов жизненного цикла.

Таблица 1

Тип информации	Собираемая информация	Применение
Информация о предыдущих ремонтах участка	Тип дорожной одежды конструкция дорожной одежды данные по мониторингу	Календарный план выполнения работ; возможность применения технологии ХРМ; вспомогательная детализация; оценка качества
Конструкция дорожной одежды	Структурные дефекты (тип, размер, протяженность) <sup>1</sup> неструктурные дефекты (тип, размер, протяженность) участки структурных дефектов	Выбор технологии ХРМ; необходимость проведения предварительного локального ремонта
Предыдущие поверхностные обработки (в дополнение к первому пункту)	Какие-либо специальные методы обработки, ранее производимые, или материалы (поверхностная обработка с применением дисперсного армирования, резино- (серо-) асфальтобетон, материалы дорожной разметки, участки ремонта литым асфальтобетоном и пр.)	Необходимость удаления (например, холодное фрезерование), если возможно, перед производством работ по ХРМ
Геометрия и профиль	Ширина, положение оси и уклоны профиль поверхности (колеобразование, ямы, пучины, просадки, износ) <sup>2</sup>	Возможность применения технологии ХРМ; необходимость предварительной обработки (например, холодное фрезерование) перед производством работ по ХРМ
Прочая информация	Наличие люков смотровых колодцев, решеток ждеприемников, вспомогательных коллекторов и пр. примыкающие участки (близко посаженные деревья, нахождение складов ГСМ и пр.)	Календарный план выполнения работ; защита и потенциальные меры защиты, при необходимости, от возможного воспламенения складов ГСМ
<b>Примечания:</b>		
<sup>1</sup> В общем случае покрытия со структурными дефектами (т. е. недостаток несущей способности конструкции и/или характеристики основания, не соответствующие требованиям к дорожным одеждам, помимо локальных дефектов, которые являются легкоустраняемыми) не подходят для ремонта по технологии ХРМ. Покрытия с неструктурными дефектами (т. е. дефекты поверхности: колеиность, износ, трещины, старение, слабые frictionные характеристики и т. д.) подходят для ремонта по технологии ХРМ.		
<sup>2</sup> ХРМ позволяет исправить отклонения ширины покрытия, осевого положения и/или уклона от проектных значений, а также остановить чрезмерное колеобразование и износ, но в то же время слишком большая колея и износ (более 50 мм) могут стать препятствием для применения ХРМ покрытия по слоям.		

Таблица 2

Тип информации	Параметр оценки	Дефекты слоя			
		Износ	Колея	Трещины	Фрикционные характеристики
Состояние покрытия <sup>1</sup>	Трещины (тип и размер)	Ф	Ф	О	Ф
	Поперечный профиль	О	О	Ф	Р
	Продольный профиль	Р	Р	Ф	Ф
Существующий асфальтобетон <sup>2</sup> (или слой покрытия)	Толщина	О	О	О	О
	Содержание битума (для определения глубины фрезерования)	О	О	О	О
	Гранулометрия (для определения глубины фрезерования)	О	О	О	О
	Плотность	О	О	О	О
	Пористость	О	О	О	О
	Пенетрация, вязкость и температура размягчения восстановленного битума (для определения глубины фрезерования)	О	Р	О	Ф

**Примечания:** О – обязательно, Р – рекомендуется, Ф – факультативно.  
<sup>1</sup> Информация должна быть представлена по каждому однотипному участку, где предполагается проводить ремонт, с выделением специфических зон, например с большим количеством ямочного ремонта, и локализованными участками структурных деформаций.  
<sup>2</sup> Обычно по данным лабораторных испытаний кернов. Керны должны быть отобраны по всем однотипным участкам, дополнительные керны должны браться из специфических зон.

Таблица 3

Отбор проб из слоя а/б		Отбор проб из кузовов машин в случайном порядке	Отбор проб из штабелей	
При покрытии шириной в 1 полосу	При покрытии шириной в 2 полосы	Материал делится на 12–16 секций, собранных за 1–2 дня	Штабель разбивается на сетку из 12–16 блоков	
Разделить покрытие на 12–16 секций равной длины	Разделить покрытие на 6–8 секций равной длины шириной в обе полосы	Рандомно выбирается по 2 машины с каждого цикла отбора проб	Случайным порядком выбирается одно место отбора проб для каждого блока сетки	
В случайном порядке отбирается 1 образец с каждой секции	В случайном порядке отбирается 1 образец каждой секции с каждой полосы	По одному образцу с каждой машины	При наличии оборудования берется по одному образцу с верхней и нижней трети штабеля	При отсутствии оборудования берется по одному образцу с верхней части штабеля в каждом блоке и один образец из нижней половины штабеля из смежного блока
Выполнить испытания	Выполнить испытания	Выполнить испытания	Выполнить испытания, используя один показатель, взятый поблочно и послыно	

После установления общих характеристик объекта приступают к детальному обследованию однотипных секций и далее к проектированию состава АГБ смеси.

Этап оценки существующего слоя асфальтобетонного (или иного) покрытия в основном состоит из отбора проб и испытаний отобранного материала. Значительная часть дорожных покрытий устраивается из асфальтобетона различных типов и марок, далее будем рассматривать именно этот материал, хотя общие принципы предлагаемой предпроектной оценки достаточно универсальны и могут учитываться практически во всех случаях, от щебеночного до цементобетонного покрытия.

Отбор проб материала существующего слоя должен проводиться на системной основе, что необходимо для получения репрезентативных выборок. Необходимо определить свойства регенерируемого асфальтобетона, так как свойства итогового АГБ зависят от характеристик ресайклируемого материала. На основе полученных данных будет определяться количество нового битумного вяжущего и каменного заполнителя, если их введение необходимо.

Процесс сбора информации об объекте ремонта весьма скрупулезен и состоит из множества этапов [5]. Материал, подвергаемый ХРМ, изначально весьма неоднороден, отсюда и большое число исследуемых параметров. Оптимальное соотношение цена/качество достигается при ориентации на конечный результат про-

изводства работ, а не на формализацию требований к переменным процессам и показателям. Чаще всего в качестве контрольного параметра обработки слоя указывают максимальный размер асфальтогранулята (АГ), гранулометрический состав, степень предварительного увлажнения, содержание регенерирующей добавки и требования к плотности слоя. В табл. 1 представлена информация, необходимая для предварительной оценки состояния слоя дорожной одежды. Приоритетность информации по детальной оценке состояния поверхности существующего покрытия [6] показана в табл. 2.

Как отмечалось ранее, для получения репрезентативных выборок объект разбивают на однотипные участки. Места отбора проб каждого участка определяют методом случайной выборки. Рекомендуется как минимум одна проба (здесь и далее одна проба состоит из трех кернов) на полосу длиной 1,5 км или по две на участок при производстве работ в городских условиях.

Керны отбирают на всю глубину пакета слоев, затем после визуального осмотра определяют необходимую глубину фрезерования и далее образцы отбирают на эту величину.

Второй вариант – фрезерование отдельных участков на планируемом месте производства работ. Поскольку процесс фрезерования может давать замельченный по сравнению с кернами материал, он позволяет получить образцы фрезерованного асфальтобетона, более близ-





Рис. 3. Холодная фреза W 35 DC, Виртген (Германия)

кие к материалу, получаемому при ХРМ, однако желательно получить образцы с помощью того оборудования, которое будет выполнять работы непосредственно в полевых условиях. Таким образом, будет получен наиболее достоверный материал. Тем не менее это не всегда возможно, так как при фрезеровании, например, полосы движения получается слишком много материала, а также не всегда есть возможность закрыть полосу дороги для движения транспорта. С целью обеспечения хотя бы временного проезда после отбора проб этим методом потребуется дополнительный материал для устройства дорожной одежды в местах фрезерования.

Таким образом, проще проводить отбор проб либо бурением кернов, либо небольшой фрезой, как представлено на рис. 3. Отобранные керны обрезают до глубины холодного ресайклинга и измельчают в лабораторной щековой дробилке для получения АГ, дальнейших исследований и проектирования состава смеси.

Следует еще раз отметить, что полученный таким образом дробленый асфальтобетон почти всегда не будет соответствовать по гранулометрическому составу результатам работы ресайклера, что следует учитывать при подборе составов. Поэтому при обработке отобранной пробы рекомендуется произвести дополнительный рассев материала, чтобы получить гранулометрический состав, сходный с результатами работы ресайклера.

#### Список литературы

1. Евгеньева А.Г. Нестабильность состава и свойства асфальтобетона // *Дороги России XXI века*. 2012. № 1. С. 43–45.
2. Васков В.А. Холодная регенерация // *Дороги России XXI века*. 2011. № 2. С. 49.
3. Крупин Н. Победа над сегрегацией // *Автомобильные дороги*. 2013. № 8. С. 48–49.
4. Cold recycling technology. Berlin: Wirtgen GmbH, 2012. 367 pp.
5. David L., Kim J., Jahr C., Chen D., Heitzman M. Long-Term Performance of Cold In-Place Recycled Roads in Iowa // *Greater Iowa Asphalt Conference*. February 2007. P. 44.
6. Pavement recycling. Paris: PIARC, 2003. 148 pp.
7. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Основные направления ресурсоэнергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий. Ч. 1. Ресурсоэнергосбережение на стадии производства строительных материалов, стеновых изделий и ограждающих конструкций // *Строительные материалы*. 2013. № 7. С. 12–21.
8. Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Полушкин Д.Л., Фролов В.А. Решение проблемы утилизации полимерных отходов путем их использования в процессе модификации дорожного вяжущего // *Строительные материалы*. 2013. № 10. С. 38–40.

План отбора проб материала для обеспечения случайности такого выбора представлен в табл. 3. Следует особо отметить необходимость случайной выборки в достаточном, репрезентативном объеме, так как сама процедура основана на статистических принципах, что сокращает объем предпроектных работ.

Применяемый обычно для определения мест и частоты отбора проб ГОСТ 8269.0 предназначен для поставок крупных партий каменных материалов, как правило производимых одним карьером на одном и том же технологическом оборудовании. При этом традиционно, если в стандарте на отбор проб указывается «не менее чем...», обычно производится только минимально необходимый набор операций. Так как исходный асфальтобетон неоднороден, предлагается принять необходимость применения несколько иных принципов.

После контрольных испытаний результаты должны быть проанализированы, определены средние значения и стандартные отклонения, а также резкие отклонения от средних результатов, если таковые имеются. Как отмечалось, все разнотипные подсекции должны рассматриваться отдельно.

В результате может быть обеспечена более объективная картина как состояния исходного асфальтобетона, так и более точный подбор состава материала, который можно получить в конкретном случае по технологии ХРМ.

#### Выводы

Благодаря уникальному потенциалу сохранения ресурсов и энергии ХРМ стал одним из самых популярных методов восстановления дорожной одежды, что отвечает тенденции применения ресурсосберегающих технологий во всех областях строительства [7, 8]. Для обеспечения надлежащих эксплуатационных характеристик слоев АГБ необходимо проводить тщательную предпроектную оценку ремонтируемого участка.

В результате может быть обеспечена более объективная картина как состояния исходного асфальтобетона, так и более точный подбор состава материала, который можно получить в конкретном случае по технологии ХРМ.

Алгоритмы предпроектной оценки, представленные в статье, учитывают особенности технологии, не требуют специального оборудования и соответственно могут найти широкое применение в организациях со стандартно укомплектованными лабораториями.

#### References

1. Evgen'eva A.G. Instability of the composition and properties of the asphalt. *Dorogi Rossii XXI veka*. 2012. No. 1, pp. 43–45. (In Russian).
2. Vas'kov V.A. Cold regeneration. *Dorogi Rossii XXI veka*. 2011. No. 2, p. 49. (In Russian).
3. Krupin N. Victory over segregation. *Avtomobil'nye dorogi*. 2013. No. 8, pp. 48–49. (In Russian).
4. Cold recycling technology. Berlin: Wirtgen GmbH, 2012. 367 p.
5. David L., Kim J., Jahr C., Chen D., Heitzman M. Long-Term Performance of Cold In-Place Recycled Roads in Iowa. *Greater Iowa Asphalt Conference*. February 2007. P. 44.
6. Pavement recycling. Paris: PIARC, 2003. 148 pp.
7. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N. Main ways of resource-energy saving at construction and operation of buildings. Part 1. Resource-energy saving at the stage of producing of building materials, wall products and enclosing structures. *Stroite'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 7, pp. 12–21. (In Russian).
8. Belyaev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Polushkin D.L., Frolov V.A. Solution of Utilization Problem of Polymer Wastes by Their Use in the Process of Modification of a Road Binder. *Stroite'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 10, pp. 38–40. (In Russian).

О.Д. САМАРИН, канд. техн. наук

Московский государственный строительный университет (129337, Москва, Ярославское шоссе, 26)

## Расчет удельных теплотерь через линейные теплотехнические неоднородности при использовании актуализированной редакции СНиП 23-02–2003

Рассмотрены особенности определения дополнительных теплотерь через наружный угол здания и оконные откосы по требованиям СП 50.13330.2012. Представлены основы методики СП для вычисления удельных потерь теплоты через указанные линейные теплотехнические неоднородности. Приведены результаты численных расчетов температурных полей этих элементов с использованием существующих и разработанных автором программ для ЭВМ и их сопоставление с методикой и параметрами, установленными в СП. Отмечено, что наиболее развитым является подход к расчету дополнительных теплотерь, основанный на применении понятия фактора формы. Дан анализ полученных результатов, установлена связь между фактором формы и удельными теплотерями линейных элементов ограждений и предложены инженерные рекомендации для их вычисления с учетом возможных предельных случаев.

**Ключевые слова:** удельные потери теплоты, линейный элемент, фактор формы, сопротивление теплопередаче.

O.D. SAMARIN, Candidate of Sciences (Engineering)

Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

### Calculation of specific heat losses through non-linear thermotechnical inhomogeneities when using the revised edition of SNiP 23-02–2003

Features of determining additional heat losses through the external angle of a building and window jambs according to requirements of SP 50.13330.2012 are considered. Bases of the SP methodology for calculating the specific heat loss through the mentioned linear thermotechnical inhomogeneities are presented. Results of numerical calculations of temperature fields of these elements with the use of existing programs and programs developed by the author for the computer and their comparison with the methodology and parameters set in SP are given. It is noted that the approach to the calculation of additional heat losses based on the use of the notion of shape factor is the most developed one. An analysis of data obtained is made, the relation between the shape factor and specific heat losses of linear elements of enclosures is established, engineering recommendations for their calculations with due regard for possible extreme events are offered.

**Keywords:** specific heat losses, linear element, shape factor, resistance to heat transfer.

В последнее время в связи с появлением и распространением наружных ограждающих конструкций с повышенным сопротивлением теплопередаче и с наличием слоев из эффективных теплоизоляционных материалов вновь возникают вопросы, касающиеся определения температуры на внутренней поверхности характерных элементов таких ограждений и приведенного сопротивления теплопередаче конструкций, включающих подобные элементы. В частности, это относится к наружным углам, оконным откосам, стыкам и другим участкам с двумерным температурным полем. Необходимость такого рода расчетов в первую очередь связана с необходимостью возможно более точной оценки энергопотребления здания на нужды отопления, в том числе с целью установления класса энергоэффективности объекта, что особенно актуально в условиях действия Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» от 23 ноября 2009 г. В соответствии с СП 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий» предлагается определять удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность  $\Psi_j$ , Вт/(м·К), по результатам расчета двумерного температурного поля узла конструкций:

$$\Psi_j = \frac{\Delta Q_j^L}{t_B - t_H}, \quad (1)$$

где  $\Delta Q_j^L$  — дополнительные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность  $j$ -го вида, приходящиеся на 1 п. м, Вт/м.

Более подробно о данной методике и различных ее вариантах, принятых в других европейских странах, рассказывается в [1–4]. Главная сложность при практическом использовании такого подхода для вычисления

приведенного сопротивления теплопередаче ограждения в целом заключается, однако, в необходимости определения величины  $\Delta Q_j^L$  для каждого вида неоднородностей. Вообще говоря, в настоящее время это не является принципиальной трудностью, но для массового проектирования и особенно для оценочных расчетов было бы желательно иметь совокупность значений  $\Psi_j$  хотя бы для наиболее часто встречающихся элементов либо по возможности простые инженерные правила их вычисления.

Заметим, что ранее в нашей стране для этой цели обычно использовался так называемый фактор формы  $f$  (В.Н. Богословский. Строительная теплофизика. М.: Высшая школа, 1982. 415 с.), представляющий собой отношение фактических теплотерь через двумерный элемент к теплотерям через такой же по площади участок наружной стены с одномерным температурным полем, т. е. без учета теплотехнической неоднородности. В качестве границы двумерного элемента здесь принимают расстояние в два калибра. При наличии основного теплоизоляционного слоя, обладающего теплопроводностью во много раз меньшей, чем у конструктивных слоев, можно с достаточной точностью считать, что основной эффект двумерности вносит именно теплоизоляционный слой. Поэтому один калибр ( $\varnothing$ ) в этом случае равен произведению теплопроводности слоя утеплителя  $\lambda_m$ , Вт/(м·К), на величину условного сопротивления теплопередаче конструкции  $R_{0, \text{с.л.}}^{\text{усл.}}$ , м<sup>2</sup>·К/Вт. Можно показать [5], что вносимая в таком случае погрешность будет приводить к завышению фактора формы, поскольку конструктивный слой выравнивает температуру и на самом деле ее неравномерность по внутренней поверхности будет ниже, чем получаемая при таком приближенном расчете. Таким

образом результаты будут включать некоторый запас, что вполне оправданно при вычислении потерь теплоты через конструкцию. Тогда общие теплотопотери  $Q$ , Вт/м, через двумерный элемент длиной 1 п. м можно найти по формуле:

$$Q = (t_b - t_n) f \cdot 2 \varnothing / R_o^{ycl} = 2 \lambda_m f (t_b - t_n), \quad (2)$$

где  $t_b$  и  $t_n$  — температура соответственно внутреннего и наружного воздуха, °С.

Методика оценки теплотопотерь через сложные ограждения с использованием фактора формы является достаточно разработанной, в частности в упомянутой книге В.Н. Богословского, и в дальнейшем усовершенствованной для некоторых случаев в [5–7] и других работах. Поэтому возникает вопрос о возможности использования имеющихся данных по факторам формы для оценки  $\Psi_j$ . Для этого найдем непосредственную связь между параметрами  $f$  и  $\Psi_j$ . Очевидно, что для однородной конструкции  $f=1$ , поэтому из формулы (2):

$$\Delta Q_j^L = 2 \lambda_m (f - 1) (t_b - t_n). \quad (3)$$

Следовательно, при сопоставлении с (1) оказывается, что  $\Psi_j = 2 \lambda_m (f - 1)$ . Таким образом, зная  $f$ , известные из имеющихся источников, в том числе касающихся теплопередачи в современных сложных ограждающих конструкциях с эффективным утеплителем [5, 6], можно найти и  $\Psi_j$ .

В частности, для наружного угла здания в диапазоне  $R_o^{ycl}$  от 2 до  $6 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$  по данным [6] можно записать приближенное выражение:

$$f_{ny} - 1 \approx 0,107 + 0,0004 R_o^{ycl} \alpha_b, \quad (4)$$

или в среднем  $0,122 \pm 0,01$ , где  $\alpha_b$  — коэффициент теплообмена на внутренней поверхности наружной стены, принимаемый равным  $8,7 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$  по данным СП 50.13330.2012. Такие результаты были получены действительно на основании расчетов температурных полей по разработанной автором программе для ЭВМ. Тогда для характерного уровня  $\lambda_m = 0,05 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$  получаем, что для наружного угла  $\Psi_{ny} = 0,0122 \pm 0,001 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ . Заметим, что в данном случае элемент с таким значением  $\Psi_{ny}$  относится к каждой из двух стен, образующих угол, то есть его нужно учитывать в одинаковом размере при расчете приведенного сопротивления обеих конструкций.

Аналогично для другого часто встречающегося линейного элемента — оконного откоса из [5] в том же интервале значений  $R_o^{ycl}$  при использовании заполнений светопроемов в виде стеклопакетов можно записать следующее выражение:

$$f_{отк} - 1 \approx 0,165 + 0,0014 R_o^{ycl} \alpha_b. \quad (5)$$

Отсюда при  $\lambda_m = 0,05 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$  оказывается, что для откоса  $\Psi_{отк} = 0,023 \pm 0,004 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ .

В целом чем меньше  $\lambda_m$ , тем для одного и того же элемента будет меньше и  $\Psi_j$ . Это следует из уменьшения величины калибра  $\varnothing$  — сужения зоны влияния элемента на температурное поле. В то же время с ростом  $R_o^{ycl}$  дополнительные теплотопотери будут постепенно возрастать, что непосредственно видно из выражений (4) и (5).

В [6] показано, что при  $R_o^{ycl} \rightarrow \infty$  факторы формы, а следовательно, и значения  $\Psi_j$  стремятся к своим предельным значениям, связанным только с геометрией элемента. В частности, для наружного угла  $f_{ny} \rightarrow 1,145$ , откуда при  $\lambda_m = 0,05 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$  получаем  $\Psi_{ny} \rightarrow 0,0145 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ , а для

оконного откоса с заполнением светопроема стеклопакетом  $f_{отк} \rightarrow 1,32$ , и тогда  $\Psi_{отк} \rightarrow 0,032 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ .

Таким образом получены достаточно простые зависимости, связывающие удельные дополнительные потери теплоты через некоторые линейные теплотехнические неоднородности с известными для них параметрами — факторами формы данных элементов. Такие зависимости могут быть применены при оценочных расчетах приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания, и в первую очередь его наружных стен, с использованием методики СП 50.13330.2012.

### Список литературы

1. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 14–16.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 4–12.
3. Carslaw H.S., Jaeger J.C. *Conduction of heat in solids*. 2nd edition. Oxford University Press. USA. 1986. 520 p.
4. Dylewski Robert, Adamczyk Janusz. Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments // *Energy and Buildings*. 2012. No. 54, pp. 88–95.
5. Самарин О.Д. *Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность*. М.: АСВ, 2011. 296 с.
6. Самарин О.Д. Расчет температуры на внутренней поверхности наружного угла здания с современным уровнем теплозащиты // *Известия вузов. Строительство*. 2005. № 8. С. 52–56.
7. Самарин О.Д. Обоснование снижения теплозащиты ограждений с использованием актуализированной редакции СНиП 23-02–2003 // *Жилищное строительство*. 2014. № 3. С. 46–48.

### References

1. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. Account of thermal non-uniformities during estimation of thermal performance of building enclosures in Russia and European countries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
2. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Theoretical reasons for calculation of reduced thermal resistance of building enclosures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2010. No. 12, pp. 4–12. (In Russian).
3. Carslaw H.S., Jaeger J.C. *Conduction of heat in solids*. 2nd edition. Oxford University Press. USA. 1986. 520 p.
4. Dylewski Robert, Adamczyk Janusz. Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments. *Energy and Buildings*. 2012. No. 54, pp. 88–95.
5. Samarin O.D. *Teplofizika. Energoberezhenie. Energoeffektivnost* [Thermal physics. Energy saving. Energy efficiency]. Moscow: ASV. 2011. 296 p.
6. Samarin O.D. Calculation of temperature on the internal surface of the external corner of a building with modern level of thermal performance. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2005. No. 8, pp. 52–56. (In Russian).
7. Samarin O.D. Substantiation of reducing the heat protection of enclosures with the use of an actualized version of SNiP 23-02–2003. *Zhilishhnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 3, pp. 46–48. (In Russian).

## Развитие методики неразрушающего контроля теплотехнического состояния ограждающих конструкций зданий

Описана новая методика неразрушающего контроля теплотехнического состояния ограждающих конструкций зданий, в основу которой положена разработанная ранее автором методика, базирующаяся на совместном использовании двух неразрушающих физических методов контроля – диэлькометрического (электрического) и тепловизионного (тепловое). Новая методика позволяет в натуральных условиях экспериментально-расчетным способом определить приведенное сопротивление теплопередаче обследуемой конструкции одновременно с количественным определением фактических значений влажности и теплопроводности отдельных слоев, в том числе внутреннего теплоизоляционного слоя. Приведен пример практической реализации описанной методики.

**Ключевые слова:** ограждающие конструкции, теплозащитные свойства, неразрушающий контроль.

V.S.ROYFE, Doctor of Sciences (Engineering), Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy proezd, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Development of the Method of Nondestructive Control Heattechnical Condition of Protecting Constructions of Buildings

The new method of nondestructive control of heattechnical condition of protecting constructions of buildings which basis the technique developed earlier by the author which is based on sharing of two nondestructive physical control methods - dielkometric (electric) and thermovision (thermal) is described. The new method allows to determine in natural conditions in the experimental-rated way the specified resistance to a heat transfer of a surveyed construction at the same time with quantitative determination of the actual values of humidity and heat conductivity of separate layers, including an inside heat-insulation layer. The example of practical realization of the described method is given.

**Keywords:** protecting constructions, heat-shielding properties, nondestructive control.

Основной теплозащитной характеристикой ограждающих конструкций зданий является, как известно, сопротивление теплопередаче, а точнее, приведенное сопротивление теплопередаче, метод расчета которого представлен в приложении Е СП 50.13330.2012 («Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003. Минрегион России, 2012). Аналогичный расчет используется и в европейских нормах, регламентирующих требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций [1]. Эти расчеты проводят по формулам, в которых используются, в частности, такие величины, как количество и геометрические размеры структурных неоднородностей различного типа, количественная оценка которых без экспериментального подтверждения весьма условна и существенно снижает достоверность расчета.

В практике натуральных обследований жилых и общественных зданий широкое применение нашел неразрушающий тепловизионный метод контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций [2, 3]. Однако вследствие изменчивости теплофизических величин, наблюдаемых в натуральных условиях по данным разовых (одномоментных) измерений, можно получить лишь качественную оценку теплозащитных свойств массивных стеновых конструкций, обладающих значительной тепловой инерцией. Причиной температурных аномалий на отдельных участках поверхности конструкции, выявляемых при тепловизионной съемке, могут быть структурные неоднородности материала и дефекты, такие как пустоты, мостики холода, чрезмерная влажность и теплопроводность материала в разных слоях конструкции, например во внутреннем теплоизоляционном слое и другие факторы. Также достаточно широко в строительной практике применяют неразрушающий диэлькометрический метод контроля влажности и теплопроводности [4, 5].

Диэлькометрический и тепловизионный методы измерений каждый по отдельности не позволяют проконтролировать процесс распределения влаги между слоями конструкции, происходящий в натуральных условиях в процессе эксплуатации зданий, в то время как совмест-

ное их применение в натуральных условиях открывает новые возможности определения теплозащитных качеств многослойных ограждающих конструкций как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации современных зданий. Дальнейшее развитие методики [6], основанной на совместном использовании тепловизионных и диэлькометрических измерений, позволяет количественно оценить теплофизические характеристики отдельных слоев многослойных стен, влияющие на теплотехническое состояние ограждающей конструкции в целом и его соответствие нормативным требованиям.

Ниже описан основной регламент (объем работ и последовательность операций) комплексной проверки теплозащитных качеств с количественным определением сопротивления теплопередаче, теплопроводности и влажности как отдельных слоев, так и ограждающих конструкций в целом.

Комплексное теплотехническое обследование ограждающих конструкций зданий с использованием тепловизионного и диэлькометрического методов контроля включает в себя:

- получение термограмм с помощью тепловизора, сканирующего температуры поверхностей ограждающих конструкций, между внутренними и наружными поверхностями которых имеется температурный перепад;
- измерение температур внутреннего и наружного воздуха;
- измерение теплового потока с помощью контактных датчиков (тепломеров);
- измерение фактических значений влажности и теплопроводности материала наружной и внутренней поверхностей конструкции диэлькометрическим методом;
- обработку полученных экспериментальных данных и вычисление сопротивлений теплопередаче как отдельных слоев, так и всей конструкции в целом.

Тепловизионному контролю подвергают наружные и внутренние поверхности ограждающих конструкций. По термограммам наружной поверхности ограждающих конструкций выявляют участки с температурными аномалиями, которые затем подвергают детальному обследованию и с внутренней стороны.

Измерения диэлькометрическим методом производят с помощью экспресс-измерителя, снабженного контактными емкостными датчиком, прикладываемым к поверхности контролируемого объекта.

Для практического использования описываемой методики используют следующие средства измерений (приборы): тепловизор — для визуализации тепловых полей и измерения температуры; термогигрометр — для измерения температуры и относительной влажности воздуха; многоточечный измеритель теплового потока в комплекте с контактными датчиками (тепломерами); диэлькометрический экспресс-измеритель влажности и теплопроводности строительных материалов в комплекте с контактными датчиком поверхностного типа.

Все приборы, используемые при обследовании, должны быть внесены в Госреестр средств измерений или иметь сертификат соответствия с разрешением к применению в РФ. Средства измерения должны быть поверены (или откалиброваны) в установленном порядке. Основные технические характеристики применяемых средств измерения должны удовлетворять следующим требованиям:

• Тепловизор

спектральный диапазон..... 3—5 мкм  
диапазон измерений температуры..... от -20°C до 40°C  
температурная чувствительность..... не более 0,1°C  
абсолютная погрешность измерения температуры..... не более 1°C  
разрешения кадра..... не менее 256×256

• Термогигрометр

диапазон измерений температуры воздуха..... от -40°C до +50°C  
абсолютная погрешность измерения..... не более ±2°C  
диапазон измерения влажности воздуха..... от 10 до 100%  
абсолютная погрешность измерения..... не более ±3%

• Измерители температуры и теплового потока в комплекте с датчиками

диапазон измерений температуры от..... -40°C до +50°C  
абсолютная погрешность измерения..... не более ±1°C  
диапазон измерения плотности теплового потока... 2–50 Вт/м<sup>2</sup>  
относительная погрешность измерения плотности теплового потока..... не более ±7%  
период регистрации отсчетов..... 2–300 мин  
количество запоминаемых отсчетов..... не менее 1000  
длина линии связи с датчиками..... не менее 5 м

• Экспресс-измеритель влажности и теплопроводности  
диапазон измерений влажности..... от 0,3 до 20%  
абсолютная погрешность..... не более ±1,5%;  
диапазон измерения теплопроводности от 0,03 до 1,5 Вт/м·°C  
относительная погрешность..... не более ±10%  
глубина зоны контроля..... не менее 50 мм  
время единичного измерения..... не более 10 с

Процедура теплотехнического обследования является комплексной и предусматривает осуществление контроля основных теплотехнических параметров конструкций, используя при этом только неразрушающие и расчетные способы получения нужной информации.

Перед началом обследований проверяют комплектность применяемой аппаратуры и подготавливают ее к измерениям в натуральных условиях, при этом у портативных приборов с автономным питанием проверяют работоспособность и при необходимости заряжают аккумуляторы или меняют химические источники питания (батареи). Затем производят визуальный осмотр наружных и внутренних поверхностей ограждающих конструкций объекта, выбранных для обследования, оценивают степень их состояния. В случае необходимости подвергают их дополнительной обработке и очистке поверхностей в соответствии с требованиями нормативных документов, регламентирующих технические условия (технические требования) к конкретной строительной продукции.

Конкретные средства измерений подготавливают к работе в соответствии с инструкциями (руководствами) по эксплуатации.

Диэлькометрические измерения выполняют по ГОСТ Р 8.621–2006 («ГСИ. Материалы и изделия строительные. Методика выполнения измерений влажности и теплопроводности диэлькометрическим методом». М.: Стандартинформ, 2006. 18 с.)

Тепловизионные измерения выполняют по ГОСТ Р 54852–2011 («Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций». М.: Стандартинформ, 2011. 20 с.)

Измерения плотности тепловых потоков выполняют по ГОСТ 25380–82 («Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции». М.: Изд-во стандартов, 1982. 12 с.)

Измерения температуры наружного и внутреннего воздуха проводят на расстоянии 10 см от поверхности ограждающей конструкции.

После проведения натурных обследований проводят обработку полученных экспериментальных данных. Обработка результатов диэлькометрических измерений заключается в нахождении среднearифметических значений влажности и теплопроводности материала поверхностного слоя ограждающей конструкции для полученного массива локальных измерений отдельно по наружной и внутренней поверхностям. Обработка результатов тепловизионных измерений сводится к расшифровке термограмм. Расшифровку термограмм проводят либо с помощью компьютера по специальной программе, либо программными средствами, имеющимися непосредственно в тепловизоре. Расшифровки термограмм на компьютере не требуется, если полученные с помощью тепловизора значения температур на реперных участках совпадают с температурами, измеренными с помощью контактных датчиков.

Приведенное сопротивление теплопередаче отдельных слоев многослойной ограждающей конструкции находят путем выполнения следующих действий:

– измеряют фактические значения влажности ( $w_n, w_b$ ) и теплопроводности ( $\lambda_n, \lambda_b$ ) наружного и внутреннего поверхностных слоев ограждающей конструкции. Измерения проводят в соответствии с ГОСТ Р 8.621–2006;

– вычисляют значения сопротивлений теплопередаче поверхностных слоев конструкции ( $R_n, R_b$ ) по формулам  $R_n = \delta_n / \lambda_n$ ;  $R_b = \delta_b / \lambda_b$ , где  $\delta_n$  и  $\delta_b$  — толщина наружного и внутреннего поверхностных слоев, соответственно. Величины  $\delta_n$  и  $\delta_b$  известны, как правило, из проектной документации;

– измеряют температуру ( $t_n, t_b$ ) на наружной и внутренней поверхностях конструкции и плотность проходящего через нее теплового потока ( $Q$ ) в условиях, близких к стационарной теплопередаче;

– вычисляют значение сопротивления теплопередаче всей конструкции ( $R_k$ ) по формуле  $R_k = \Delta t / Q$ , где  $\Delta t = t_b - t_n$ ;

– вычисляют значение сопротивления теплопередаче внутреннего слоя теплоизоляции ( $R_t$ ) по формуле:  $R_t = R_k - 1/\alpha_b - 1/\alpha_n - R_n - R_b$ ;

– вычисляют фактическое значение теплопроводности ( $\lambda_t$ ) утеплителя по формуле:  $\lambda_t = \delta_t / R_t$ , где  $\delta_t$  — толщина слоя теплоизоляции;

– вычисляют влажность утеплителя ( $w_t$ ) по формуле  $w_t = (\lambda_t - \lambda_{t0}) / \Delta \lambda_w$ , где  $\lambda_{t0}$  — значение теплопроводности сухого утеплителя;  $\Delta \lambda_w$  — приращение теплопроводности на 1% влажности (значения  $\lambda_t$  и  $\lambda_{t0}$  берутся из приложения Т СП 50.13330.2012 («Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003. Минрегион России. М.: 2012. С. 83–93);

– сравнивают полученное значение  $w_t$  с нормируемым значением допустимой влажности материала утеплителя по приложению Т СП 50.13330.2012 и делают

вывод о соответствии (несоответствии) тепловой защиты обследуемой конструкции здания нормативным требованиям. Условия эксплуатации в зоне влажности А или Б в зависимости от региона России выбирают по приложению В СП 50.13330.2012.

Ниже приведен пример практической реализации описанной методики в практике натуральных обследований, проведенных НИИСФ РААСН в 2013 г.

Обследовали стеновые панели типа «сэндвич» эксплуатируемого жилого дома в Московской области. Из проектной документации известно, что панели представляют собой трехслойную конструкцию, состоящую из двух поверхностных слоев бетона плотностью  $1600 \text{ кг/м}^3$  и слоя теплоизоляции из минеральной ваты плотностью  $75 \text{ кг/м}^3$ , причем толщина поверхностных слоев панелей составляет 40 мм с внутренней стороны и 60 мм с наружной стороны панели, а толщина слоя теплоизоляции составляет 160 мм.

Измерили температуры  $t_v$ ,  $t_n$  внутренней и наружной поверхностей нескольких наружных стен здания и после обработки результатов измерений получили:  $t_v = +18,2^\circ\text{C}$ ;  $t_n = -12,5^\circ\text{C}$ .

В результате измерений плотности теплового потока  $Q$  по методике ГОСТ 25380–82 после обработки результатов измерений получили:  $Q = 9,6 \text{ Вт/м}^2$ .

Значение общего сопротивления теплопередаче  $R_k$  конструкции, рассчитанное по формуле:  $R_k = (t_v - t_n)/Q$ , составило  $R_k = 30,7/9,6 = 3,2 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$ .

Фактические средние значения теплопроводности  $\lambda_v$  и  $\lambda_n$  внутреннего и наружного поверхностных слоев обследованных стен, измеренные с помощью экспресс-измерителя типа ИВТП-12–2 (Экспресс-измеритель влажности и теплопроводности строительных материалов ИВТП-12. <http://www.izmeritel-niisf.ru>) по ГОСТ 8.621–2006, после статистической обработки результатов измерений составили соответственно  $\lambda_v = 0,65 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ ;  $\lambda_n = 0,75 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ .

Значения сопротивлений теплопередаче  $R_v$ ,  $R_n$  внутреннего и наружного поверхностных слоев конструкции, вычисленные по формулам:  $R_v = \delta_v / \lambda_v$ ;  $R_n = \delta_n / \lambda_n$ , составили:  $R_v = 0,04/0,65 = 0,06 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$  и  $R_n = 0,06/0,75 = 0,08 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$ , соответственно.

В результате вычисления значения сопротивления теплопередаче слоя теплоизоляции  $R_t$  по формуле:  $R_t = R_k - 1/\alpha_v - 1/\alpha_n - R_v - R_n$  получен следующий результат:  $R_t = 3,2 - 0,11 - 0,04 - 0,06 - 0,08 = 2,91 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$  (табличные значения  $\alpha_v = 8,7$  и  $\alpha_n = 23$  взяты из СП 50.13330.2012).

Фактическое значение теплопроводности слоя тепло-изоляции, рассчитанное по формуле:  $\lambda_t = \delta_t / R_t$ , составило  $\lambda_t = 0,16/2,91 = 0,055 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ .

В результате вычисления влажности минеральной ваты по формуле  $w_t = (\lambda_t - \lambda_0) / \Delta\lambda_w$  получено:  $w_t = (0,055 - 0,046)/0,005 = 1,8\%$  (значение  $\lambda_0 = 0,046$  для минеральной ваты по ГОСТ 9573–96 плотностью  $75 \text{ кг/м}^2$  взято из таблицы Т1 приложения Т СП СП 50.13330.2012, а значение  $\Delta\lambda_w = 0,005$  получено расчетным путем по той же таблице).

Таким образом, количественно определены фактические значения теплозащитных свойств (сопротивления теплопередаче, теплопроводности и влажности) материалов по отдельности всех слоев обследуемой трех слойной ограждающей конструкции без нарушения ее целостности.

Следует отметить, что разработанная методика экспериментального определения основных тепло-технических показателей ограждающих конструкций [7] ни в коей мере не является альтернативой расчетным методам, регламентируемым действующими нормативными документами.

Основные отличия и достоинства разработанной методики контроля теплофизических характеристик наружных ограждающих конструкций при обследовании зданий в натуральных условиях заключаются в следующем.

Методика позволяет в течение нескольких минут дать количественную оценку теплозащите ограждающих конструкций при обследованиях зданий; применима как к однослойным, так и к многослойным строительным конструкциям; вместе с экспериментально-расчетным определением приведенного сопротивления теплопередаче обследуемой конструкции в целом получают фактические значения влажности и теплопроводности отдельных слоев, в том числе внутреннего тепло-изоляционного слоя, что невозможно осуществить другими неразрушающими методами контроля.

**Список литературы**

1. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 14–16.
2. Левин Е.В., Окунев А.Ю., Умнякова Н.П., Шубин И.Л. Основы современной строительной термографии. М.: НИИСФ РААСН. 2012. 176 с.
3. Гагарин В. Г., Козлов В. В. и др. Теплозащита наружных стен зданий с облицовкой из кирпичной кладки // *АВОК*. 2009. № 6. С.48–55.
4. Ройфе В.С. К обоснованию выбора неразрушающего метода оценки теплозащитных свойств строительных материалов. // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 22–23.
5. Royfe V.S. Physical meaning of correlation between the thermo- and electro-physical characteristics of nonmetallic materials. // *Measurement Techniques*. 2012. Vol. 55. № 2, pp. 193–198.
6. Ройфе В.С. Экспресс-методика комплексного неразрушающего контроля теплотехнического состояния ограждающих конструкций зданий // *Жилищное строительство*. 2011. № 1. С. 24–26.
7. Патент РФ 2497106. Способ неразрушающего контроля теплотехнических качеств ограждающих конструкций зданий / В.С. Ройфе; Заявл. 22.05.2012. Оpubл. 27.10.2013. Бюл. № 30.

**References**

1. Gagarin V.G., Dmitriyev K.A. The accounting of heattechnical not uniformity at an assessment of a heat-shielding of protecting designs in Russia and the European countries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
2. Levin E.V., Okunev A.Yu., Umnyakova N.P., Choubin I.L. Osnovy sovremennoj stroitel'noj termografii. [Bases of a modern construction termografiya]. Moscow: NIISF RAACS. 2012. 176 p.
3. Gagarin V.G., Kozlov V.V., etc. Heat-shielding of external walls of buildings with facing from a bricklaying. *AVOK*. 2009. No. 6, pp. 48–55. (In Russian).
4. Royfe V.S. To justification of a choice of a nondestructive method of an assessment of heat-shielding properties of construction materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 22–23. (In Russian).
5. Royfe V.S. Physical meaning of correlation between the thermo- and electro-physical characteristics of nonmetallic materials. *Measurement Techniques*. 2012. Vol. 55. No. 2, pp. 193–198.
6. Royfe V.S. Express-metod of complex nondestructive control of heattechnical condition of protecting designs of buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 1, pp. 24–26. (In Russian).
7. Patent RF 2497106. Sposob nerazrushajushhego kontrolja teplotehnicheskikh kachestv ograzhdajushhikh konstrukcij zdaniij. [Metod of nondestructive control of heattechnical qualities of protecting designs of buildings]. Royfe V.S. Declared 22.05.2012. Published 27.10.2013. Bulletin No. 30. (In Russian).

УДК 691.327:53

С.Н. ЛЕОНОВИЧ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Н.Л. ПОЛЕЙКО<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
Л.С. КУРАШ<sup>2</sup>, начальник производственно-технического отдела

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65)

<sup>2</sup> ОАО «Нерудпром» (220024, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Асаналиева, 72)

## Применение крупного заполнителя производства ОАО «Нерудпром» для приготовления бетона

Ранее действовавшие нормативно-технические документы рекомендовали применять в качестве крупного заполнителя для бетонов класса С12/15 щебень из гравия и гравий, особенно в жилищном строительстве. Отказ предприятиями-производителями строительной индустрии от применения в качестве крупного заполнителя в бетонной смеси щебня из гравия и гравия является неоправданным и экономически нецелесообразным. В результате проведенных сравнительных исследований установлено, что применение гравия в качестве крупного заполнителя в бетонах оправданно в низкомарочных бетонах с прочностью при сжатии до класса С12/15, где не предъявляются требования по морозостойкости и водонепроницаемости. Допустимо использование гравия в бетонах классов С18/22,5–С20/25 с требованиями к бетону марок F100 и W4.

**Ключевые слова:** щебень гранитный, щебень из гравия, гравий, морозостойкость, бетон, класс бетона, водонепроницаемость.

S.N. LEONOVICH<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), N.L. POLEYKO<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering),  
L.S. KURASH<sup>2</sup>, Head, Production and Technical Department

<sup>1</sup> Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus)

<sup>2</sup> OAO "Nerudprom" (72, Asanalieva Street, 220024, Minsk, Republic of Belarus)

### The Use of Coarse Aggregate Produced by OAO "Nerudprom" for Concrete Preparation

Previously existing normative-technical documents recommended to use crushed gravel and gravel as a coarse aggregate for concretes of C12/15 class, especially in housing construction. The refusal of manufacturing enterprises to use crushed gravel and gravel as coarse aggregate for concrete mix is not economically feasible and unjustified. As a result of the comparative studies conducted it is established that the use of gravel as coarse aggregate in concretes is justified for low-grade concretes with compression strength of up to C12/15 class where the requirements for frost resistance and water-tightness are not presented. It is permissible to use gravel in concretes of C18/22.5–C20/25 classes with requirements to concretes of F100 and W4 grades.

**Keywords:** crushed granite, crushed gravel, gravel, frost resistance, concrete, concrete class, water-tightness.

Ранее действовавшие нормативно-технические документы рекомендовали применять в качестве крупного заполнителя для бетонов классов до С12/15 щебень из гравия и гравий, особенно в жилищном строительстве.

В последние годы в качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона используется преимущественно гранитный щебень. Это ведет к неустойчивости более дешевых и доступных гравия и щебня из гравия, к увеличению транспортных расходов и повышению себестоимости продукции.

В ОАО «Нерудпром» производится крупный заполнитель для строительных работ, осуществляется добыча и фракционирование гравия, дробление гравия, фракционирование щебня из гравия. Крупный заполнитель выпускается в виде гравия из смеси фракций 5–20; 20–70 мм, щебень из гравия фракций 5–10 мм и смеси фракций 5–20 мм. Щебень из гравия и гравий удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» (введен 01.07.1995) и СТБ 1544–2005 «Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия» (введен 01.07.2005). Объем производства гравия составляет 120–130 тыс. м<sup>3</sup> в год, щебня из гравия – 110–130 тыс. м<sup>3</sup> в год, что является достаточным для восполнения потребностей предприятий строительной отрасли Минского региона.

В связи с вышеизложенным на кафедре «Технология строительного производства» Белорусского национального технического университета проведен комплекс исследований щебня из гравия и гравия карьеров Крапужино и Волма на предмет экономического применения их в производстве сборного железобетона и монолитном строительстве. Требования к бетону по их эксплуатационным качествам, области применения, физико-техническим свойствам, условиям долговечно-

сти расширяют область экономического использования различных видов заполнителей. Если учесть, что заполнители занимают в бетоне до 80% объема, а стоимость их достигает 50% стоимости бетонных и железобетонных конструкций, то становится понятным, что правильный выбор заполнителей, наиболее рациональное их применение имеют большое влияние на свойства бетонной смеси, бетонных и железобетонных конструкций, технико-экономическую эффективность производства строительных изделий из сборного, монолитного бетона и железобетона в целом.

При проектировании составов бетонной смеси исходят из необходимости получения бетона заданной прочности, консистенции и долговечности при минимальном расходе цемента. Для тяжелых бетонов минимальный расход цемента обеспечивается максимальным насыщением объема бетона заполнителями и минимальной пустотностью смеси заполнителей.

Удельная поверхность гравия, зерна которого имеют округлую, окатанную форму, меньше удельной поверхности щебня с шероховатыми зернами угловатой формы. При одинаковой крупности гравий, поскольку зерна его укладываются более компактно, отличается от щебня несколько меньшей пустотностью. Удобноукладываемость бетонной смеси, при прочих равных условиях, лучше на гравии, чем на щебне. Это позволяет несколько снизить водоцементное отношение при сохранении заданной подвижности. Благодаря этому в бетонах на гравии (с прочностью на сжатие не выше класса С20/25) наблюдается даже экономия цемента (до 15–20%) по сравнению с бетоном на щебеночном заполнителе, в том числе и гранитном щебне.

Качество заполнителей для бетона определяется прочностью сцепления цементного камня с поверхностью зерен заполнителей, собственной прочностью за-

Таблица 1

Состав	Расход составляющих на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг						Класс бетона
	Цемент	Песок	Вода	Щебень гранитный	Щебень из гравия	Гравий	
1	230	870	140	1170	–	–	C12/15
2	230	870	140	–	1170	–	C12/15
3	230	870	140	–	–	1170	C12/15
4	350	750	180	1120	–	–	C20/25
5	350	750	180	–	1120	–	C20/25
6	350	750	180	–	–	1120	C16/20
7	460	710	200	1050	–	–	C25/30
8	460	710	200	–	1050	–	C22/27,5
9	460	710	200	–	–	1050	C20/25
10	350	860	180	1020	–	–	C20/25
11	350	860	180	–	1020	–	C20/25
12	350	860	180	–	–	1020	C18/22,5
13	350	750	180	1120	–	–	C20/25
14	370	740	185	–	1110	–	C20/25
15	395	730	190	–	–	1080	C20/25

полнителей, формой зерен и чистотой поверхности [3, 4]. Установлено, что на конечную прочность бетона помимо качества заполнителей решающее значение оказывает и расход составляющих бетонной смеси, количество крупного заполнителя и соотношение мелкого и крупного заполнителей.

Для определения области применения щебня из гравия и гравия, выпускаемого ОАО «Нерудпром», в качестве крупного заполнителя для производства бетонных и железобетонных сборных и монолитных из-

делий и конструкций проведены исследования с целью подтверждения возможности и технико-экономической целесообразности получения бетонов с нормируемыми показателями качества. Испытаны составы бетона с различным содержанием цемента и крупного заполнителя. В качестве крупного заполнителя применялся щебень из гравия ДСЗ «Крапужино» и, для сравнения, гранитный щебень РУП «Гранит» фракции 5–20 мм.

Составы бетона, по которым оценивалось рациональное применение заполнителей, приведены в табл. 1.

Таблица 2

Физико-технические характеристики бетона	Состав		
	4	5	6
Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	2448	2403	2387
Водопоглощение, мас. %	4,4	4,45	5,02
Прочность на сжатие, МПа	34,5	32,4	27,8
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	4,66	4,48	4,35
Морозостойкость	F150	F100	F100
Водонепроницаемость	W4	W4	W4

Таблица 3

Состав	Прочность при сжатии, МПа	Марка по морозостойкости
1	18,3	F75
2	18,8	F75
3	17,7	F75
4	34,5	F150
5	32,4	F100
6	27,8	F100
7	44,2	F250
8	37,1	F150
9	33,7	F150

Физико-технические характеристики бетона определялись на составах 4–6. Результаты испытаний, приведенные в табл. 2, показывают, что применяемые заполнители удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267–93 и СТБ 1544–2005.

Одной из основных характеристик бетона является его морозостойкость. С этой целью проведены испытания на морозостойкость бетона, содержащего крупный заполнитель указанных предприятий (составы 1–9, табл. 1).

Подбор состава бетона осуществляли исходя из класса бетона по прочности на сжатие C12/15 (составы 1–3), C20/25 (составы 4–6) и C25/30 (составы 7–9) (подвижность бетонной смеси ОК 1–4 см). Доля песка в смеси заполнителей составляла 40%. В качестве вяжущего применялся цемент М500 до производства ОАО «Красносельскстройматериалы».

Результаты испытаний на морозостойкость и прочность бетона составов 1–9 приведены в табл. 3 и показывают, что прочность бетонных образцов составов 1–3 отличается незначительно и находится в пределах



17,7–18,3 МПа. Это подтверждает, что на низкомарочных бетонах (С10/12,5 – С12/15) прочность крупного заполнителя не оказывает большого влияния на их свойства.

Разрушение бетонных образцов при испытании происходило по зоне контакта цементный камень – заполнитель. Бетон разрушался от поперечного растяжения.

По результатам испытаний на прочность при сжатии составов 4–6 можно сделать вывод, что в составах, где в качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень и щебень из гравия, класс бетона соответствует классу С20/25. На крупном заполнителе из гравия класс бетона приближается к классу С18/22,5. Отличие в прочности бетонных образцов составов 7–9 значительно. Если прочность бетона состава 7 соответствует классу С25/30–С28/35, то в составах 8 и 9 – С22/27,5 и С20/25 соответственно. Бетон разрушался от сквозных трещин, пронизывающих как цементный камень, так и заполнители.

Морозостойкость бетона составов 1–3 соответствует марке F75. Морозостойкость для состава 4 соответствует марке F150 и для составов 5–6 – F100, что значительно расширяет возможность использования гравия и щебня из гравия для бетонов, где предъявляются требования по морозостойкости от F25 до F100 включительно. Морозостойкость состава 7 (F250) выше морозостойкости составов 8 и 9 на две марки F150 (табл. 3).

Снижение морозостойкости бетона на гравии в первую очередь связано с наличием слабых зерен в гравии и окатанной формой зерен гравия, что облегчает прохождение воды сквозь тело бетона в зоне контакта заполнителя и растворной части и в конечном итоге приводит к разрушению бетонных образцов.

Учитывая различную стоимость щебня из гравия и гравия производства ОАО «Нерудпром» и гранитного щебня производства РУП «Гранит», использование их в строительстве является экономически целесообразным. Расчет себестоимости бетонной смеси составов 1–15 (табл. 1) проводился исходя из отпускной стоимости материалов:

Цемент М500	– 898810 р./т
Песок высшего класса	– 38017 р./м <sup>3</sup>
Щебень гранитный фр. 5–20 мм	– 170520 р./т
Щебень из гравия фр. 5–20 мм	– 58488 р./м <sup>3</sup>
Гравий фр. 5–20 мм	– 40942 р./м <sup>3</sup>

Цены приведены по состоянию на 1 февраля 2013 г.

Проведя анализ себестоимости различных составов бетонной смеси, можно сделать заключение, что себестоимость всех составов бетонов (с низким расходом – 230 кг цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси и с высоким расходом – 460 кг цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси) на щебне из гравия на 10–18% ниже, чем себестоимость бетонной смеси на гранитном щебне. Себестоимость бетонной смеси на гравии на 20–28% ниже, чем себестоимость бетонной смеси на гранитном щебне. При повышении расхода мелкого заполнителя в бетонной смеси уменьшается расход щебня и гравия. Соответственно уменьшается и разница в себестоимости бетонной смеси. И тем не менее на щебне из гравия стоимость ниже на 12%, а на гравии – на 32% ниже, чем на гранитном щебне (составы 10–12).

Для достижения одинаковой прочности бетона на различных видах крупного заполнения запроектированы составы бетонной смеси 13–15 (табл. 1). При этом увеличение расхода цемента составило на щебне из гравия 20 кг/м<sup>3</sup>, а на гравии – 45 кг/м<sup>3</sup> в сравнении с гранитным щебнем. Себестоимость бетонной смеси оказалась ниже на щебне из гравия на 8,7%, а на гравии – на 9,3%. Из этого следует, что для достижения одинаковой

проектной прочности бетона за счет увеличения расхода цемента можно получить экономию себестоимости продукции до 10%. Учитывая в расчетах себестоимость бетонной смеси затраты на транспортные расходы, экономические показатели увеличиваются на 5–20% в зависимости от расстояния перевозки.

Отказ предприятиями – производителями строительной индустрии от применения в качестве крупного заполнителя в бетонной смеси щебня из гравия и гравия является неоправданным и экономически нецелесообразным.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Щебень из гравия и гравий удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267–93 и соответствуют СТБ 1544–2005 для применения его в качестве крупного заполнителя для производства тяжелого бетона.
2. Применение гравия в качестве крупного заполнителя оправданно в низкомарочных бетонах с прочностью на сжатие до класса С12/15, где не предъявляются требования по морозостойкости и водонепроницаемости. Допустимо использование гравия в бетонах классов С18/22,5–С20/25 с требованиями к бетону марок F100 и W4.
3. В качестве крупного заполнителя щебень из гравия целесообразно применять в бетонах до класса С20/25 с требованиями к бетону марок F100 и W4; допустимо использование в бетонах до класса С20/25–С22/27,5 с F150 и W6.
4. Себестоимость 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси на щебне из гравия на 10–18%, на гравии – на 20–32% ниже, чем себестоимость бетонной смеси на гранитном щебне.

#### Список литературы

1. Старчуков Д.С. Бетоны ускоренного твердения с добавками твердых веществ неорганической природы // *Бетон и железобетон*. 2011. № 14. С. 22–24.
2. Загер И.Ю., Яшинкина А.А., Андропова Л.Н. Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождений нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого автономного округа // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 84–86.
3. Добшиц Л.М., Магомедэминов И.И. Определение морозостойкости крупного заполнителя для тяжелых бетонов // *Бетон и железобетон*. 2012. № 4. С. 16–19.
4. Петров В.П., Токарева С.А. Пористые заполнители из отходов промышленности // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 46–50.

#### References

1. Starchukov D. S. Concrete of the accelerated curing with additives of strong substances of the inorganic nature. *Beton i zhelezobeton*. 2011. No. 14, pp. 22–24. (In Russian).
2. Zager I.Yu. Yashinkina A.A. Andropova L.N. Comparative assessment of products of crushing of rocks of fields of nonmetallic construction materials of the Yamalo-Nenets Autonomous Area. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 5, pp. 84–86. (In Russian).
3. Dobshits L.M. Magomedeminov I.I. Determination of frost resistance of large filler for heavy concrete. *Beton i zhelezobeton*. 2012. No. 4, pp. 6–19. (In Russian).
4. Petrov V.P., Tokareva S. A. Porous fillers from industry waste. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 12, pp. 46–50. (In Russian).

О.Б. РУДАКОВ, д-р хим. наук, Е.А. ХОРОХОРДИНА, канд. хим. наук, ЧАН ХАЙ ДАНГ, инженер  
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84)

## Тонкослойная хроматография и цветометрия в контроле фенольного индекса отделочных строительных материалов

Усовершенствована методика контроля фенольного индекса в отделочных строительных материалах с применением тонкослойной хроматографии в сочетании с цифровой цветометрией. С помощью сканирующего устройства регистрировали цветность хроматографических зон в цветовой модели RGB, проявленных параллельно двумя хромофорными реагентами. По результатам цветометрических измерений строили лепестковые диаграммы, геометрические параметры которых (площадь, периметр и коэффициент близости векторных массивов фигуры) применяли как для качественного, так и для количественного анализа. Методика опробована на модельных растворах и реальных объектах в анализе водных смывов с различных образцов отделочных материалов (обои, полимерная плитка, панели, линолеум). Она позволяет устанавливать содержание фенолов ниже уровня ПДК с приемлемой относительной погрешностью (до 10%). Применение тандема ТСХ и цифровой цветометрии повышает идентификационную информативность суммы аналитических сигналов. Наряду с параметрами хроматографического удерживания в идентификации учитываются интенсивности трех цветовых компонентов двух цветных реакций, которые зависят не только от концентрации фенолов, но и от их природы. Методика контроля отличается простотой приемов подготовки пробы, низкой стоимостью единичного анализа и может использоваться в малобюджетных лабораториях.

**Ключевые слова:** отделочные строительные материалы, фенольный индекс, тонкослойная хроматография (ТСХ), жидкостная экстракция, цифровая цветометрия, цветовая модель RGB.

O.B. RUDAKOV, Doctor of Sciences (Chemistry); E.A. KHOROKHORDINA, Candidate of Sciences (Chemistry); CHAN HAI DANG, engineer, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (84, 20-letiya Oktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

### Thin-layer chromatography and colorimetry for control of phenol index of finishing building materials

Methods for control of the phenol index in finishing building materials with the use of thin-layer chromatography in combination with digital colorimetry have been improved. The chromaticity of chromatographic zones revealed at the same time with two chromophoric reagents in the color model RGB is registered with the help of the scanning device. On the basis of colorimetric measuring results the radar charts are built; their geometric parameters (square, perimeter, and coefficient of closeness of linear array of a figure) are used both for the qualitative and quantitative analysis. Methods were tested on model solutions and real objects for analyzing water wash-outs from various samples of finishing materials (wallpaper, polymeric tiles, panels, linoleum). They make it possible to define the phenol content lower the level of MAC with acceptable relative error (up to 10%). The use of the tandem of thin-layer chromatography and digital colorimetry improves the identification information value of the sum of analytic signals. The intensity of three color components of two color reactions which depend not only on the phenol concentration but also on their nature is taken into account along with parameters of chromatographic retaining in identification. These methods of control are notable for the simplicity of ways of sample preparation, low cost of a single analysis and can be used at low-budget laboratories.

**Keywords:** finishing building materials, phenol index, thin-layer chromatography, liquid extraction, digital colorimetry, color model RGB.

Фенолы широко используют в качестве мономеров, стабилизаторов, антиоксидантов, антисептиков и других функциональных добавок в отделочных строительных материалах [1]. Производные фенола применяют в синтезе красителей, фенолформальдегидных смол, клеев, различных пластмасс [2]. Низшие фенолы имеют высокую токсичность и относятся к экотоксикантам, в то время как алкилфенолы могут быть малотоксичными [3]. В композиционных синтетических, искусственных и натуральных материалах могут одновременно присутствовать и токсичные, и малотоксичные фенольные соединения, поэтому актуальным является контроль этих соединений в материалах и средах в совместном присутствии. Отделочные материалы, особенно на

полимерной основе, выделяют в воздух и воду органические соединения различных классов, в том числе фенол и его производные, и могут представлять экологическую опасность; наиболее сильно это проявляется при неправильной эксплуатации указанных материалов и изделий на их основе [4].

До сих пор для анализа фенолов в строительной индустрии применяют классические трудоемкие способы химического анализа, требующие не только затрат времени, но и использования токсичных и дорогих реактивов [5]. Наиболее селективным методом контроля фенолов является высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) [6], для экспрессного контроля подходит бюджетный вариант жидкостной хроматографии

Таблица 1

Аналит	$R_f$
Фенол	0,67
Гидрохинон	0,58
Орто-трет-бутилфенол	0,7
Орто-крезол	0,72
Мета-крезол	0,71
Пара-крезол	0,71
Резорцин	0,6

Таблица 2

Вещество	C, г/л	S	P	$\epsilon$
Фенол	0,1575	45170	868	0
Мета-крезол	0,1545	42350	906	0,093
Орто-крезол	0,1462	43160	911	0,098
Пара-крезол	0,1551	40740	881	0,106
Резорцин	0,1528	41520	884	0,121
Гидрохинон	0,1515	40790	901	0,129
Орто -трет-бутилфенол	0,147	37960	862	0,142

Таблица 3

Отделочные строительные материалы	$S \cdot 10^{-3}$	P	$\epsilon$
Обои виниловые на бумажной основе «супермойка»	55,35	987	0,128
Обои виниловые на флизелиновой основе	55,34	985	0,116
Обои бумажные с нанесением акриловых полимеров «акриловые»	55,37	991	0,109
Потолочная полимерная плитка белая со светло-коричневыми фрагментами	55,39	995	0,164
Отделочные полимерные панели белые	55,33	983	0,114
Линолеум коричневый с паркетным рисунком	55,38	993	0,131

Таблица 4

Соединение	Уравнение	$R^2$
Фенол	$S = (-68320 \pm 850) C + (55320 \pm 650)$	0,998
	$P = (-550 \pm 26) C + (1002 \pm 45)$	0,985
Гидрохинон	$S = (-92960 \pm 1580) C + (53660 \pm 1360)$	0,942
	$P = (-842 \pm 36) C + (1001 \pm 50)$	0,926
Орто-трет-бутилфенол	$S = (-90680 \pm 1690) C + (52854 \pm 1410)$	0,942
	$P = (-876 \pm 22) C + (1004 \pm 54)$	0,953
Орто-крезол	$S = (-64840 \pm 960) C + (54850 \pm 1350)$	0,914
	$P = (-524 \pm 14) C + (999 \pm 27)$	0,951
Мета-крезол	$S = (-43180 \pm 1370) C + (48809 \pm 870)$	0,957
	$P = (-372 \pm 18) C + (959 \pm 35)$	0,952
Пара-крезол	$S = (-74660 \pm 1040) C + (51309 \pm 640)$	0,991
	$P = (-636 \pm 24) C + (970 \pm 42)$	0,994
Резорцин	$S = (-50740 \pm 870) C + (49047 \pm 680)$	0,98
	$P = (-422 \pm 23) C + (950 \pm 25)$	0,994

Таблица 5

Раствор	Введено	Найдено	Относительная ошибка W, %
Фенол	0,1	$0,0910 \pm 0,0030$	3,5
	0,01	$0,0091 \pm 0,0004$	4,79
Гидрохинон	0,1	$0,0926 \pm 0,0045$	6,07
	0,01	$0,0087 \pm 0,0004$	5,65
Орто-трет-бутилфенол	0,1	$0,0956 \pm 0,0035$	4,54
	0,01	$0,0099 \pm 0,0005$	6,54
Орто-крезол	0,1	$0,0994 \pm 0,0043$	5,38
	0,01	$0,0099 \pm 0,0007$	8,9
Мета-крезол	0,1	$0,0910 \pm 0,0061$	8,28
	0,01	$0,0097 \pm 0,0008$	10,2
Пара-крезол	0,1	$0,0928 \pm 0,0031$	4,2
	0,01	$0,0101 \pm 0,0006$	7,7
Резорцин	0,1	$0,0996 \pm 0,0035$	4,35
	0,01	$0,0096 \pm 0,0008$	9,82

Таблица 6

Отделочные строительные материалы	Фенольный индекс $C \cdot 10^{-3}$ (мг/л)
Обои виниловые на бумажной основе «супермойка»	$0,44 \pm 0,02$
Обои виниловые на флизелиновой основе	$0,29 \pm 0,02$
Обои бумажные с нанесением акриловых полимеров «акриловые»	$0,73 \pm 0,01$
Потолочная полимерная плитка белая со светло-коричневыми фрагментами	$1 \pm 0,01$
Отделочные полимерные панели белые	$0,15 \pm 0,02$
Линолеум коричневый с паркетным рисунком	$0,88 \pm 0,01$

– тонкослойная хроматография (ТСХ). Преимуществом ТСХ является простота приемов и оборудования, невысокая стоимость единичного анализа [7].

В тестировании качества материалов, обладающих цветностью или меняющих цвет при изменении качества, а также при длительном хранении, эксплуатации в настоящее время находят применение цифровая цветометрия. В работе [8] при изучении влияния естественного освещения на цветность обоев при их эксплуатации использовали планшетный сканер, а в работах [9, 10] представлены возможности цветометрического контроля качества окрашенных рулонных, плиточных, сыпучих строительных материалов, технической воды с помощью цифровых сканеров и фотокамер. В цветометрии аналитическим сигналом является электронное изображение, полученное с использованием того или иного цифрового устройства. Файл с электронным изображением чаще всего обрабатывают с помощью графических редакторов (например Adobe Photoshop) с применением цветовой трехкомпонентной аддитивной модели RGB, в которой цвета представляются сложением красного, желтого и синего цветов. Современные универсальные математические пакеты также обладают возможностью работы с цифровым изображением (MatLab, MathCAD).

Цифровые технологии дают дополнительные возможности в эффективном применении ТСХ при контроле и диагностике строительной продукции.

Целью представленного в статье исследования является усовершенствование методик определения фенольного индекса в отделочных строительных материалах с помощью цифровых технологий за счет привлечения ТСХ.

Образец отделочного строительного материала измельчали до размера  $5 \times 5$  мм и взвешивали на аналитических весах массу навески  $\sim 1-1,5$  г с точностью  $\pm 0,0002$  г. Навеску помещали в коническую плоскодонную колбу, добавляли мерным цилиндром  $30 \text{ см}^3$  воды и встряхивали 15 мин на вибросмесителе. Определение проводили на тонкослойной пластине марки Sorbfil (Краснодар) размером  $12,5 \times 7$  см, сорбент-силикагель с зернением  $5-12$  мкм. Пробу,  $5$  мкл анализируемого раствора, наносили на линию старта с помощью микрошприца. Пластины помещали в стеклянную камеру. Добавляли  $30 \text{ см}^3$  подвижной фазы (хлороформ – этилацетат – уксусная кислота,  $50:50:1$ ). Для проявления фенолов применяли две цветные реакции: 1) обработка парами йода (желтые пятна); 2) обработка пульверизатором смесью хлорида железа (III) – получаемый феррицианид дает синие пятна [7]. Для регистрации видеосигнала использовали портативный ручной сканер ION COPUCAT. Изображения пятен анализировали с помощью программы Adobe Photoshop (версия CS3). Обобщенные цветометрические данные по методикам [9, 10] представляли в виде лепестковых диаграмм (ЛД) с шестью осями в полярных координатах, отражающих значения интенсивности ( $F_i$ ) цветовых координат в модели RGB в единой последовательности  $R_1, G_1, B_1, R_2, G_2, B_2$ , где индекс 1 и 2 относится к 1-й и 2-й цветным реакциям. ЛД строили в программе Microsoft Excel (или MathCAD), в которых реализованы алгоритмы рас-

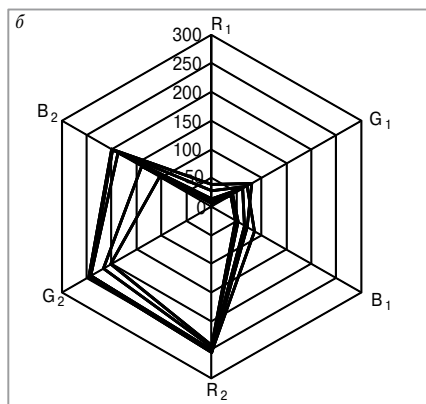
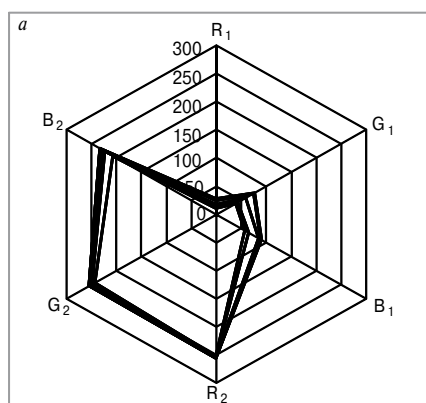


Рис. 1. Цветометрические измерения в тонком слое сорбента. Зависимость профиля ЛД от концентрации: а – фенол; б – гидрохинон, С=0,05–0,25 г/л

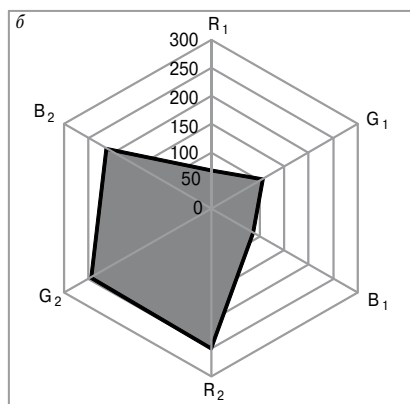
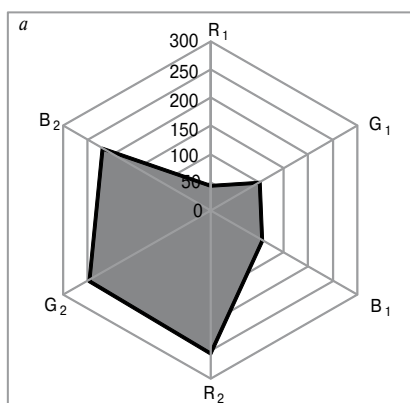


Рис. 2. Профиль ЛД для фенольного индекса водных смывов отделочных материалов (ТСХ и цифровой цветометрии): а – обои виниловые на бумажной основе «супербелка»; б – потолочная полимерная плитка белая со светло-коричневыми фрагментами

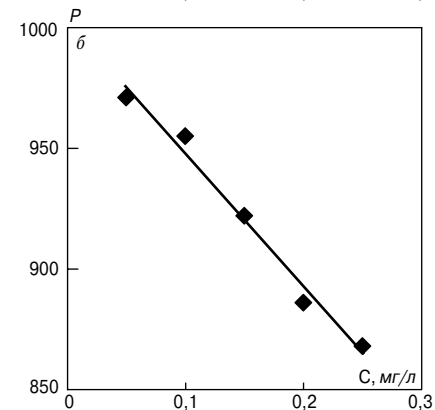
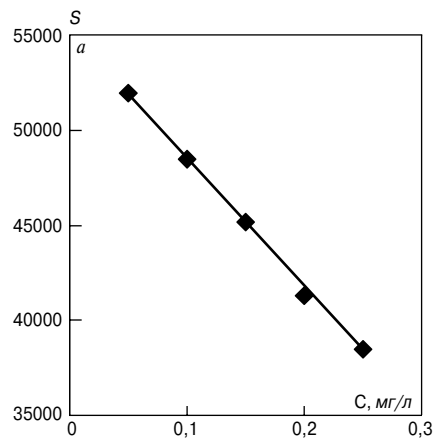


Рис. 3. Градуировочные зависимости: а – площадь ЛД; б – периметр ЛД от концентрации фенола в растворе С=0,05–0,25 мг/л

чета геометрических размеров ЛД [10]. Цветность пятен определяли сразу после проявления хроматографических зон на пластине.

Кроме определения относительной скорости перемещения вещества на пластине ( $R_f$ ) для идентификации хроматографических зон (табл. 1) использовали результаты расчетов геометрических параметров ЛД. В табл. 1 приведены параметры удерживания фенолов на пластинках Sorbfil в подвижной фазе хлороформ – этилацетат – уксусная кислота (50:50:1). Геометрические параметры цветиметрической ЛД для разных фенолов приведены в табл. 2. Геометрические параметры ЛД водных смывов для некоторых отделочных строительных материалов приведены в табл. 3. На рис. 1 представлены цветиметрические ЛД для растворов фенола и гидрохинона в диапазоне концентраций ( $C=0,05-0,25$  г/л). ЛД для каждого аналита образуют индивидуальный профиль, часто называемый визуальным отпечатком, образом, профилеграммой. Фигуру ЛД количественно можно охарактеризовать геометрическими параметрами – площадью ( $S$ ) или периметром ( $P$ ). Для распознавания профилей ЛД в [10] предложено применять коэффициент близости векторных массивов  $\varepsilon$ . Данные для ЛД кодируют шестимерным действительным вектором  $a=(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$ . Сравнение этого эталонного набора данных с другим набором данных, представленным вектором  $b=(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6)$ , осуществляют на основе скалярного произведения  $(a, b)=\sum a_i b_i$ . Если векторы  $a$  и  $b$  совпадают, то  $(a-b, a-b)=0$ . Коэффициент близости векторных массивов равен:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(a-b, a-b)}{(a, a)}}$$

В качестве эталонной фигуры при проявлении растворов фенолов на тонкослойных пластинах приняли ЛД фенола ( $\varepsilon=0$ ). Наибольшая похожесть фигур ЛД проявляется при наименьших значениях коэффициента  $\varepsilon$ . Несмотря на, казалось бы, визуально одинаковые цвета тестовых реакций, интенсивность отдельных компонентов для разных анализов отличается (рис. 1, 2).

Изучение зависимости интенсивности компонентов цветности, а именно  $S$  или  $P$  цветиметрических ЛД продуктов двух цветных реакций, от концентраций фенолов установило, что эти интегральные показатели применимы не только для качественных, но и для количественных определений фенолов по методике, сочетающей разделение аналитов методом ТСХ с цифровыми цветиметрическими измерениями. Эти зависимости носят линейный характер со степенью аппроксимации, приемлемой для количественного анализа (рис. 3). В табл. 4 приведены градуировочные зависимости площади  $S$  и периметра  $P$  ЛД от концентрации для различных фенольных соединений ( $n=5, P=0,95$ ). Достоверность результатов градуировки гибридных методик (ТСХ-цветиметрия) проверяли способом «введено-найдено». Результаты определения фенола с использованием ТСХ метода ( $n=5, P=0,95$ ) приведены в табл. 5. Суммарная ошибка определения не превышала 10%, что соответствует нормативам для типичного тест-контроля.

Анализы водных смывов из шести образцов отделочных материалов (табл. 6) показали наличие в них фенолов, причем в пяти образцах их концентрация не превышает ПДК фенола (ПДК<sub>фенол</sub>=0,001 мг/л) и фенольного индекса (сумма содержаний фенола, кресто-

лов равна 0,25 мг/л). Результаты исследования отделочных строительных материалов с использованием тандема ТСХ—цветометрия ( $n=5$ ,  $P=0,95$ ) приведены в табл. 6. Содержание фенола в потолочной полимерной плитке белой со светло-коричневыми фрагментами оказалось равным ПДК фенола. Исследованные материалы оказались безопасными при их правильной эксплуатации.

Таким образом, усовершенствованная авторами гибридная методика определения фенолов методом ТСХ в сочетании с цифровой цветометрией повышает идентификационную информативность тест-контроля фенольного индекса за счет увеличения количества регистрируемых аналитических сигналов ( $R_f$  и 6 интенсивностей трех компонентов цветности для двухцветных реакций). При этом методика характеризуется простотой приемов, аппаратуры, недорогим оборудованием, имеет удовлетворительные метрологические характеристики.

#### Список литературы

1. Грасси Н. Деструкция и стабилизация полимеров. М.: Мир, 1988. 446 с.
2. Пахаренко В.А., Пахаренко В.В., Яковлева Р.А. Пластмассы в строительстве. СПб: Научные основы и технологии, 2010. 350 с.
3. Хорохордина Е.А., Фан Винь Тхинь, Рудаков О.Б., Подолова Е.А. Контроль свободных фенолов в строительных полимерах // *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2008. № 1. С. 47–54.
4. Аверко-Антонович И.Ю., Бикмуллин Р.Т. Методы исследования структуры и свойств полимеров. Казань: КГТУ, 2002. 604 с.
5. Вернигорова В.Н., Макридин Н.И., Соколова Ю.А. *Современные химические методы исследования строительных материалов*. М.: Химия, 2003. 224 с.
6. Рудаков О.Б., Востров И.А., Федоров С.В. и др. *Спутник хроматографиста. Методы жидкостной хроматографии*. Воронеж: Водoley, 2004. 528 с.
7. Ларионов О.Г. *Руководство по современной тонкослойной хроматографии*. М.: Химия, 1994. 311 с.
8. Байдичева О.В., Бочарникова И.В., Рудаков О.Б., Хрипушин В.В. Применение сканерметрии в контроле качества отделочных материалов // *Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы строительного материаловедения*. 2008. Вып. 1. С. 100–105.
9. Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Грошев Е.Н. и др. Цифровой цветометрический контроль качества строительных материалов // *Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы строительного материаловедения и высокие технологии*. 2013. № 7. С. 104–120.
10. Рудаков О.Б., Рудакова Л.В., Кудухова И.Г. и др. Усовершенствование способа определения фенолов по цветным реакциям с применением цифровых технологий // *Аналитика и контроль*. 2012. Т. 16. № 4. С. 570–579.

#### References

1. Grassi N. Destrucija i stabilizacija polimerov [Degradation and stabilization of polymers]. Moscow: Mir. 1988. 446 pp. (In Russian)
2. Pakhareno V.A., Pakhareno V.V., Yakovlev R.A. *Plastmassy v stroitel'stve* [Plastics in construction]. Sankt-Peterburg: Nauchnye osnovy i tehnologii. 2010. 350 pp. (In Russian).

3. Khorokhordina E.A., Phan Vinh Thinh, Rudakov O.B., Podolina E.A. Control of free phenols in construction polymers. *Herald VGU. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2008. No. 1. Pp. 47–54. (In Russian).
4. Averkо-Antonovich I.Y., Bikhullin R.T. *Metody issledovaniya struktury i svoystv polimerov* [Methods of research structure structure and properties of polymers]. Kazan: KSTU. 2002. 604 pp. (In Russian)
5. Vernigorova V.N., Makridin N.I., Sokolov Y.A. *Sovremennye himicheskie metody issledovaniya stroitel'nyh materialov* [Modern chemical research methods of building materials]. Moscow: Himija. 2003. 224 pp.
6. Rudakov O.B., Vostrov I.A., Fedorov S.V., etc. *Sputnik hromatografista. Metody zhidkostnoj hromatografii* [Satellite chromatografista. Liquid chromatography techniques]. Voronezh: Vodolej. 2004. 528 pp.
7. Lariонов O.G. *Rukovodstvo po sovremennoj tonkoslojnoj hromatografii* [Modern Instruction Thin-layer chromatography]. Moscow: Himija. 1994. 311 p.
8. Baidicheva O.V., Bocharnikova I.V., Rudakov O.B., Khripushin V.V. Application skanermetrii quality control of finishing materials. *Scientific Bulletin VGASU. Series: Physical and chemical problems of building materials*. 2008. Vol. 1. Pp. 100–105. (In Russian).
9. Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Grosev E.N., etc. Digital colorimetric quality control of construction materials. *Scientific Herald VGASU. Series: Physical and chemical problems of building materials and high technology*. 2013. No. 7, pp. 104–120. (In Russian).
10. Rudakov O.B., Rudakov L.V., Kudukhov I.G., etc. Improvement of the method for determining phenols color reactions with the use of digital technology. *Analitika i kontrol'*. 2012. Vol. 16. No. 4. Pp. 570–579. (In Russian).

#### Вышла книга

### Защита деревянных конструкций



Автор – А.Д. Ломакин, канд. техн. наук, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2013, 424 с.

В книге приведены результаты исследований, проведенных автором и разработанные им рекомендации по конструкционной и химической защите деревянных конструкций. Большое внимание уделено защите несущих ДКК и конструкций из ЛВЛ от эксплуатационных воздействий и возгорания.

Приведены известные и разработанные автором методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натуральных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Описаны результаты мониторинга влажностного состояния несущих КДК в таких крупных объектах, как ЦВЗ «Манеж», крытый конькобежный центр в Крылатском в Москве и др., при проведении которого использована разработанная автором методика оценки влажности древесины с использованием модельных образцов.

Книга рассчитана на специалистов и научных работников, работающих в области защиты деревянных конструкций, технологов предприятий по производству КДК и заводов деревянного домостроения, сотрудников проектных организаций и преподавателей вузов. Она может быть полезна также и для организаций, занимающихся строительством зданий и сооружений с применением деревянных конструкций.

Цена 1000 р. без почтовых расходов.

Заявки для приобретения направлять по тел./факсу: (499) 976-20-36, 976-22-08  
E-mail: mail@rifsm.ru

**СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО**  
**СКБ СТРОЙПРИБОР**  
**ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**



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

Реклама

**ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА**

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

автоматическая обработка измерений



диапазон 3...100 МПа

**УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С**  
ультразвуковой

поверхностное и сквозное прозвучивание



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

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

отрыв со скалыванием и скалывание ребра



предельное усилие 60 кН  
диапазон 5...100 МПа

**ПОС-2МГ4 П**

испытание прочности ячеистых бетонов



предельное усилие вырыва 2,5 кН

**ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКИЕ**

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

определение динамического модуля упругости грунтов и оснований дорог методом штампа,

диапазон: 5...370 МН/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



**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.

УДК 666.941.3

А.В. НОСОВ, инженер, Т.Н. ЧЕРНЫХ, канд. техн. наук, Л.Я. КРАМАР, д-р техн. наук

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

## Эффективность различных добавок-интенсификаторов при обжиге доломитов

В работе представлены результаты исследований влияния различных добавок-интенсификаторов на разложение доломита. Методами дифференциально-термического и рентгенофазового анализа изучены особенности влияния различных добавок-интенсификаторов на обжиг доломита. Установлено, что наиболее эффективными интенсификаторами обжига являются добавки, способные образовывать расплав до декарбонизации  $MgCO_3$  и сохраняющие жидкую фазу до полного окончания этого процесса. На основании проведенных исследований и обобщения известных данных предложена классификация добавок-интенсификаторов для обжига доломита по механизму их действия. К первой группе отнесены добавки, образующие расплав и не вступающие в ионно-обменные реакции с доломитом, ко второй – образующие промежуточные соединения с составляющими доломита, дающие легкоплавкие эвтектики и более приемлемые в производстве портландцемента, к третьей – добавки, способные вступать в ионно-обменные реакции, дестабилизируя кристаллическую решетку породы без образования жидкой фазы, но эти добавки менее эффективны по сравнению с первой группой.

**Ключевые слова:** доломит, доломитовое вяжущее, обжиг, добавки-интенсификаторы обжига.

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

### Efficiency of Various Additives-Intensifiers in the Process of Dolomites Burning

The article presents the results of the study of influence of various additives-intensifiers on the dolomite decomposition. Features of influence of various additives-intensifiers on the dolomite burning are studied with the use of the methods of differential-thermal and X-ray phase analyzes. It is established that the most efficient intensifiers of burning are additives which are able to form the melt before  $MgCO_3$  decarbonization and preserve the liquid phase till the completion of this process. On the basis of studies conducted and integrating the reported data the classification of additives-intensifiers for dolomite burning according to the mechanisms of their action are proposed. The first group of intensifiers are additives which form the melts and don't enter into ion-exchange reactions with dolomite; the second group are additives which form the intermediate connections with dolomite components, produce low-melt eutectics, and are more acceptable for Portland cement production; the third one are additives which are able to enter into the ion-exchange reactions destabilizing the crystal-line lattice of the rock without forming the liquid phase, but these additives are less efficient comparing with the first group.

**Keywords:** dolomite, dolomite binder, burning, additives-intensifiers of burning.

В связи с развитием строительной индустрии во всем мире повышается интерес к магнезиальным материалам. Перспективным является получение магнезиального вяжущего из доломитов – наиболее распространенного магнезиального сырья в России, европейских странах и в Азии. Известно, что для получения качественного вяжущего из доломитов, не уступающего по эксплуатационным характеристикам вяжущим из высокомагнезиального сырья, обжиг необходимо вести так, чтобы при максимальной декарбонизации  $MgCO_3$  исключить разложение  $CaCO_3$  [1]. Анализ особенностей разложения доломитов различных месторождений, отличающихся закристаллизованностью, показал, что для крупнокристаллических доломитов характерно значительное наложение температурных интервалов декарбонизации магнезиевой и кальциевой составляющих породы [2, 3]. Это приводит к необходимости точного выдерживания температуры, времени обжига и постоянного регулирования режима в связи с изменениями химико-минералогического состава породы даже в пределах одного месторождения, что затруднительно в промышленных масштабах и приводит к получению вяжущего, непригодного для строительных целей.

Существует эффективный способ разделения процессов разложения  $MgCO_3$  и  $CaCO_3$  в доломите и создания температурного интервала между ними – это введение добавок-интенсификаторов обжига, позволяющих снизить температуру разложения  $MgCO_3$ , не оказывая особого влияния на вторую составляющую породы –  $CaCO_3$  [4]. Однако современными исследованиями не установлены закономерности выбора добавок-интенсификаторов для доломитового сырья, позволяющих при снижении энергозатрат производить доломи-

товое вяжущее. В отличие от производства магнезиальных вяжущих в цементной промышленности теоретическому обоснованию практического применения добавок-интенсификаторов посвящены многочисленные исследования, но до сих пор многие объяснения воздействия таких добавок на процессы обжига клинкера носят дискуссионный характер [5].

Согласно данным И.Ф. Пономарева, А.Н. Грачьяна и А.П. Зубёхина, действие интенсификаторов определяется сочетанием анионов и катионов добавок [6]. Эффективность воздействия таких добавок на процессы разложения и кристаллизации минералов при производстве клинкера возрастает с увеличением электроотрицательности катионов в ряду  $K^+ \rightarrow Na^+ \rightarrow Li^+ \rightarrow Mg^{2+} \rightarrow Be^{2+}$  и с уменьшением электроотрицательности анионов в ряду  $SiF_6^{2-} \rightarrow F^- \rightarrow SO_4^{2-} \rightarrow Cl^-$ . Различное воздействие анионов и катионов добавок-интенсификаторов на процессы декарбонизации и формирование клинкерных минералов описано в работах [7, 8]. С энергетической точки зрения А.И. Августиник связывает действие минерализаторов с течением процессов поверхностной и объемной диффузии ионов в период твердофазных реакций в температурных интервалах до начала плавления, в расплаве и в период кристаллизации клинкерных минералов [9, 10]. П.П. Будников и А.М. Гинстлинг также отмечали влияние минерализаторов на скорость появления жидкой фазы в реакционной смеси и их существенное воздействие на процессы спекания кристаллических тел [11]. Г.В. Куколевым был подтвержден эффект влияния минерализаторов на состав и появление жидкой фазы. Он связывает роль минерализаторов с образованием твердых растворов внедрения и вычитания, что, по его мнению, мо-

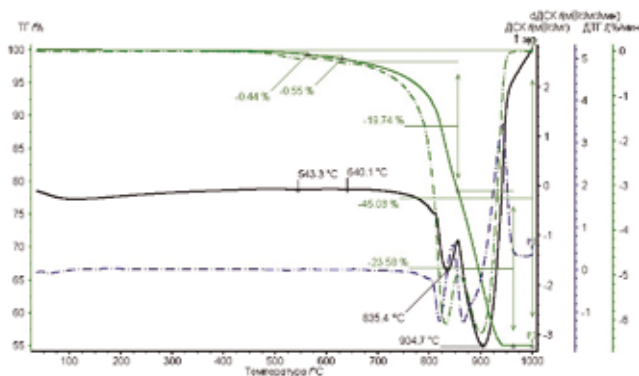


Рис. 1. ДТА доломитовой породы без добавок

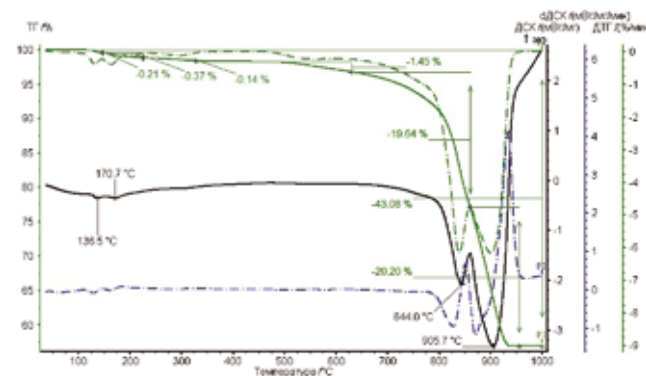


Рис. 3. ДТА доломитовой породы с добавкой  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

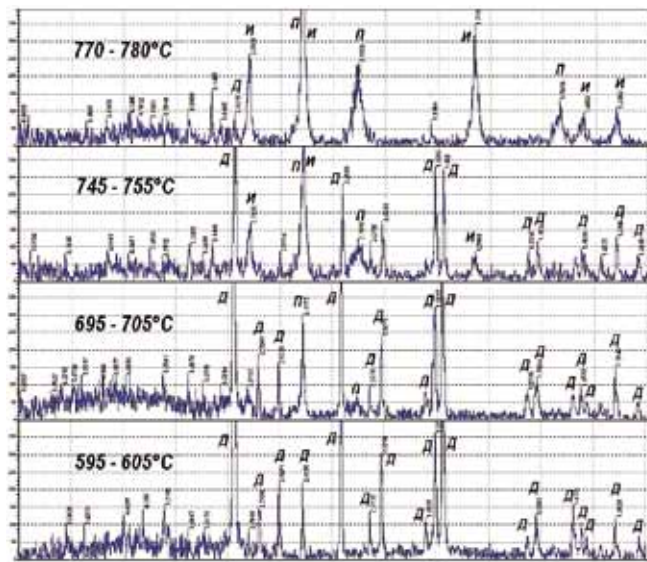


Рис. 2. РФА доломитовой породы без добавок: Д – отражения, соответствующие доломиту; П – периклазу; К – кальциту; И – извести

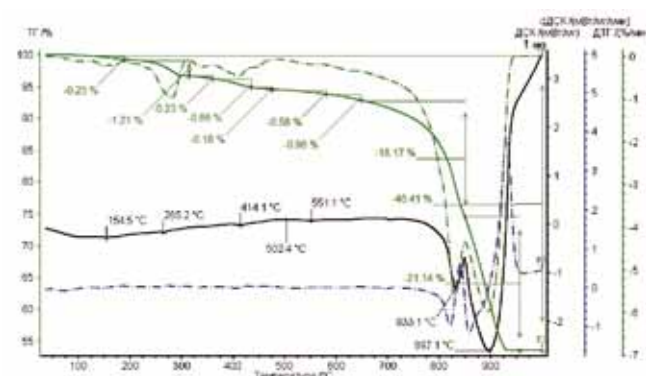


Рис. 4. ДТА доломитовой породы с добавкой  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$

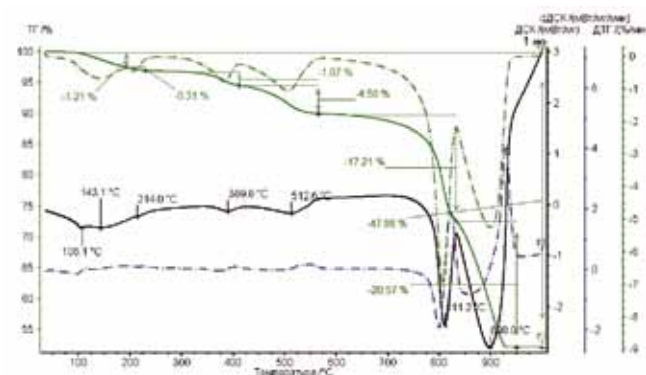


Рис. 5. ДТА доломитовой породы с добавкой  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

жет приводить к разрушению кристаллических решеток. При этом интенсивность изменения кристаллической решетки в существенной степени определяется соотношением радиусов и величин зарядов ионов реакционной смеси и минерализаторов [12].

Обширные исследования влияния солей на диссоциацию доломита были проведены А.Я. Вайвадом [13]. С помощью термического анализа он изучал влияние  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{LiF}$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{Be}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{BeCO}_3$ ,  $\text{ZnCO}_3$  и  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . В результате автор пришел к выводу, что на снижение температуры первой ступени диссоциации доломита влияют главным образом анионы солей и в гораздо меньшей степени катионы. По своей активности А.Я. Вайвад расположил исследованные анионы в следующем порядке:  $\text{NO}_3^- > \text{F}^- = \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ . Однако механизм их действия не выявлен. Также из общей картины выбиваются совершенно неэффективные в качестве интенсификаторов  $\text{Be}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{BeCO}_3$ .

Таким образом, можно отметить, что оценка эффективности добавок-интенсификаторов обжига весьма сложна. При проведении оценки нужно обращать внимание на кристаллохимические свойства добавки, в частности на радиус и электроотрицательность катиона, на ее способность диссоциировать на ионы при нагревании, образовывать жидкую фазу при обжиге и на температуру ее появления, но при этом выявить наиболее значимые факторы сложно.

Целью настоящей работы стало исследование влияния различных добавок-интенсификаторов на разложение доломита и установление факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность добавок.

Для достижения этой цели необходимо:

- выявить особенности воздействия различных добавок-интенсификаторов на разложение доломитов;
- установить наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на протекающие процессы;
- определить наиболее эффективные добавки-интенсификаторы для снижения температуры разложения магниевой составляющей породы без воздействия на кальциевую.

Работа проводилась при поддержке ООО «Группа «Магнезит»». Для проведения исследований использовали доломитовую породу Саткинского месторождения из отвалов. Минералогический состав породы приведен в табл. 1.



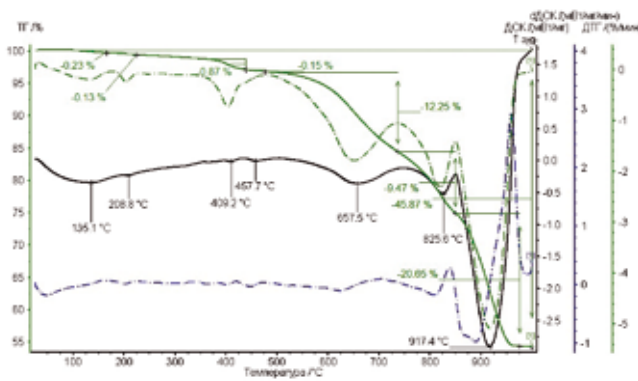


Рис. 6. ДТА доломитовой породы с добавкой  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$

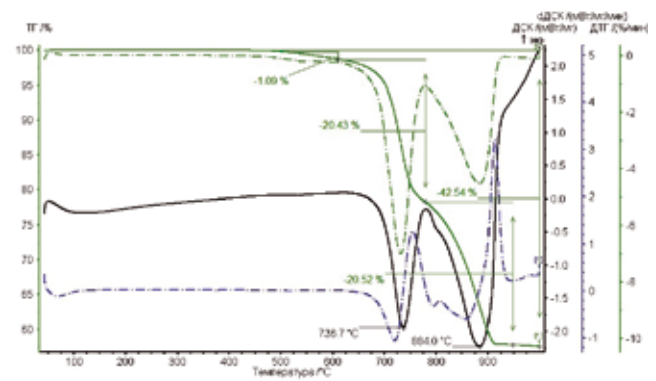


Рис. 7. ДТА доломитовой породы с добавкой NaCl

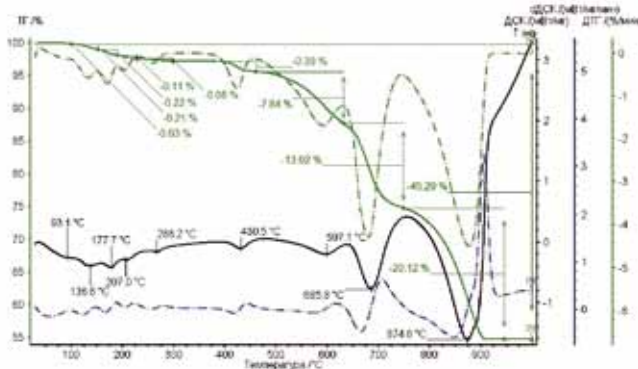


Рис. 8. ДТА доломитовой породы с добавкой  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$

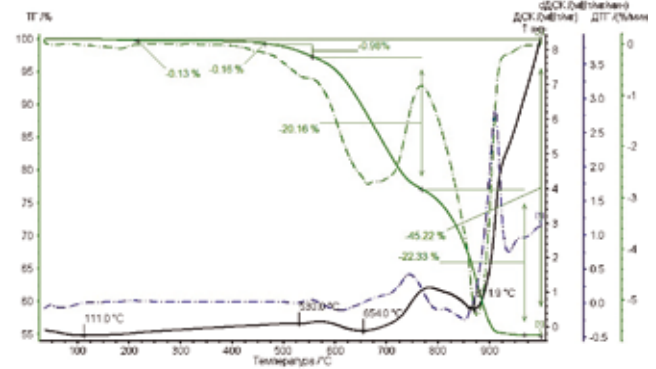


Рис. 9. ДТА доломитовой породы с добавкой  $NaHCO_3$

Для выявления особенностей действия добавок-интенсификаторов на разложение доломита проведен анализ процессов разложения породы без добавок и в присутствии различных добавок-интенсификаторов. В качестве добавок-интенсификаторов обжига использовали ацетаты цинка и меди, сульфат железа семиводный, нитрат магния шестиводный, хлорид натрия, гидрокарбонат натрия, хлористый магний шестиводный (бишофит), а также карналлит технический ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ).

Интенсифицирующее действие добавок исследовали с помощью ДТА на дериватографе системы Luxx STA 409 фирмы Netzsch. Доломитовую породу предварительно измельчали в лабораторной мельнице до остатка на сите № 008 не более 15%. Полученный порошок смешивали с водными растворами добавок-интенсификаторов в количестве 2% сухой добавки от массы доломита, влажность шихты составляла 15%. Количество добавки было выбрано исходя из литературных данных и предварительно проведенных исследований. Полученную смесь высушивали при температуре  $60 \pm 5^\circ C$  и помещали в печь дериватографа.

Дополнительно с помощью РФА изучали изменения фазового состава доломитовой породы, происходящие при обжиге. РФА проводили на дифрактометре ДРОН-3М, модернизированном приставкой PDWin. Съемку РФА вели одновременно с нагревом материала до  $900^\circ C$ , скорость нагрева составляла 10 град/мин.

С помощью ДТА (рис. 1) установлено, что декарбонизация магниевой составляющей происходит при  $680-850^\circ C$ , а кальциевой – при  $850-950^\circ C$ . Четкой границы между концом разложения карбоната магния и

началом диссоциации карбоната кальция на дериватограмме нет, и в определенный момент процессы диссоциации обеих составляющих доломита идут одновременно. Некоторые потери массы при  $543$  и  $640^\circ C$  связаны с разложением примесей, содержащихся в доломитовой породе.

Из рентгенограмм (рис. 2) видно, что при температуре  $700^\circ C$  наблюдается уменьшение высоты основных доломитовых отражений и появление небольших пиков, соответствующих началу образования периклаза ( $MgO$ ). В то же время отражений кальцита на рентгенограммах нет, следовательно, кальциевая составляющая доломита находится в полуморфном состоянии. Это подтверждает и гало в области малых углов при температуре  $700^\circ C$ . Дальнейшее увеличение температуры обжига до  $750^\circ C$  приводит к появлению отражений, соответствующих  $CaO$ , и гало пропадает. Следовательно, разложение полуморфной кальциевой составляющей начинается в области  $700-750^\circ C$ . При дальнейшем нагреве до  $800^\circ C$  на рентгенограммах полностью пропадают отражения доломита и наблюдаются характерные пики оксидов магния и кальция. Из представленных результатов следует, что для получения доломитового вяжущего без примеси  $CaO$  необходимо разделение процессов разложения магниевой и кальциевой составляющих породы. Для этого были проведены исследования влияния выбранных добавок на особенности разложения доломита.

В результате установлено (рис. 3–6), что добавки семиводного сульфата железа, ацетата меди и шестиводного нитрата магния практически не повлияли на характер разложения доломитовой породы.

Таблица 1

Минерал	$CaMg(CO_3)_2$	$MgCO_3$	$SiO_2$	$Al_2O_3$	Остальное
Содержание, %	85,1–93,2	1,5–5,1	2–3,1	0,3–0,8	3–6

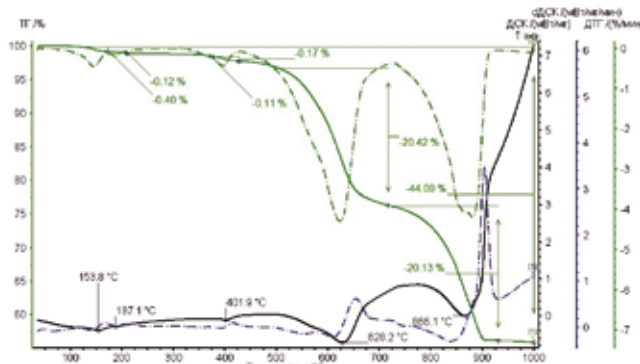


Рис. 10. ДТА доломитовой породы с добавкой KCl·MgCl₂·6H₂O

Так, железный купорос (рис. 3) при нагревании до температуры 340°C обезвоживается, а при 480°C полностью разлагается на SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Оставшийся Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> плавится при 1565°C и не оказывает влияния на декарбонизацию составляющих доломита. Ацетат меди (рис. 4) плавится при температуре 115°C с постепенным разложением и образованием в три этапа меди, уксусной кислоты, графита и углекислого газа. Эти процессы заканчиваются уже при температуре 380°C, т. е. до начала разложения магnezийной составляющей доломита, не оказывая влияния на температуру ее разложения.

Процесс возгонки шестиводного нитрата магния (рис. 5) на MgO и оксиды азота начинается при температуре 340°C до начала разложения доломитовой породы и не влияет на декарбонизацию основных минералов доломита.

Ацетат цинка (рис. 6) при нагревании полностью обезвоживается до температуры 230°C, далее при 277°C происходит плавление добавки, а при 300–400°C разлагается до оксоацетата цинка. В присутствии этой добавки наблюдается раздвоение основного эндоэффекта разложения MgCO<sub>3</sub>. Образование расплава позволило снизить температуру декарбонизации, однако разложение добавки закончилось до полной диссоциации магниевой составляющей, что привело к разделению этого процесса на два этапа. В результате декарбонизация оставшейся части MgCO<sub>3</sub> протекает совместно с CaCO<sub>3</sub>.

Наиболее эффективными интенсификаторами оказались хлорид натрия, гидрокарбонат натрия, хлористый магний шестиводный и карналит (рис. 7–10).

Рассмотрим особенности воздействия каждой добавки на разложение доломитовой породы. Хлорид натрия (рис. 7) плавится в интервале температуры 780–850°C с максимумом эндоэффекта при 833°C. Однако в смеси с доломитом температура плавления этой добавки снижается, вероятно, вследствие дестабилизации кристаллической решетки NaCl при декарбонизации MgCO<sub>3</sub>. В свою очередь, появление жидкой фазы приводит к снижению температуры диссоциации самого MgCO<sub>3</sub> на 98°C. Таким образом, появление расплава после начала декарбонизации позволяет снизить температуру первого эндоэффекта, но не столь эффективно, как если бы плавление интенсификатора началось до декарбонизации MgCO<sub>3</sub>.

Бишофит (рис. 8) теряет гидратную воду ступенчато до 320°C, а в интервале температуры 420–480°C происходит частичная диссоциация безводного бишофита с образованием активных ионов Mg<sup>2+</sup> и Cl<sup>-</sup> и небольшая потеря массы. Далее при 713°C происходит плавление

Таблица 2

Добавка	T <sub>плав</sub> , °C	T <sub>разл</sub> , °C	Катион		Анион	Изменение температуры максимума основного эндоэффекта MgCO <sub>3</sub> относительно бездобавочной породы, °C
			ИР, Å	ЭО	ЭО	
ZnCO <sub>3</sub>	1975	300	1,07	1,6	3,7	+15
BeCO <sub>3</sub>	2585	100	0,69	1,5	3,7	+9
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	1565	480	0,78	1,6	4	+9
без добавок	–	–	1,02 (Mg <sup>2+</sup> )*	1,25 (Mg <sup>2+</sup> )*	–	0
Cu(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	115	150	1,1	2		-1,9
Zn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	277	300	1,07	1,6		-9,4 (-177,5)**
Be(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2585	100	0,69	1,5	3,8	-14
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	2825	340	1,02	1,25	3,8	-23,8
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1069	–	1,45	0,8	4	-35
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	884	–	1,18	0,9	4	-45
NaCl	800	–	1,18	0,9	3	-98,3
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	618	735	0,92	0,95	3,7	-131
KCl	776	–	1,45	0,8	3	-146
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	852	–	1,18	0,9	3,7	-147
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	713	–	1,02	1,25	3	-149,2 (-237,9)**
NaF	996	–	1,18	0,9	3,8	-157 (-199)**
NaHCO <sub>3</sub>	852	–	1,18 (Na <sup>+</sup> )*	0,9 (Na <sup>+</sup> )*	3,7	-163,1
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	891	–	1,45	0,8	3,7	-175
NH <sub>4</sub> Cl	–	337	0,32 (H <sup>+</sup> )*	2,1 (H <sup>+</sup> )*	3	-201
LiF	848	–	0,92	0,95	3,8	-215 (-85)**
KCl·MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	485	–			3	-206,8
KNO <sub>3</sub>	334	400	1,45	0,8	3,8	-240 (-90)**
NaNO <sub>3</sub>	308	380	1,18	0,9	3,8	-270 (-20)**

\* для указанного элемента.

\*\* в скобках указана разность температуры для второго максимума (меньшего) при двухстадийной диссоциации MgCO<sub>3</sub>.



Рис. 11. Классификация добавок-интенсификаторов для обжига доломита

недиссоциированного  $MgCl_2$ . В смеси с доломитом плавление  $MgCl_2$  начинается раньше. Введение бишофита приводит к смещению основных эндоэффектов доломита на  $150^\circ C$  для  $MgCO_3$  и на  $30^\circ C$  для  $CaCO_3$ . Образование в смеси активных ионов  $Mg^{2+}$  и  $Cl^-$  приводит к некоторой дестабилизации менее устойчивой части  $MgCO_3$  (эндоэффект  $480-600^\circ C$ ). Но процесс полного разложения карбоната магния происходит после активного плавления недиссоциированного  $MgCl_2$ , что приводит к ускорению декарбонизации оставшегося  $MgCO_3$  (эндоэффект  $620-720^\circ C$ ), и в результате его разложение происходит в две ступени. Таким образом, появление расплава позже начала разложения  $MgCO_3$  нерационально, так как эффективное действие добавки связано с появлением жидкой фазы.

Гидрокарбонат натрия (рис. 9) при температуре до  $200^\circ C$  разлагается до  $Na_2CO_3$ , который плавится при  $852^\circ C$ , однако в отличие от  $NaCl$  и  $MgCl_2$  гидрокарбонат натрия может вступать в ионно-обменные реакции с образованием двойных карбонатов вида  $R_2Mg(CO_3)_2$  и  $R_2Ca(CO_3)_2$  с более низкими температурами разложения. Это приводит к дестабилизации кристаллической решетки доломита и значительно снижает температуру декарбонизации  $MgCO_3$ . Решетка образуемого в результате обжига карбоната кальция также деформируется, что подтверждается широкими пиками новообразований на РФА, свидетельствующими об их слабой степени закристаллизованности. Поскольку при производстве доломитового вяжущего важно исключить воздействие на кальцевую составляющую; применение таких добавок может привести к снижению качества получаемого вяжущего.

Наиболее эффективной из исследованных добавок является карналлит (рис. 10). Плавление  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$  происходит уже при  $485^\circ C$ , т. е. до начала декарбонизации  $MgCO_3$ , а его разложение начинается при температуре свыше  $770^\circ C$ . Низкая температура образования жидкой фазы и длительное время ее существования позволяют снизить максимум декарбонизации  $MgCO_3$  более чем на  $200^\circ C$ , т. е. данная добавка является наиболее эффективной из исследованных.

С целью выявления закономерностей влияния различных добавок-интенсификаторов на разложение доломита в табл. 2 объединены основные характеристики добавок (температура плавления и разложения, ионный радиус катионов (ИР), электроотрицательность (ЭО) катионов и анионов) и данные по их эффективности при снижении температуры разложения магниевой со-

ставляющей породы относительно бездобавочной. В табл. 2 приведены сведения о добавках и их действии на доломитовую породу, полученные А. Я. Вайвадом и авторами настоящей статьи.

Из приведенных результатов следует, что при оценке эффективности добавки-интенсификатора недостаточно руководствоваться выбором определенного аниона или катиона. Необходимо в первую очередь учитывать механизм воздействия добавки. В соответствии с имеющимися данными и полученными результатами все рассмотренные добавки можно разделить на три группы.

*Первая группа* — добавки, не вступающие в ионно-обменные реакции с составляющими породы, интенсифицирующие

разложение доломита через расплав. К наиболее эффективным интенсификаторам первой группы следует отнести добавки, способные образовывать жидкую фазу до начала декарбонизации  $MgCO_3$ , и при этом не разлагающиеся до его полной диссоциации.

В пользу увеличения эффективности добавок с понижением температуры образования жидкой фазы свидетельствует увеличение эффективности хлоридов с понижением их температуры плавления. Также значительно повышается эффективность смеси хлоридов в карналлите по сравнению с действием каждого хлорида в отдельности, что связано с его низкой температурой плавления ( $485^\circ C$ ).

К первой группе интенсификаторов относится и хлорид аммония ( $NH_4Cl$ ). В табл. 2 не указана его температура плавления, так как при  $337^\circ C$  происходит разложение на  $NH_3$  и  $HCl$ . В результате образующийся хлорид водорода и является жидкой фазой.

Эффективность  $KNO_3$  и  $NaNO_3$  также обусловлена в первую очередь низкими температурами образования расплава, но после их разложения процесс декарбонизации  $MgCO_3$  протекает гораздо медленнее, о чем свидетельствует раздвоение соответствующего эндотермического эффекта. Влияние на декарбонизацию  $MgCO_3$  других нитратов ( $Be(NO_3)_2$  и  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) незначительно, так как при нагревании они возгоняются без образования расплава.

Ко *второй группе* относятся добавки, также образующие жидкую фазу, но в отличие от первой группы — через промежуточные соединения с составляющими породы. Фтористые соли в процессе нагревания взаимодействуют с карбонатами и образуют промежуточные соединения типа  $Na_2Ca(CO_3)_2$  и  $3CaO \cdot NaF$ , дающие с добавками легкоплавкие эвтектики, что снижает температуру разложения доломита [9]. Их эффективность зависит от температуры плавления новообразований. Также фториды в присутствии кварца могут значительно повлиять на  $CaCO_3$  в связи с образованием силикатов кальция. Эта группа добавок не рекомендуется при производстве вяжущего из доломитов, так как оказывает значительное воздействие на кальцевую составляющую.

*Третью группу* составляют добавки, способные дестабилизировать кристаллическую решетку породы через твердофазные реакции. Карбонаты способны вступать в ионно-обменные реакции с доломитом, образуя двойные карбонаты  $R_2Mg(CO_3)_2$  и  $R_2Ca(CO_3)_2$ , что с повышением температуры приводит к дестабилизации кристаллической решетки породы. Для карбонатов эф-

фективность увеличивается с уменьшением электроотрицательности катионов в ряду  $ZnCO_3 \rightarrow BeCO_3 \rightarrow Li_2CO_3 \rightarrow Na_2CO_3 \rightarrow K_2CO_3$ . Эти добавки оказывают значительное влияние на кристаллическую решетку кальциевой составляющей, что крайне нежелательно при производстве доломитового вяжущего.

Обобщение данных позволяет предложить следующую классификацию добавок-интенсификаторов для обжига доломита по механизму действия и факторам, определяющим их эффективность (рис. 11).

Таким образом, при производстве вяжущего из доломитов предпочтительно использовать добавки, спо-

собные образовывать жидкую фазу, не вступая в ионно-обменные реакции с составляющими доломита. При этом наиболее значимыми факторами являются температура появления расплава добавки и время существования жидкой фазы, т. е. добавки первой группы с низкой температурой плавления и временем существования расплава до окончания декарбонизации  $MgCO_3$  наиболее эффективно понизят температуру разложения магниевой составляющей доломита при сохранении кальциевой и позволят получить качественное доломитовое вяжущее для строительных целей.

**Список литературы**

1. Шелихов Н.С., Рахимов Р.З., Морозов В.П. Особенности формирования активной фазы MgO в доломитовом цементе // *Строительные материалы*. 2008. № 10. С. 32–33.
2. Falikman W.R., Sorokin Ju.W., Weiner A.Ja., Baschlykow N.F., Bernstein L.G., Smirnov W.A. Magnesium Caustic Dolomite Concrete. *Industrieboden // 5 Internationales Kolloquium. Ostfildern/Stuttgart*. 2003. Pp. 186–191.
3. Galai H., Pijolat M., Nahdi K., Trabelsi-Ayadi M. Mechanism of growth of MgO and  $CaCO_3$  during a dolomite partial decomposition. *Solid State Ionics*. V. 178. 2007. Pp. 1039–1047.
4. Кузьменков М.И., Марчик Е.В., Мельникова Р.Я. Интенсификация процесса декарбонизации доломита солевыми добавками // *Работа в рамках ГКПНИ «Химические реагенты и материалы»*. Минск: БГТУ. 2009. 192 с.
5. Черных Т.Н., Орлов А.А., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Перминов А.В. Снижение температуры получения магниезального вяжущего из бруситов // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 3. С. 29–35.
6. Пономарев И.Ф., Грачмян А.Н., Зубёхин А.П. Влияние минерализаторов на процесс клинкерообразования // *Цемент*. 1964. № 4. С. 3–5.
7. Kolovos K., Loutsi P., Tsivilis S., Kakali G., The effect of foreign ions on the reactivity of the  $CaO-SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$  system: Part I. Anions // *Cement and Concrete Research*. V. 31. I. 3. 2001. Pp. 425–429.
8. Kolovos K., Tsivilis S., Kakali G., The effect of foreign ions on the reactivity of the  $CaO-SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$  system: Part II: Cations // *Cement and Concrete Research*. V. 32. I. 3. 2002. Pp. 463–469.
9. Волконский Б.В., Коновалов П.Ф., Макашев С.Д. Минерализаторы в цементной промышленности. М.: Стройиздат. 1963. 192 с.
10. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. 573 с.
11. Будников П.П., Матвеев М.А., Яновский В.К., Харитонов Ф.Я. Спекание высокочистой окиси магния с добавками // *Неорганические материалы*. 1967. Т. 3. № 5. С. 840–848.
12. Куколев Г.В. Химия кремния и физическая химия силикатов. М.: Высшая школа, 1966. 462 с.
13. Вайвад А.Я., Гофман Б.Э., Карлсон К.П. Доломитовые вяжущие вещества. Рига: Наука, 1958. 240 с.

**References**

1. Shelikhov N.S., Rakhimov R.Z., Morozov V.P. Features of formation active phase MgO in the dolomitic cement. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 10, pp. 32–33. (In Russian).
2. Falikman W.R., Sorokin Ju.W., Weiner A.Ja., Baschlykow N.F., Bernstein L.G., Smirnov W.A. Magnesium Caustic Dolomite Concrete. *Industrieboden. 5 Internationales Kolloquium. Ostfildern/Stuttgart*. 2003, pp. 186–191.
3. Galai H., Pijolat M., Nahdi K., Trabelsi-Ayadi M. Mechanism of growth of MgO and  $CaCO_3$  during a dolomite partial decomposition. *Solid State Ionics*. V. 178. 2007, pp. 1039–1047.
4. Kuz'menkov M.I., Marchik E.V., Mel'nikova R.Ya. Intensification of decarbonization process dolomite salt additives. *Work under GKPNI «Chemical reagents and materials»*. Minsk: BSTU. 2009. 192 p.
5. Chernykh T.N., Orlov A.A., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Perminov A.V. Lowering the temperature of obtaining magnesia astringent of brucite. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2013. No. 3, pp. 29–35. (In Russian).
6. Ponomarev I.F., Grach'yan A.N., Zubekhin A.P. Influence mineralizing on the process of clinker. *Tsement*. 1964. No. 4, pp. 3–5. (In Russian).
7. Kolovos K., Loutsi P., Tsivilis S., Kakali G. The effect of foreign ions on the reactivity of the  $CaO-SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$  system: Part I. Anions. *Cement and Concrete Research*. V. 31. I. 3. 2001, pp. 425–429.
8. Kolovos K., Tsivilis S., Kakali G. The effect of foreign ions on the reactivity of the  $CaO-SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$  system: Part II: Cations. *Cement and Concrete Research*. V. 32. I. 3. 2002, pp. 463–469.
9. Volkonskii B.V., Konovalov P.F., Makashev S.D. Mineralizatory v tsementnoi promyshlennosti [Mineralizers in the cement industry]. Moscow: Stroizdat. 1963. 192 p.
10. Avgustinik A.I. *Keramika* [Ceramics]. Leningrad: Stroizdat. 1975. 573 p.
11. Budnikov P.P., Matveev M.A., Yanovskii V.K., Kharitonov F.Ya. Spekanie vysokochistoi okisi magniya s dobavkami [Sintering of high purity magnesium oxide with additives]. *Neorganicheskie materialy*. 1967. Vol. 3. No. 5, pp. 840–848. (In Russian).
12. Kukolev G.V. *Khimiya kremniya i fizicheskaya khimiya silikatov* [Silicon chemistry and physical chemistry of silicates]. Moscow: Vysshaya shkola. 1966. 462 p.
13. Vaivad A.Ya., Gofman B.E., Karlson K.P. *Dolomitovye vyazhushchie veshchestva* [Dolomite binders]. Riga: Nauka. 1958. 240 p.