

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №7



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

ИЮЛЬ 2017 г. (750)

VIATOR[®]

Das Pellet.

VIATOR 66[®] и VIATOR Premium[®]:

- Стабилизирующие добавки №1 в России и в мире для производства ЩМА;
- Российское производство на немецком оборудовании и по немецким стандартам;
- Основной компонент - экологически безопасные натуральные волокна из целлюлозы;
- Отличная эффективность и стабилизирующий эффект;
- Быстрое и равномерное распределение волокон в смесителе;
- Максимальная производительность АБЗ благодаря отсутствию дополнительного сухого смешивания;
- Высочайшие стандарты качества добавок VIATOR[®] обеспечивают неизменно высокое качество ЩМА.

ООО «Реттенмайер Рус»
115280, Москва,
ул. Ленинская Слобода,
д. 19, стр. 1
Тел.: (495) 276-06-40
info@rettenmaier.ru

ООО РЕТТЕНМАЙЕР РУС

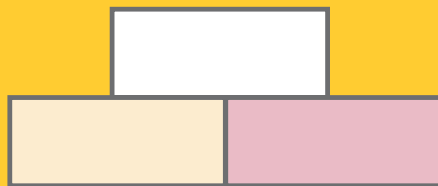


Природные
волокна
Член концерна JRS

Российским дорогам — немецкое качество



СИЛИКАТЭКС



XI Международная конференция «Развитие производства силикатного кирпича»

19–21 сентября 2017 г.

Республика Крым, Алушта
парк-отель Порто Марэ



Программа работы:

19.09 – заезд участников

20.09 – пленарное заседание

21.09 – посещение производства



В программе конференции СИЛИКАТЭкс наряду с актуальными вопросами производства и применения силикатного кирпича будут рассматриваться технологии выпуска стеновых материалов методом ускоренной карбонизации. Запланирована экскурсия на производственную площадку фирмы "КАНОН".

Генеральный спонсор:



Организатор конференции – журнал



Оргкомитет:

Руководитель проекта – Юмашев Алексей Борисович Менеджер проекта – Горегляд Светлана Юрьевна

Телефон/факс: (499) 976-22-08, 976-20-36. М. т.: +7 (916) 123-98-29

silikatex@bk.ru mail@rifsm.ru www.silikatex.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3,
редакция журнала «Строительные материалы»®

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®

№7

Основан в 1955 г.

(750) июль 2017 г.

Главный редактор:

ЮМАШЕВА Е. И.,
 инженер-химик-технолог,
 почетный строитель России

Редакционный совет:

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

ЛЕОНОВИЧ 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)

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)

ШТАКЕЛЬБЕРГ Д. И.,
 д-р техн. наук, профессор (Израиль)

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

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
 журнал «Строительные материалы»®, 2017

Нанотехнологии в строительстве

В.В. ПОТАПОВ, Е.Н. ГРУШЕВСКАЯ, С.Н. ЛЕОНОВИЧ

**Модифицирование гидротермальным нанокремнеземом
материалов на основе цемента** 4

**Международная конференция «Наноматериалы и нанотехнологии
в строительстве: теория, практика, техническое регулирование»
(ICNNS-2017) (информация)** 10

А.С. ИНОЗЕМЦЕВ, Е.В. КОРОЛЕВ

**Сравнительный анализ влияния наномодифицирования
и микродисперсного армирования на процесс и параметры разрушения
высокопрочных легких бетонов** 11

Е.А. ШОШИН

**Силикатный наполнитель, получаемый методом термолиза
модифицированных гидросиликатов цемента** 16

Материалы с ячеистой структурой

Г.С. СЛАВЧЕВА, Е.М. ЧЕРНЫШОВ, М.В. НОВИКОВ

**Теплоэффективные пенобетоны нового поколения
для малоэтажного строительства** 20

С.Н. ЛЕОНОВИЧ, Д.В. СВИРИДОВ, А.Л. БЕЛАНОВИЧ, В.П. САВЕНКО, С.А. КАРПУШЕНКОВ
Сухая смесь для получения жаростойкого пенобетона 25

В.Н. ДЕРКАЧ

**Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков
автоклавного твердения на полиуретановых швах. Часть 2. Прочность
на растяжение при изгибе** 30

Бетоны: наука и практика

Л.И. КАСТОРНЫХ, А.В. РАУТКИН, А.С. РАЕВ

**Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства
самоуплотняющихся бетонов. Часть 1. Реологические характеристики
цементных композиций** 34

Р.Р. БОГДАНОВ, Р.А. ИБРАГИМОВ

**Состав, свойства и микроструктура модифицированного
самоуплотняющегося бетона для гидроизоляции плоских кровель зданий** 39

В.В. БЕЛОВ, П.В. КУЛЯЕВ

**Принципы проектирования мелкозернистых карбонатных бетонов
повышенной трещиностойкости** 44

К 120-летию со дня рождения Моисея Исаевича Хигеровича (Юбиляры отрасли) 48

А.А. ГУВАЛОВ, С.И. АББАСОВА, Т.В. КУЗНЕЦОВА

Эффективность модификаторов в регулировании свойств бетонных смесей 49

Технологии и оборудование

Л.А. ВАЙСБЕРГ, А.Н. КОРОВНИКОВ, Т.М. БАЛДАЕВА

Инновационные грохоты для промышленности строительных материалов 52

А.Д. ШУЛОЯКОВ

О производстве высококачественного кубовидного щебня 56

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

STROYMATERIALY®

№7

Founded in 1955 (750) July 2017

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

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

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

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

KRIVENKO P.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Ukraine)

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)

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

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)

SHTACKELBERG D.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Israel)

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

Nanotechnologies in construction

V.V. POTAPOV, E.N. GRUSHEVSKAYA, S.N. LEONOVICH

Modification of Materials on the Basis of Cement with Hydrothermal Nano-Silica 4

International Conference «Nanomaterials and Nanotechnologies in Construction: Theory, Practice, Technical Regulation» (ICNNC-2017) (Information) 10

A.S. INOZEMTSEV, E.V. KOROLEV

Comparative Analysis of Influence of Nanomodification and Micro-Dispersed Reinforcement on the Process and Parameters of Destruction of High-Strength Lightweight Concrete 11

E.A. SHOSHIN

Silicate Filler Obtained by the Method of Thermolysis of Modified Cement Hydrosilicates 16

Materials with Cellular Structure

G.S. SLAVCHEVA, E.M. CHERNYSHOV, M.V. NOVIKOV

Thermal Efficient Foam Concretes of a New Generation for Low-Rise Construction . . . 20

S.N. LEONOVICH, D.V. SVIRIDOV, A.L. BELANOVICH, V.P. SAVENKO, S.A. KARPUSHENKOV
A Dry Mix for Producing Refractory Foam Concrete 25

V.N. DERKACH

Strength and Deformability of Stone Masonry Made of Cellular Concrete Blocks of Autoclaved Hardening with Polyurethane Joints. Part 2. Bending Tensile Strength. . . 30

Concretes: science and practice

L.I. KASTORNYKH, A.V. RAUTKIN, A.S. RAEV

Effect of Water-Retaining Admixtures on Some Properties of Self-Compacting Concretes. Part 1. Rheological Characteristics of Cement Compositions 34

R.R. BOGDANOV, R.A. IBRAGIMOV

Composition, Properties, and Microstructure of Modified Self-Compacting Concrete for Water Proofing of Flat Roofs of Buildings 39

V.V. BELOV, P.V. KULYaEV

Principles of Design of Fine Carbonate Concretes with Improved Crack-Resistance. . . . 44

To the 120-th Anniversary of the Birth of Moisey Isaevich Khigerovich (Persons of the industry whose jubilees are celebrated) 48

A.A. GUALOV, S.I. ABBASOVA, T.V. KUZNETSOVA

Efficiency of Modifiers When Regulating Properties of Concrete Mixes. 49

Technologies and equipment

L.A. VAYSBERG, A.N. KOROVNIKOV, T.M. BALDAEVA

Innovative Screens for Building Materials Industry 52

A.D. SHULOYAKOV

About Production of High-Quality Cubiform Crushed Stone. 56

Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Highway,
127434, Moscow, Russian Federation
Tel./fax: (499) 976-22-08, 976-20-36
Email: mail@rifsm.ru http://www.rifsm.ru

The authors of published materials are responsible for the accuracy of the submitted information, the accuracy of the data from the cited literature and for using in articles data which are not open to the public. The Editorial Staff can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author. Reprinting and reproduction of articles, promotional and illustrative materials are possible only with the written permission of the editor-in-chief. The Editorial Staff is not responsible for the content of advertisements and announcements.

Строительные материалы № 7

Материалы и конструкции

- А.И. ФОМЕНКО, В.С. ГРЫЗЛОВ, Н.М. ФЕДОРЧУК, А.Г. КАПТЮШИНА
Сухая строительная смесь на основе фосфополугидрата сульфата кальция 60
- Л.И. ХУДЯКОВА, О.В. ВОЙЛОШНИКОВ
Влияние способов активации на свойства композиционных вяжущих материалов..... 64
- М.А. ФРОЛОВА, М.В. МОРОЗОВА, А.М. АЙЗЕНШТАДТ, А.С. ТУТЫГИН
Алюмосиликатное вяжущее на основе сапонитсодержащих отходов алмазодобывающей промышленности 68
- С.Ю. АНДРОНОВ, А.А. АРТЕМЕНКО, А.В. КОЧЕТКОВ, А.А. ЗАДИРАКА
Влияние способа введения базальтовых волокон на физико-механические показатели композиционных асфальтобетонных смесей 71
- Стандарт безопасности КНАУФ – инвестиции в человеческий капитал (Информация)** 74
- А.Я. ЮН
Анализ эффективности двухслойного и однослойного утепления вентилируемых фасадов 77

Stroitel'nye Materialy No. 7

Materials and structures

- A.I. FOMENKO, V.S. GRYZLOV, N.M. FEDORCHUK, A.G. KAPTYUSHINA
Dry Building Mix on the Basis of Phospho-Hemihydrate of Calcium Sulfate..... 60
- L.I. KHUDYAKOVA, O.V. VOILOSHNIKOV
Influence of Activation Methods on Properties of Composite Binding Materials 64
- M.A. FROLOVA, M.V. MOROZOVA, A.M. AIZENSHTADT, A.S. TUTYGIN
An Aluminum-Silicate Binder on the Basis of Saponite-Containing Waste of Diamond Industry 68
- S.Yu. ANDRONOV, A.A. ARTEMENKO, A.V. KOCHETKOV, A.A. ZADIRAK
Influence of Method for Basalt Fibers Introduction on Physical-Mechanical Indicators of Composite Asphalt Concrete Mixes 71
- KNAUF Safety Standard – Investment in Human Capital (Information)**..... 74
- A.Ya. YUN
Analysis of Efficiency of Two-Layer and One-Layer Heat Insulation of Ventilated Facades 77

Уважаемые коллеги!

Подписку на журнал «Строительные материалы»® всегда можно оформить через редакцию. Для этого 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://rifsm.ru/page/5/>

На почте подписку можно оформить:



По объединенному каталогу
«Пресса России»

индекс **70886**



По каталогу агентства
«Роспечать»

индекс **79809**

В.В. ПОТАПОВ¹, д-р техн. наук; Е.Н. ГРУШЕВСКАЯ², инженер (grushevskay_en@tut.by),
С.Н. ЛЕОНОВИЧ², д-р техн. наук, иностранный академик РААСН

¹ Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН (683002, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное ш., 30, а/я 56)

² Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65)

Модифицирование гидротермальным нанокремнеземом материалов на основе цемента

Изучено влияние наночастиц кремнезема, полученных из гидротермальных растворов, сосредоточенных в Мутновском месторождении на Южной Камчатке, на свойства цементно-песчаного раствора и тяжелого бетона. Для более эффективного распределения частиц в объеме жидкости применялась ультразвуковая обработка растворов. Установлено, что нанокремнезем, извлеченный из гидротермального раствора в форме золя и нанопорошка, активно влияет на плотность – повышает ее за счет заполнения микропор цементного камня дополнительными новообразованиями, полученными в результате активного взаимодействия порошка, – скорость набора прочности в ранние сроки твердения, конечную прочность при сжатии материалов на основе цемента в зависимости от массового процента введения нанодобавки. Наиболее выраженный эффект наблюдается при введении данной добавки в паре с суперпластификатором.

Ключевые слова: гидротермальный раствор, наномодификаторы, нанокремнезем, тяжелый бетон, цементные материалы.

Для цитирования: Потапов В.В., Грушевская Е.Н., Леонович С.Н. Модифицирование гидротермальным нанокремнеземом материалов на основе цемента // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 4–9.

V.V. POTAPOV¹, Doctor of Sciences (Engineering); E.N. GRUSHEVSKAYA², Engineer (grushevskay_en@tut.by),
S.N. LEONOVICH², Doctor of Sciences (Engineering), Foreign Member of RAACS

¹ Scientific-Research Geotechnological Center Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
(Postbox 56, 30, North-Eastern Highway, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russian Federation)

² Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Avenu, Minsk, 220013, Belarus)

Modification of Materials on the Basis of Cement with Hydrothermal Nano-Silica

The influence of silica nano-particles obtained from hydrothermal solutions concentrated at the Mutnovskoye deposit of the South Kamchatka on the properties of the cement-sand mortar and heavy concrete has been studied. The ultra-sound treatment of the solution was used for more efficient distribution of particles in the liquid volume. It is established that the nano-silica extracted from the hydrothermal solution in the form of sol and nano-powder actively influences on the density: improves it due to the filling of micro-pores of the cement stone with additional newgrowths obtained as a result of active interaction of the powder; on the rate of strength gain at early stages of hardening; the ultimate strength when compressing materials on the basis of cement, depending on the mass percent of the nano-additive introduction. The most pronounced effect is observed when introducing this additive paired with a superplasticizer.

Keywords: hydrothermal solution, nano-modifiers, nano-silica, heavy concrete, ment materials.

For citation: Potapov V.V., Grushevskaya E.N., Leonovich S.N. Modification of materials on the basis of cement with hydrothermal nano-silica. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 7, pp. 4–9. (In Russian).

Развитие нанотехнологий позволяет решить ряд проблем строительного материаловедения: повышение прочности, долговечности, стойкости к истиранию, коррозионной стойкости, что обуславливает эксплуатационную надежность строительных конструкций. В основном это достигается за счет модификации структуры и свойств существующих материалов или изделий наночастицами, вводимыми в их объем или на поверхностный слой [1–6]. Теоретически и экспериментально установлено, что лучшую активность имеет модифицированная вода из-за изменения ионного состава, который влияет на показатель pH и другие параметры [7]. В связи с тем, что наночастицы имеют большую поверхностную энергию, они способны к агломерации, при этом размер агломератов может достигать нескольких микрон [8–13]. По этой причине актуальной задачей является равномерное распределение и дезагрегация наночастиц в объеме воды затворения.

Согласно ГОСТ ISO/TS 80004-1–2014 нанотехнология – совокупность технологических методов, применяемых для изучения, проектирования и производства материалов, устройств и систем, включая целенаправленный контроль и управление строением, и взаимодействия составляющих их отдельных элементов нанодиапазона.

В связи с достаточно высокой стоимостью нанодобавок их применение ограничено, что подталкивает к новым

The development of nanotechnologies makes it possible to solve a number of problems in building materials science: increasing the strength, durability, abrasion resistance, corrosion resistance, which determines the operational reliability of building structures. This is mainly achieved by modifying the structure and properties of existing materials or products with nanoparticles introduced into their volume or onto the surface layer [1–6]. It has been theoretically and experimentally established that modified water has a better activity due to a change in the ionic composition, which affects pH and other parameters [7]. Due to the fact that nanoparticles have a large surface energy, they are capable of agglomeration, while the size of the agglomerates can reach several micrometers [8–13]. For this reason, the actual problem is the uniform distribution and disaggregation of nanoparticles in the volume of the water of mixing.

According to GOST ISO/TS 80004-1–2014, nanotechnology is a set of technological methods used to study, design and manufacture materials, devices and systems including purposeful control and management of the structure, and the interaction of constituent elements of the nanodiagnostics.

In connection with the increased cost of nanoadditives, their use is limited, which pushes to new approaches to obtaining them. Such raw materials for the production of sols and nanopowders SiO₂ are hydrothermal solutions. One of the places where hydrothermal resources are concentrated is

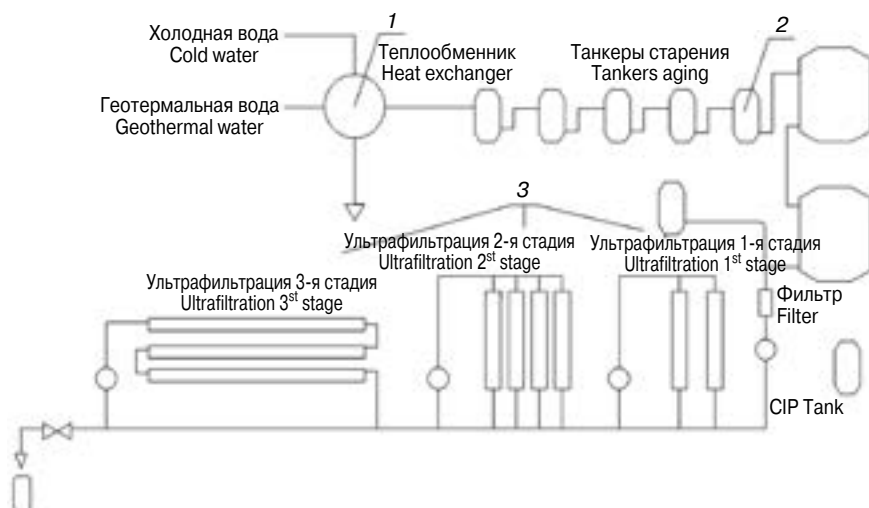


Рис. 1. Схема установки для получения водных золей кремнезема ультрафильтрацией: 1 – охлаждение гидротермального сепарата в теплообменниках; 2 – поликонденсация ортокремниевой кислоты и рост частиц кремнезема при определенных температуре и pH воды; 3 – трехступенчатое ультрафильтрационное концентрирование наночастиц кремнезема в гидротермальной среде (мембранные фильтры)

Fig. 1. Scheme of the plant for obtaining aqueous silica sols by ultrafiltration: 1 – cooling of hydrothermal separates in heat exchangers; 2 – polycondensation of orthosilicic acid and growth of silica particles at a certain temperature and pH of water; 3 – 3-step ultrafiltration concentration of silica nanoparticles in a hydrothermal medium (membrane filters)

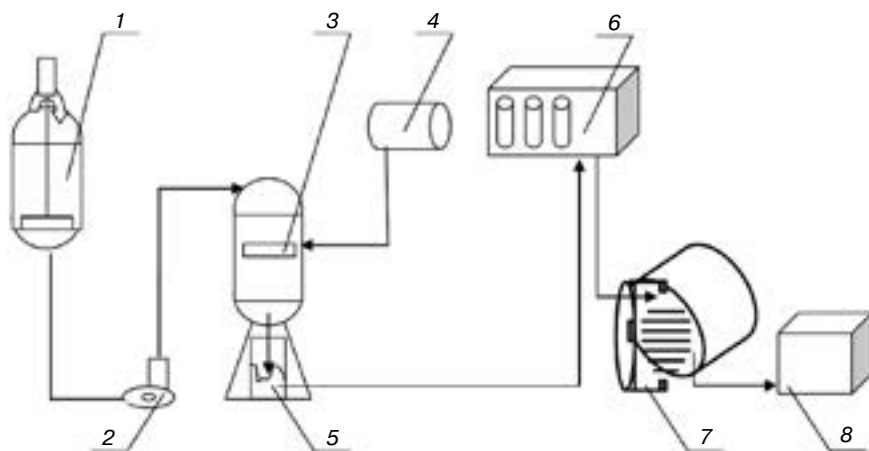


Рис. 2. Схема криохимической установки для получения нанодисперсного кремнезема: 1 – аппарат для подготовки водного золя; 2 – насос-дозатор; 3 – криогранулятор; 4 – танкер с жидким азотом; 5 – емкость для хранения криогранул; 6 – холодильник промышленный; 7 – сублимационный сушильный аппарат; 8 – шкаф для хранения готового продукта

Fig. 2. Scheme of a cryochemical plant for the production of nanodispersed silica: 1 – apparatus for the preparation of water sol; 2 – pump-dispenser; 3 – Cryo-granulator; 4 – tanker with liquid nitrogen; 5 – storage tank for cryogranelles; 6 – industrial refrigerator; 7 – freeze-drying apparatus; 8 – storage cabinet for the finished product

подходам их получения. Так, сырьевым источникам для получения золей и нанопорошков SiO_2 являются гидротермальные растворы. Одним из мест, где сосредоточены огромные количества гидротермальных ресурсов, является Мутновское месторождение на Южной Камчатке.

Получение золя кремнезема происходит в следующей последовательности: из сепараторов геотермальной электрической станции водную среду, содержащую ортокремниевую кислоту (H_4SiO_4) с концентрацией 600–800 мг/дм³, направляют в железобетонный резервуар (охладитель), где при 63°C проводят поликонденсацию H_4SiO_4 с образованием частиц кремнезема (SiO_2). После охладителя сепарат подают в баромембранную ультрафильтрационную установку для концентрирования и получения стабильного водного золя кремнезема. Схема установки для получения водных золей кремнезема ультрафильтрацией представлена на рис. 1.

С помощью криохимического вакуумного сублимирования из золя кремнезема получали нанодисперсный

the Mutnovsky deposit in South Kamchatka. This is a huge base for the reproduction of this material.

The preparation of the silica sol takes place in the following sequence: from the separators of the geothermal power plant, an aqueous medium containing orthosilicic acid (H_4SiO_4) at a concentration of 600–800 мг/дм³ was sent to a reinforced concrete tank (cooler) where H_4SiO_4 was polycondensated at 63°C to form particles Silica (SiO_2). After the cooler, the separator is fed to a baromembrane ultrafiltration unit for concentrating and obtaining a stable aqueous silica sol. The scheme of the plant for obtaining aqueous silica sols by ultrafiltration is shown in fig. 1.

With the aid of cryochemical vacuum subliming, a nanodispersed powder was obtained from the silica sol. The scheme of the cryochemical plant for obtaining nanodispersed silica is shown in fig. 2.

Chemical composition of the powder obtained by cryochemical vacuum sublimation in % by mass: SiO_2 – 99.7; Al_2O_3 – 0.173; CaO – 0.034; Na_2O – 0.034; K_2O – 0.069 [14–16].

When carrying out the research, the following materials were used as the main components: binder – Portland cement (PC) according to GOST 31108–2003 corresponding to the type of CEM I; large aggregate – crushed stone of fraction 5–20 mm according to GOST 8267–93; fine filler – sand according to GOST 8736–2014. Modifying substances: nanosilica powder with specific surface $S_{\text{BET}}=156 \text{ m}^2/\text{g}$ and nanosilica sol, representing opalescent liquid $\rho=1072 \text{ g}/\text{dm}^3$, $\text{pH}=9.1$, with a mass fraction of $\text{SiO}_2=115 \text{ g}/\text{dm}^3$. And also, to improve the characteristics of the mixture, the following chemical additives were used: a superplasticizer solution with a density of 1099 g/dm^3 with a solids content of 219.8 g/dm^3 ; Complex additive “Relamix T2” (TU 5870-002-14153664-04); Additive is a superplasticizer from a series of highly effective water-reducing ability of

polycarboxylates in the form of an aqueous solution – Sika Visco Crete 5 New (SVC 5New) with a density of 1082 g/dm^3 , a dry matter content of 412 мг/г.

The nanosilica powder was introduced into the aqueous phase and uniform distribution of the powder particles in the liquid volume was achieved by ultrasonic treatment. Then it was poured into the cement-sand mixture, preparing the solution. The solution was filled with nests of the standard form – beams (40×40×160 mm), which was placed on a vibrating table and compacted. After disintegration, the samples were stored in baths with water; Compression strength tests were performed at 3, 7 and 28 days of age.

The introduction of a silica nanopowder (NS) in the amount of 0.0075 to 0.18 mass % of cement in a cement-sand mixture changes the structure of the cement stone and leads to a significant increase in the strength of cement samples upon compression to 30–40%. In comparison with control samples without nano additives at the same age (Table 1). At the same time, the introduction of silica nanoparticles also

порошок. Схема криохимической установки для получения нанодispersного кремнезема представлена на рис. 2.

Химический состав порошка, полученного криохимическим вакуумным сублимированием, мас. %: $\text{SiO}_2 - 99,7$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,173$; $\text{CaO} - 0,034$; $\text{Na}_2\text{O} - 0,034$; $\text{K}_2\text{O} - 0,069$ [14–16].

При проведении исследований в качестве основных компонентов применялись следующие материалы: вяжущее – портландцемент (ПЦ), по ГОСТ 31108–2003 соответствующий типу ЦЕМ I; крупный заполнитель – щебень фракции 5–20 мм по ГОСТ 8267–93; мелкий заполнитель – песок по ГОСТ 8736–2014. Модифицирующие вещества: порошок нанокремнезема с удельной поверхностью $S_{\text{ВЕТ}}=156 \text{ м}^2/\text{г}$ и золь нанокремнезема, представляющий собой опалесцирующую жидкость $\rho=1072 \text{ г}/\text{дм}^3$, $\text{pH}=9,1$, с массовой долей $\text{SiO}_2=115 \text{ г}/\text{дм}^3$. А также для улучшения характеристик смеси использовались следующие химические добавки: раствор суперпластификатора СП плотностью $1099 \text{ г}/\text{дм}^3$ с содержанием твердой фазы $219,8 \text{ г}/\text{дм}^3$; комплексная добавка «Реламикс Т2» (ТУ 5870-002-14153664–04); добавка – суперпластификатор из серии высокоэффективных по водоредуцирующей способности поликарбоксилатов в виде водного раствора Sika Visco Crete 5 New (SVC 5New) с плотностью $1082 \text{ г}/\text{дм}^3$, содержанием сухого вещества $412 \text{ мг}/\text{г}$.

Порошок нанокремнезема вводили в водную фазу и добивались однородного распределения частиц порошка в объеме жидкости с помощью ультразвуковой обработки. Затем ее приливали к цементно-песчаной смеси, приготавливая раствор. Раствором заполняли гнезда стандарт-

contributes to an increase in the rate of strength collection by samples with nanoadditives (Fig. 3, 4).

The effectiveness of the sol of nanosilica was evaluated by the strength index of the mortar. The tests were carried out on mixtures with $W/C=0.45$. It was found that for equal W/C and the amount of superplasticizer to be introduced, the cone sediment was lower in solutions into which the

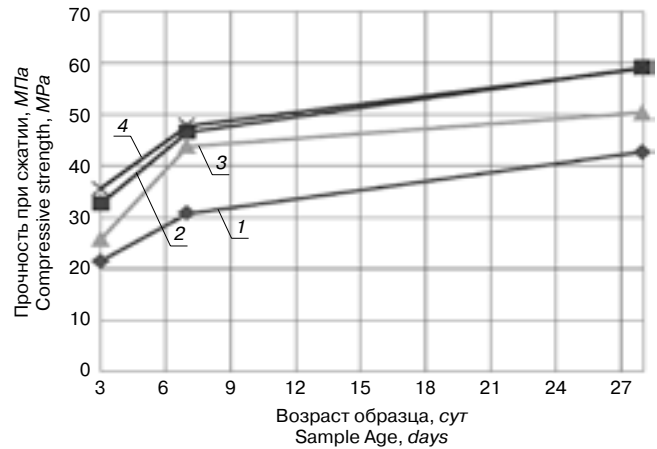


Рис. 3. Прочность при сжатии цементных образцов в зависимости от количества введенного нанодispersного кремнезема, мас. % от цемента: 1 – 0 (контрольный); 2 – 0,0075; 3 – 0,04; 4 – 0,18

Fig. 3. Compressive strength of the cement samples, depending on the amount of nanosized silica, mass % of cement: 1 – 0 (control); 2 – 0,0075; 3 – 0,04; 4 – 0,18

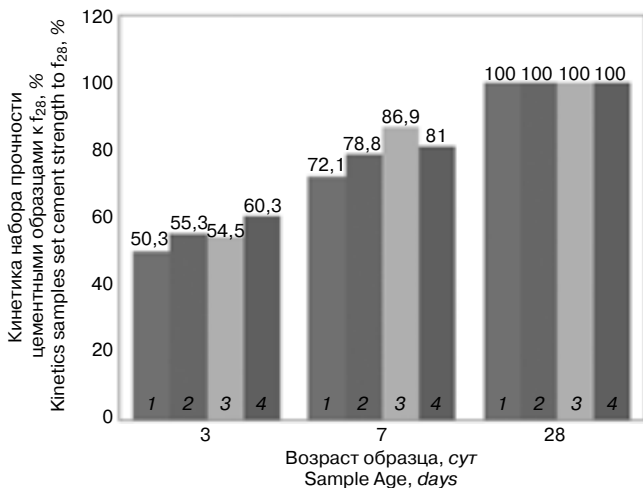


Рис. 4. Кинетика набора прочности цементными образцами по отношению к 28-дневному возрасту, мас. % от цемента: 1 – 0 (контрольный); 2 – 0,0075; 3 – 0,04; 4 – 0,18

Fig. 4. Kinetics of strength testing by cement samples in relation to the 28-day age, mass % of cement: 1 – 0 (control); 2 – 0,0075; 3 – 0,04; 4 – 0,18

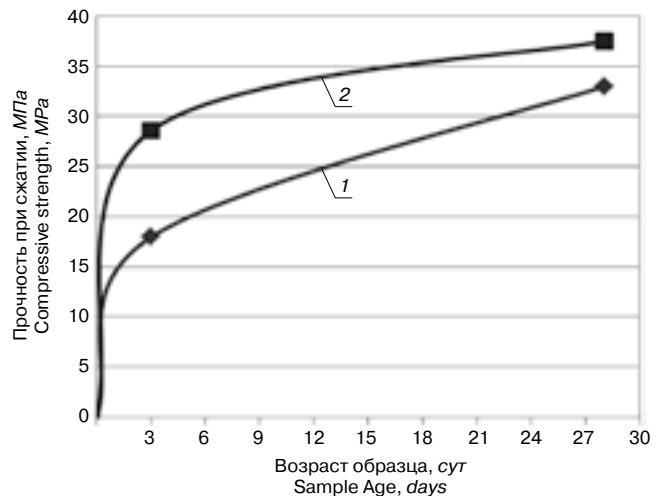


Рис. 5. Кинетика набора прочности при сжатии строительного раствора ($W/C=0,45$): 1 – 1% СП; 2 – 0,5% $\text{SiO}_2+1\%$ СП

Fig. 5. Kinetics of a set of strength at compression of a mortar ($W/C=0,45$): 1 – 1% Superplasticizer; 2 – 0,5% $\text{SiO}_2+1\%$ Superplasticizer

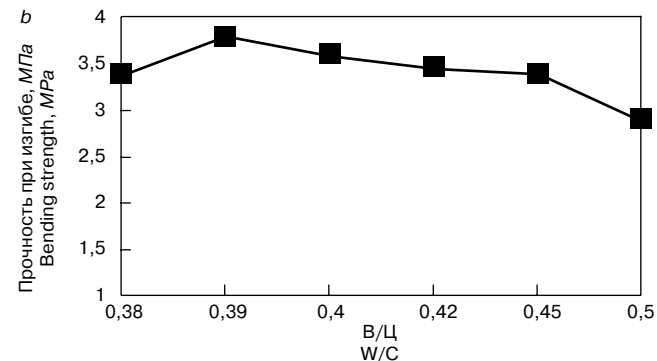
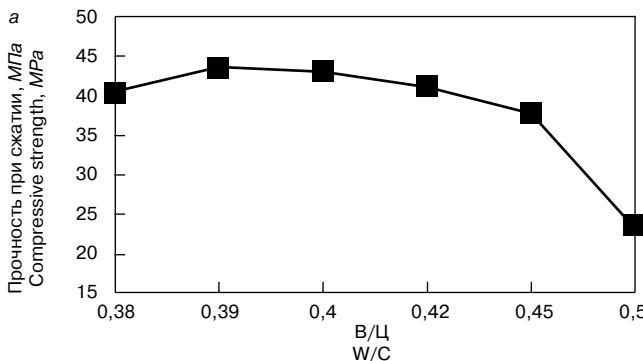


Рис. 6. Прочностные характеристики бетона при различных показателях W/C : а – при сжатии; б – при изгибе

Fig. 6. Strength characteristics of concrete for various indicators of W/C : a – when compressed; b – with bending

ной формы (балочки 40×40×160 мм), которую устанавливали на вибратронном столе и уплотняли. После распалубливания образцы хранили в ваннах с водой; испытания на прочность при сжатии проводили в 3-, 7- и 28-дневном возрасте.

Введение в состав цементно-песчаной смеси нанопорошка кремнезема (НК) в количестве от 0,0075 до 0,18% от массы цемента изменяет структуру цементного камня и приводит к значительному повышению прочности цементных образцов при сжатии до 30–40% по сравнению с контрольными образцами без нанодобавки в том же возрасте (табл. 1). При этом ввод наночастиц кремнезема способствует и увеличению скорости набора прочности образцами с нанодобавками (рис. 3, 4).

Эффективность действия золя нанокремнезема оценивали по прочностным показателям строительных растворов. Испытания проводили на смесях с В/Ц=0,45. Было выявлено, что при равных В/Ц и количестве вводимого суперпластификатора осадка конуса была ниже в растворах, в которые вводили золь SiO₂, т. е. жидкая нанодобавка уменьшала подвижность смеси и тем самым повышала прочность (рис. 5).

Эффективность влияния золя SiO₂ на прочностные характеристики бетона определяли отдельно и совместно с суперпластификатором. Исследования показали, что при введении SiO₂ в количестве 0,01–0,1 мас. % прочность при сжатии возросла на 15–22%. Испытания бетона при введении нанодобавки золя SiO₂ в количестве 0,3% были выполнены в паре с суперпластификатором «Реламикс Т2», который вводился в количестве 1 мас. % при В/Ц от 0,5 до 0,38. Результаты данного исследования показали, что действие нанодобавки SiO₂ на прочностные показатели бетона проявляется сильнее при низких показателях В/Ц (рис. 6).

Таким образом, при снижении В/Ц от 0,5 до 0,39 прочность бетона при сжатии возросла почти на 85%, прочность при изгибе – на 31%. При В/Ц=0,38 замес имел повышенную вязкость, что отразилось на удобоукладываемости смеси, при этом прочность при изгибе снизилась до 17,2%.

Влияние добавки золя на равноподвижных смесях (В/Ц=0,61–0,71) оценивали при испытаниях образцов бетона следующего состава: цемент (ПЦ 550) – 345±5 кг; песок кварц-полевошпатовый – 400 кг; песок стандартный кварцевый – 400 кг; щебень фракции 5–20 мм – 1060 кг. Золя нанокремнезема вводилась в количестве 2% от массы цемента. Равноподвижность смеси обеспечивалась соответствующей дозировкой добавки SVC 5New, которая не превышала 2,6% от массы цемента. Оценку качества получаемого бетона выполняли на образцах-кубах размерами 10×10×10 см.

Объем золя, необходимый для замеса, рассчитывали по формуле 1:

$$V_3 = [C \times SiO_2 / 100] / K_3, \quad (1)$$

где C – расход цемента, г; SiO₂ – концентрация кремнезема, %; K₃ – содержание SiO₂ в золе, г/дм³.

Составы бетонных смесей представлены в табл. 2.

Результаты испытаний бетонов с добавкой золя кремнезема представлены в табл. 3. Анализ полученных

Таблица 1
Table 1

Цемент, г Cement, g	Песок, г Sand, g	Вода, мл Water, ml	НК NS		Прочность при сжатии, МПа, в возрасте Compressive strength, MPa		
			г g	%	3 сут 3 days	7 сут 7 days	28 сут 28 days
500	1500	200	–	–	21,5	30,8	42,7
499,96	1500	200	0,0375	0,0075	32,7	46,6	59,1
499,8	1500	200	0,2	0,04	27,5	43,8	50,4
499,1	1500	200	0,9	0,18	35,6	47,8	59

Таблица 2
Table 2

Серия Series	№ состава № composition	Расход материала на 1 м ³ Consumption per 1 m ³						
		Цемент Cement	Песок кварц-полевошпатовый Sand quartz-feldspar	Песок стандартный кварцевый Sand standard quartz	Вода Water	SiO ₂ , мас. % от Ц SiO ₂ , % of Cement	SVC 5New, %	
							Мас. % от Ц of Cement	Мас. % от SiO ₂ of SiO ₂
1	1	350	400	400	225	–	–	–
	2	343			245,25	2	2,33	1,165
	3	343			220,55	2	2,58	1,29
2	4	350	400	400	217	–	–	–
	5	343			209,23	2	2,23	1,11

SiO₂ sol was injected, that is the liquid nano-additive reduced the mobility of the mixture and thereby increased the strength (Fig. 5).

The effectiveness of the effect of the SiO₂ sol on the strength characteristics of concrete was determined separately and together with a superplasticizer. Studies have shown that when SiO₂ is introduced in an amount of 0.01 to 0.1 wt. % for cement, compression strength increased by 15–22%. Concrete tests with the addition of a 0.3% NaO addition of SiO₂ sol were performed in combination with the superplasticizer “Relamix T2”, which was introduced in an amount of 1 mass % by cement at W/C from 0.5 to 0.38. The results of this study showed that the effect of the SiO₂ nano-additive on the strength characteristics of concrete is more pronounced at low W/C values (Fig. 6).

Hus, with a decrease in W/C from 0.5 to 0.39, the strength of concrete under compression increased by almost 85%, bending strength by 31%. At W/C=0.38, the batch had an increased viscosity, which affected the workability of the mixture, while the bending strength decreased to 17.2%.

The effect of the addition of sol on equidistant mixtures (W/C=0,61–0,71) was evaluated when testing concrete samples of the following composition: cement (PC 550) – 345±5 kg; Sand quartz-feldspar – 400 kg; Sand standard quartz – 400 kg; Crushed stone of the fraction 5–20 mm – 1060 kg. The sol of nanosilica was introduced in an amount of 2% of the weight of the cement. The uniformity of the mixture was ensured by the appropriate dosage of the SVC 5New additive, which did not exceed 2.6% of the cement mass. Estimation of the quality of the resulting concrete was carried out on samples of cubes with dimensions of 10×10×10 cm.

The volume of sol required for batching was calculated by the formula 1:

$$V_{sol} = [C \times SiO_2 / 100] / K_s, \quad (1)$$

where C – consumption of cement, g; SiO₂ – defined by the concentration of silica, %; K_s – SiO₂ content in the sol, g/dm³.

Таблица 3
Table 3

Серия Series	№ состава № com- position	SiO ₂ , % от Ц SiO ₂ , % of Cement	SVC 5New, мас. % SVC 5New, %		В/Ц W/C	ОК, см Slump, cm	Плотность смеси, кг/м ³ The mix-ture den-sity, kg/m ³	Прочность при сжатии, МПа Compressive strength, MPa			Ранняя прочность, % (R ₁ /R ₂₈) норм. хран. Early strength, % (R ₁ /R ₂₈) normal storage
			от Ц of Cement	от SiO ₂ of SiO ₂				1 сут 1 day	2 сут 2 days	28 сут 28 days	
1	1*	–	–	–	0,643	13	2345	6,8	12	26,6	26
	2	2	2,33	1,165	0,715	10	2322	12,7 (+86%)	19,8 (+65%)	33,6 (+26%)	38
	3	2	2,58	1,29	0,643	18–20	2320	15,5 (+128%)	–	36,4 (+37%)	43
2	4*	–	–	–	0,62	16	2322	10,1	–	28,5	35
	5	2	2,23	1,11	0,61	18	2335	19,2 (+90%)	–	39,9 (+40%)	48

Примечание. * Составы № 1 и 4 – контрольные, в скобках – критерии эффективности.
Note. * Compositions № 1 and 4 – control, in brackets – the performance criteria.

данных позволяет сделать вывод, что добавка золя кремнезема в сочетании с суперпластификатором приводит к увеличению прочности при сжатии на 1-е сут до 128%, к 28 сут – до 40% по сравнению с бездобавочными составами. Следовательно, при модификации бетона нанодобавкой кремнезема происходит структурирование минеральной матрицы вяжущего. Таким образом, гидроксид кальция, который образуется при твердении и гидратации минералов портландцементного клинкера и не обладает вяжущими свойствами, можно связать в гидросиликаты кальция, используя золь нанокремнезема.

Данные исследований говорят о перспективности использования в качестве наномодификаторов цементных систем порошков и золь кремнезема, полученных из гидротермальных растворов. Механизм действия нанокремнезема является комплексным, так как он может выступать в качестве наполнителя и способствовать связыванию портландита, образовывать дополнительные центры кристаллизации. Нанокремнезем принимает участие в связывании образующейся извести, повышает плотность упаковки частиц системы и является центром кристаллизации гидратных новообразований.

Таким образом, гидротермальный нанокремнезем оказывает на цемент тройное воздействие – усиливает гидратацию, блокирует поры, т. е. снижает водопроницаемость, увеличивает клеящую способность. Ввод золя кремнезема позволяет повысить прочность при сжатии и изгибе, следовательно, и долговечность изделий.

Выводы.

1. Нанокремнезем, извлеченный из гидротермального раствора в форме золя и нанопорошка, активно влияет на прочность бетона при сжатии и изгибе.
2. В связи с высокой удельной поверхностью порошка нанокремнезема частицы обладают высокой химической активностью и, выступая как нанонаполнители, заполняют микропоры цементного камня, что приводит к повышению плотности и прочности.
3. Наночастицы кремнезема влияют на процесс гидратации, повышают скорость набора прочности в ранние сроки по сравнению с контрольными образцами.
4. Действие добавки золя кремнезема эффективнее проявляется в паре с суперпластификатором.

Список литературы

1. Sobolev K., Flores I., Hermesillo K., Torres-Martinez L.M. Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites // *Proceedings of ASI Session on «Nanotechnology for Concrete: Recent Developments and Future Perspectives»*. November 7. 2006. Denver. USA, p. 296.

Compositions of concrete mixtures are presented in Table 2.

Results of tests of concretes with the addition of silica sol are presented in Table 3. Analysis of the experimental data allows us to conclude that the addition of the silica sol in combination with the superplasticizer leads to an increase in compressive strength by 1 day to 128%, to 28 days to 40% in comparison with the no-additives. Consequently, when the concrete is modified with a nanoscale of silica, the mineral matrix of the binder is structured. Thus, calcium hydroxide, which is formed during hardening and hydration of minerals of Portland cement clinker and does not have astringent properties, can be bound to calcium hydrosilicates using a nanosilica sol.

The research data show the prospects of using nanomodifiers of cement systems for powders and silica sols obtained from hydrothermal solutions. The mechanism of action of nanosilica is complex, since nanosilica can act as a filler and promote the binding of portlandite, form additional crystallization centers. Nanosilica participates in the binding of formed lime, increases the packing density of the particles of the system and is the center of crystallization of hydrate neoplasms.

Thus, hydrothermal nanosilica exerts a threefold effect on cement – strengthen hydration, block pores, that is, reduce water permeability, increase the adhesive capacity. The introduction of the silica sol makes it possible to increase the compressive and bending strength, and consequently the durability of the products.

Conclusions.

1. Nano-silica extracted from the hydrothermal solution in the form of sol and nanopowder, actively affects the strength of concrete during compression and bending.
2. Due to the high specific surface area of the nanosilica powder, nanoparticles have high chemical activity, and, acting as nanofillers, fill the micropores of the cement stone, which leads to an increase in density and an increase in strength.
3. The silica nanoparticles affect the hydration process, increase the speed of durability in the early periods in comparison with the control samples.
4. The action of the silica sol addition is more effective in pairing with the superplasticizer.

References

1. Sobolev K., Flores I., Hermesillo K., Torres-Martinez L.M. Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites. *Proceedings of ASI Session on «Nanotechnology for Concrete: Recent Developments and Future Perspectives»*. November 7. 2006. Denver. USA, p. 296.

2. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete – A review // *Construction and Building Materials*. 2010. No. 24, pp. 2060–2071.
3. Bjornstrom J., Martinelli A., Matic A., Borjesson L., Panas I. Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium–silicate–hydrate formation in cement // *Chemical Physics Letters*. 2004. Vol. 392 (1–3), pp. 242–248.
4. Chang T-P, Shih J-Y, Yang K-M, Hsiao T-C. Material properties of Portland cement paste with nano-montmorillonite // *Journal of Materials Science*. 2007. Vol. 42 (17), pp. 7478–7487.
5. Kuo W-Y, Huang J-S, Lin C-H. Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars // *Cement and Concrete Research*. 2006. Vol. 36 (5), pp. 886–895.
6. Shah SP, Konsta-Gdoutos MS, Metaxa ZS, Mondal P. Nanoscale modification of cementitious materials In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors // *Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3-rd international symposium on nanotechnology in construction)*. Prague. Czech Republic. 2009, pp. 125–30.
7. Bordallo H.N., Aldridge L.P., Desmedt A. Water dynamics in hardened ordinary Portland cement paste or concrete: from quasielastic neutron scattering // *The Journal of Physical Chemistry*. 2006. Vol. 110 (17), pp. 966–976.
8. Пухаренко Ю.В., Никитин В.А., Летенко Д.Г. Наноструктурирование воды затворения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонных смесей // *Строительные материалы*. 2006. № 9. С. 86–88.
9. Гирштель Г.Б., Глазкова С.В., Левицкий А.В. Перспективы применения наноструктурированного бетона в строительстве. http://www.concrete-union.ru/articles/index.php?ELEMENT_ID=7165 (дата обращения 20.12.2016).
10. Пухаренко Ю.В., Аубакирова И.У., Староверов В.Д. Эффективность активации воды затворения углеродными наночастицами // *Инженерно-строительный журнал*. 2009. № 1. С. 40–45.
11. Лхасаранов С.А., Урханова Л.А., Буянтуев С.Л., Кондратенко А.С., Данзанов А.Б., Пшеничникова Л.И. Бетоны повышенной прочности на композиционных вяжущих // *Строительный комплекс России. Наука. Образование. Практика: Материалы международной научно-практической конференции*. Улан-Удэ, 2012. С. 225–228.
12. Урханова Л.А., Хардаев П.К., Лхасаранов С.А. Модифицирование цементных бетонов нанодисперсными добавками // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 3. С. 167–175.
13. Хрусталеv Б.М., Яглов В.Н., Ковалев Я.Н., Романюк В.Н., Бурак Г.А., Меженцев А.А., Гуриненко Н.С. Наномодифицированный бетон // *Наука и техника*. 2015. № 6. С. 3–8.
14. Горев Д.С., Горева Т.С., Потапов В.В., Шалаев К.С. Получение нанодисперсного диоксида кремния из гидротермальных растворов с применением мембран и криохимической вакуумной сублимации // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 4. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6720> (дата обращения: 20.12.2016)
15. Потапов В.В., Горев Д.С., Туманов А.В., Кашутин А.Н., Горева Т.С. Получение комплексной добавки для повышения прочности бетона на основе нанодисперсного диоксида кремния гидротермальных растворов // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 9–2. С. 404–409.
16. Горев Д.С., Потапов В.В., Горева Т.С. Получение золя диоксида кремния мембранным концентрированием водных растворов // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11–6. С. 1233–1239.
2. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete – A review. *Construction and Building Materials*. 2010. No. 24, pp. 2060–2071.
3. Bjornstrom J., Martinelli A., Matic A., Borjesson L., Panas I. Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium–silicate–hydrate formation in cement. *Chemical Physics Letters*. 2004. Vol. 392(1–3), pp. 242–248.
4. Chang T-P, Shih J-Y, Yang K-M, Hsiao T-C. Material properties of Portland cement paste with nano-montmorillonite. *Journal of Materials Science*. 2007. Vol. 42 (17), pp. 7478–7487.
5. Kuo W-Y, Huang J-S, Lin C-H. Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars. *Cement and Concrete Research*. 2006. Vol. 36 (5), pp. 886–895.
6. Shah SP, Konsta-Gdoutos MS, Metaxa ZS, Mondal P. Nanoscale modification of cementitious materials In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors. *Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3-rd international symposium on nanotechnology in construction)*. Prague. Czech Republic. 2009, pp. 125–30.
7. Bordallo H.N., Aldridge L.P., Desmedt A. Water dynamics in hardened ordinary Portland cement paste or concrete: from quasielastic neutron scattering. *The Journal of Physical Chemistry*. 2006. Vol. 110 (17), pp. 966–976.
8. Puharenko Y.V., Nikitin V.A., Letenko D.G. Nanostructuring water mixing as a way to improve the efficiency of plasticizers concrete mixes. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2006. No. 9, pp. 86–88. (In Russian).
9. Girshstel G.B., Glazkova S.V., Levitsky A.V. The prospects of use of the nanostructured concrete in construction. http://www.concrete-union.ru/articles/index.php?ELEMENT_ID=7165. (Date of access 20.12.2016). (In Russian).
10. Puharenko Y.V., Aubakirova I.U., Staroverov V.D. The efficiency of water activation mixing carbon nanoparticles. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2009. No. 1, pp. 40–45. (In Russian).
11. Lhasaranov S.A., Urhanova L.A., Buyantuev S.L., Kondratenko A.S., Danzanov A.B., Pshenichnikova L.I. Concretes increased strength composite knitting. *The building complex of Russia. The science. Education. Practice. Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Ulan-Ude. 2012, pp. 225–228. (In Russian).
12. Urhanova L.A., Hardan P.K., Lhasaranov S.A. Modification of cement concrete nanodisperse additives. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015. No. 3, pp. 167–175. (In Russian).
13. Khrustalyov B.M., Yaglov V.N., Kovalyov Ya.N., Romaniuk V.N., Burak G.A., Mezhtentsev A.A., Gurinenko N.S. The nanomodified concrete. *Nauka i tekhnika*. 2015. No. 6, pp. 3–8. (In Russian).
14. Gorev D.S., T.S. Goreva, Potapov V.V., Shalaev K.S. Preparation nanosized silica from hydrothermal solutions with the use of membranes and cryochemical vacuum sublimation. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012. No. 4. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6720>. (Date of access 20.12.2016). (In Russian).
15. Potapov V.V., Gorev D.S., Tumanov A.V., Kashutin A.N., Goreva T.S. Obtaining comprehensive supplements to enhance the strength of concrete based on nanosized silica hydrothermal solutions. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012. No. 9–2, pp. 404–409. (In Russian).
16. Gorev D.S., Potapov V.V., Goreva T.S. Preparation of a silica sol by membrane concentration of aqueous solutions. *Fundamental research*. 2014. No. 11–6, pp. 1233–1239. (In Russian).

Международная конференция «Наноматериалы и нанотехнологии в строительстве: теория, практика, техническое регулирование» (ICNNC-2017)

18-19 апреля 2017 г. в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете (НИУ МГСУ) состоялась Международная конференция «Наноматериалы и нанотехнологии в строительстве: теория, практика, техническое регулирование» (ICNNC-2017). Ее организатором выступил Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) при участии Региональной группы Международного союза экспертов и лабораторий по испытаниям строительных материалов, систем и конструкций RILEM, Фонда инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО, Росстандарта, Российской инженерной академии, Ассоциации строительных вузов, комитета РСС по науке и инновационному развитию строительной отрасли.

Участники конференции заслушали и обсудили более 20 докладов.

Наиболее ожидаемым был доклад К.Г. Соболева, профессора Университета Висконсин-Милуоки (UWM), председателя Комитета ACI 241 (нанотехнологии в бетоне) Американского института бетона, вице-президента Сообщества нанотехнологии и нанонауки в бетоне (CNNS), председателя Комитета бетонных материалов с использованием нанотехнологий (AFN10-TRB), который он назвал «Бетона под наноскопом». Было отмечено, что свойства бетона напрямую зависят от деградиционных процессов, протекающих на всех размерных уровнях (от нано- к микро- и макроуровням), где свойства на каждом уровне влияют на каждый последующий в порядке от низшего к высшему. Аморфная фаза и C-S-H скрепляет все компоненты бетона и является наноматериалом.

Краткий экскурс в развитие нанотехнологии в мировом бетоне показал, что многие направления приложения нанотехнологии разрабатывались в России многие годы, однако приставка нано- появилась у ряда исследований относительно недавно (управление образованием клинкерных минералов, золь-гель технология, механо- и гидромеханоактивация и т. д.). Дальнейшие работы в области «нанобетонведения» будут направлены на исследование и определение количественных характеристик/фаз бетона на наноуровне; разработку бетона с использованием мультиразмерного подхода; получение наночастиц и нанопорошков, используя подходы «сверху-вниз» и «снизу-вверх»; получение бетонных материалов с использованием нанодисперсных компонентов, обладающих вяжущими свойствами; разработка наноразмерных зародышей (затравок) C-S-H с целью ускорения гидратационных процессов; модификацию поверхностей.

В.Р. Фаликман, вице-президент МИА, полномочный представитель РИЛЕМ в Восточной Европе и Средней Азии, представил пути развития российского рынка наноматериалов и нанотехнологий в строительной отрасли. Цифры, характеризующие мировое развитие нанотехнологий, которые привел Вячеслав Рувимович, впечатляют: за последние 20 лет все страны мира вложили в нанотехнологии чуть менее 110 млрд дол. США; за последние годы создано свыше 16 тыс. нанотехнологических компаний по всему миру, их число удваивается каждые полтора-два года; за последние пять лет в Китае открылось свыше 100 научно-исследовательских институтов; по прогнозу американской ассоциации National Science Foundation, объем рынка товаров и услуг с использованием нанотехнологий в 2017 г. возрастет до триллиона дол. США; ожидается, что мировой рынок нанотехнологий в ближайшие 10 лет на 20% превзойдет рынок электроники и в два раза обгонит медицинский рынок. Строительный рынок воспринимает нанотехнологии очень медленно из-за своего объективного консерватизма, который в некоторой степени обуславливает относительно низкий уровень инвестиций в НИОКР.

Также В.Р. Фаликман рассказал о Дорожной карте развития нанотехнологий в строительстве ЕС и проекте «Развитие российского рынка нанотехнологических строительных материалов до 2020 г.»

Он также отметил, что наиболее успешным сегментом рынка стройматериалов с точки зрения внедрения нанотехнологической продукции в настоящее время являются краски и покрытия. К 2020 г. 40–50% красок и покрытий для строительства будут производиться с использованием нанотехнологий.

Были рассмотрены мировые и отечественные драйверы и барьеры на пути развития и внедрения нанотехнологий в строительную отрасль, а также возможные меры государственной поддержки производителей и потребителей нанотехнологической продукции. Одним из действенных стимуляторов внедрения нанотехнологий названо природоохранное законодательство.

В числе ключевых докладчиков выступили также Б.В. Гусев, Е.В. Королев, Ю.В. Пухаренко, В.С. Лесовик, А.П. Пустовгар, В.В. Строкова. Для всех участников конференции были проведены экскурсии по научным подразделениям НИУ МГСУ.



УДК 620.19:666.973:539.2

А.С. ИНОЗЕМЦЕВ, канд. техн. наук (InozemcevAS@mgsu.ru),
 Е.В. КОРОЛЕВ, д-р техн. наук (KorolevEV@mgsu.ru)

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

Сравнительный анализ влияния наномодифицирования и микродисперсного армирования на процесс и параметры разрушения высокопрочных легких бетонов*

Представлен сравнительный анализ влияния технологии наномодифицирования и микродисперсного армирования на процесс и параметры разрушения высокопрочных легких бетонов на полых микросферах. Установлено, что по показателям физико-механических свойств и параметрам акустической эмиссии введение микрофибры является наиболее обоснованным. Введение полипропиленовой фибры за счет структурирования цементно-минерального каркаса высокопрочного легкого бетона снижает дефектность структуры композита в целом, изменяя характер его разрушения, и приводит к повышению прочностных характеристик. Использование полых микросфер с привитым на поверхности наноразмерным модификатором также способствует изменению характера разрушения и увеличивает прочность высокопрочного легкого бетона. Эффективность такого метода обуславливается на порядок меньшим расходом модификатора (0,01 мас. %) по сравнению с расходом микрофибры, но ограничивается величиной удельной прочности высокопрочного легкого бетона до 40 МПа.

Ключевые слова: высокопрочный легкий бетон, наноразмерный модификатор, наномодифицирование, фибробетон, дефектность, фибра, полые микросферы.

Для цитирования: Иноземцев А.С., Королев Е.В. Сравнительный анализ влияния наномодифицирования и микродисперсного армирования на процесс и параметры разрушения высокопрочных легких бетонов // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 11–15.

A.S. INOZEMTSEV, Candidate of Sciences (Engineering) (InozemcevAS@mgsu.ru), E.V. KOROLEV, Doctor of Sciences (Engineering) (KorolevEV@mgsu.ru)
 Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Comparative Analysis of Influence of Nanomodification and Micro-Dispersed Reinforcement on the Process and Parameters of Destruction of High-Strength Lightweight Concrete*

The paper presents a comparative analysis of the impact of nanomodification and microdispersed reinforcement technologies on the process and parameters of destruction of high-strength lightweight concretes with hollow microspheres. It has been established that the introduction of microfiber is the most justified in terms of indicators of physico-mechanical properties and parameters of acoustic emission. Introduction of polypropylene fiber reduces the defectiveness of the structure of the composite, changes the nature of destruction and leads to an increase of strength characteristics. The use of hollow microspheres with a nanoscale modifier grafted on the surface also contributes to a change in the nature of the fracture and increases the strength of high-strength lightweight concrete. The effectiveness of this method is determined by a smaller amount of modifier (0.01% by weight) compared to the amount of microfiber, but is limited by the specific strength of high-strength lightweight concrete to 40 MPa.

Keywords: high-strength lightweight concrete, nanosized modifier, nanomodification, fiber-reinforced concrete, defectiveness, fiber, hollow microspheres.

For citation: Inozemtsev A.S., Korolev E.V. Comparative analysis of influence of nanomodification and micro-dispersed reinforcement on the process and parameters of destruction of high-strength lightweight concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 11–15. (In Russian).

Все большее распространение в строительной теории и практике получают многофункциональные материалы, к которым также относятся легкие бетоны с повышенной прочностью, что объясняется высокой эффективностью их применения. Согласно [1–5] легкие цементные бетоны с высокой прочностью могут быть получены на различных заполнителях, в том числе из местного сырья. Как правило, наибольшее значение прочности достигается для бетонов средней плотностью не менее 1800 кг/м³. Эффективной дисперсной фазой для облегченных строительных материалов могут выступать полые керамические микросферы [6–8].

Ранее [9] показано, что легкие бетоны средней плотностью менее 1800 кг/м³ с высокими показателями эксплуатационных свойств могут быть получены за счет применения полых микросфер и оптимизации цементно-минеральной матрицы. При этом очевидно, что введение полых микросфер в высокопрочную мелкозернистую матрицу приводит к пропорциональному снижению прочности композита. Менее плотные микрочастицы наполнителя выступают искусственными дефектами структуры и являются источниками для развития и

формирования трещин. В результате этого происходит снижение прочности бетона. Для нивелирования негативного влияния полых микросфер могут использоваться различные функциональные модификаторы или добавки. Поиск таких модификаторов и разработка бетонов с их применением являются актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит предложить новый многофункциональный материал для строительной отрасли.

В работах [10, 11] показан опыт получения легких бетонов с повышенной прочностью, где в качестве технологического решения по повышению физико-механических свойств выбрано применение микрофибры, модифицированной углеродными нанообъектами. Легкие бетоны на полых микросферах, армированные микроволокном с привитыми к их поверхности многослойными углеродными нанотрубками, обладают удельной прочностью до 30 МПа [11]. Расход углеродного модификатора при этом составляет 0,01–0,5% от массы базальтовой фибры.

В [12] предложено использовать комплексный наноразмерный модификатор, представляющий собой

* Работа проведена при поддержке гранта Президента РФ молодым ученым МК-8575.2016.8.

* The work was supported by the grant of the President of the Russian Federation to young scientists МК-8575.2016.8.

Таблица 1

Состав	Средняя плотность, кг/м ³	Содержание компонентов, мас. %							
		Ц	МК	К _М	П _Ф	МС	В+Д	Н _М	Ф
ВПТБ	2400	29,7	4,3	13,5	43,2	–	9,3	–	–
ВПЛБ	1400	44,6	7,4	4	9,2	18,5	16,3	–	–
НМВПЛБ								0,01	–
ВПЛФБ								–	0,3

Примечание. Содержание наномодификатора и микрофибры указано сверх 100% основных компонентов. ВПТБ – высокопрочный тяжелый бетон; ВПЛБ – высокопрочный легкий бетон; НМВПЛБ – наномодифицированный высокопрочный легкий бетон; ВПЛФБ – высокопрочный легкий фибробетон.

Таблица 2

Состав	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Удельная прочность, МПа	Коэффициент трещиностойкости
ВПТБ	2330	8,3	93,5	40	0,088
ВПЛБ	1410	2,8	45,7	32,4	0,061
НМВПЛБ	1420	2,9	52,9	37,3	0,055
ВПЛФБ	1440	3,1	62,6	43,5	0,049

Примечание. Удельная прочность является параметром, характеризующим величину прочности на единицу плотности, отнесенную к плотности воды 1000 кг/м³. Коэффициент трещиностойкости характеризует отношение величины предела прочности при изгибе к пределу прочности при сжатии.

Таблица 3

Модификатор	Расход модификатора* кг/м ³	Увеличение прочности ВПЛБ				Удельная эффективность	
		при изгибе		при сжатии		при изгибе	при сжатии
		МПа	%	МПа	%	МПа/кг	МПа/кг
Комплексный наноразмерный модификатор	0,14	0,1	3,5	7,2	15,7	0,175	51,4
Полипропиленовая микрофибра	4,2	0,3	10,7	16,9	36,9	0,071	4,02

Примечание. * В пересчете на сухое вещество.

коллоидную систему на основе золя кремниевой кислоты (кремнезоля) и золя гидроксида железа (III). Компоненты этого наномодификатора вступают во взаимодействие с цементом и продуктами его гидратации с образованием новых соединений [13, 14]. Технология применения представляет собой нанесение наномодификатора на поверхность полых микросфер таким образом, чтобы взаимодействие наномодификатора и формирование дополнительных связей осуществлялось на границе раздела фаз. За счет интенсификации процессов гидратации и связывания поргидрата [12, 13] это позволяет уплотнить и упрочнить зону контакта полые микросферы – цементный камень. Удельная прочность такого высокопрочного легкого бетона составляет 30–45 МПа.

Описанные выше решения свидетельствуют о том, что оптимизация структуры цементных нанокомпозитов может быть обеспечена за счет модификации поверхности микроразмерных компонентов, входящих в ее состав. Т. е. прививание к поверхности микрообъектов (например, микрофибры или микросфер) наноразмерных модификаторов способствует эффективному распределению активного вещества в объеме материала, обеспечивающее влияние на процесс структурообразования на границе раздела фаз, выраженное улучшением эксплуатационных свойств самого композита.

Далее будут представлены результаты сравнительного анализа эффективности модифицирования структуры высокопрочного легкого бетона микрофиброй и комплексным наноразмерным модификатором, привитым на поверхности полых микросфер. В качестве

критериев выбраны физико-механические свойства высокопрочного легкого бетона и особенности образования дефектов, оцениваемые методом акустической эмиссии.

Предметом исследования являются параметры разрушения высокопрочных легких бетонов, приготовленные согласно [15] в соответствии с EN 196-1. Изготавливались по три серии образцов-балочек 40×40×160 мм из легкого бетона средней плотностью 1400 кг/м³ и одна серия образцов мелкозернистого тяжелого бетона 2400 кг/м³. Состав высокопрочного легкого бетона второй и третьей серий отличался наличием наноразмерного модификатора (Н_М) на поверхности полых микросфер и полипропиленовой микрофибры (Ф) соответственно. В качестве основных компонентов для приготовления бетонной смеси использовались: портландцемент (Ц) СЕМ I 42,5; микрокремнезем МК-85 (МК) с размером частиц 1–100 мкм и массовой долей SiO₂ не менее 85%; фракционированный кварцевый песок (П_Ф) фр. 0,16–0,63 мм; каменная мука (К_М) с удельной поверхностью 700–800 м²/кг; полые керамические микросферы (МС) со средним размером частиц 70 мкм и прочностью более 35 МПа; вода (В) с пластифицирующей добавкой (Д) «Melflux 1641F». Для микроармирования выбраны волокна полипропиленовой фибры длиной 12 мм. Расход компонентов для исследуемых составов представлен в табл. 1.

Испытания образцов осуществлялись с помощью комплексной установки на базе сервогидравлической испытательной машины Advantest 9 и акустико-эмиссионной системы «Малахит».

В результате испытаний исследуемых составов получены следующие значения физико-механических свойств (табл. 2).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что модифицирование высокопрочных легких бетонов оправданно как с помощью наномодифицирования, так и за счет введения полипропиленовой фиброй. Предел прочности при изгибе при использовании наномодификатора увеличивается незначительно (менее 5%), а для составов с микрофиброй – на 10,7% (табл. 3). При этом наномодифицированный высокопрочный легкий бетон и высокопрочный легкий фибробетон имеют предел прочности при сжатии на 15,7 и 36,9% больше, чем состав на микросферах без наномодификатора, соответственно. Из значений в табл. 2 видно, что все исследуемые составы обладают удельной прочностью более 30 МПа, что позволяет классифицировать такие бетоны как высокопрочные. Однако величина этого параметра для высокопрочного легкого фибробетона на 8,7% превышает значение высокопрочного тяжелого бетона, что свидетельствует о высоком потенциале структуры высокопрочного легкого бетона. Кроме того, из показателей табл. 2 можно заключить, что выбранные методы модифицирования увеличивают преимущественно предел прочности при сжатии, значение предела прочности при изгибе при этом изменяется менее значительно. Это отражается и на величине коэффициента трещиностойкости, который имеет наименьшее значение (0,049) для составов высокопрочного легкого фибробетона с наибольшей прочностью при сжатии (62,6 МПа). Однако заметим, что несмотря на меньшую фактическую величину предела прочности при изгибе и сжатии наномодифицированных бетонов по сравнению с составами с микрофиброй, такие бетоны получены с меньшим расходом модификатора. Если оценивать влияние по отношению изменения величины контролируемого физико-механического параметра к расходу модификатора, то полученная удельная характеристика позволит оценить эффективность исследуемых технологий (табл. 3).

Таким образом, представленные в табл. 3 данные свидетельствуют о высокой технической эффективности наномодифицирования поверхности полого наполнителя, которая по удельному показателю на порядок выше, чем у традиционной технологии.

При разработке новых строительных материалов важным является представление о внутреннем напряженном состоянии. Сравнительный анализ дефектности модифицированных высокопрочных легких бетонов осуществлялся по параметрам акустической эмиссии. Как показано в [16], по параметрам акустической эмиссии (АЭ), в частности количеству сигналов N , можно охарактеризовать особенности разрушения бетонов и в том числе провести анализ дефектности легких бетонов на полых микросферах и оценить влияние различных методов модифицирования. На рис. 1 показана кинетика количества сигналов АЭ при испытании исследуемых составов на сжатие.

На рис. 1 видно, что изменение количества сигналов акустической эмиссии от нагрузки можно условно разделить на три стадии, характеризующие процесс формирования дефектов. Эти стадии наиболее отчетливо идентифицируются для модифицированных составов высокопрочного легкого бетона. Использование как наномодификатора, так и микрофибры приводит к снижению количества сигналов акустической эмиссии, что свидетельствует о формировании меньшего количества дефектов при равном внешнем воздействии и, как следствие, приводит к увеличению разрушающей нагрузки. Наименьшим значением N при разрушении обладают составы высокопрочного легкого фибробетона. При

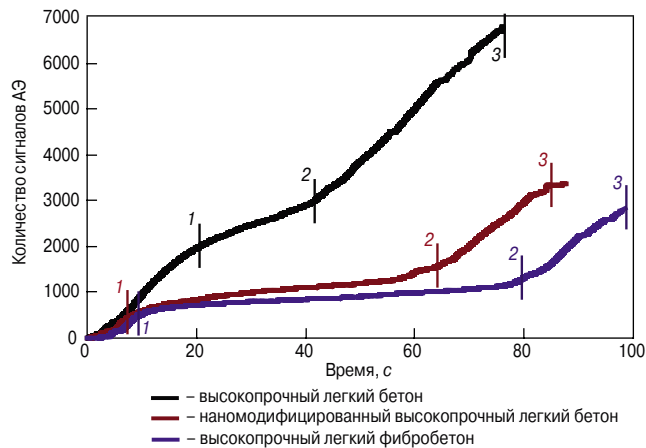


Рис. 1. Кинетика сигналов акустической эмиссии исследуемых бетонов при испытании на сжатие (1, 2, 3 – условная граница стадии разрушения для каждого из составов)

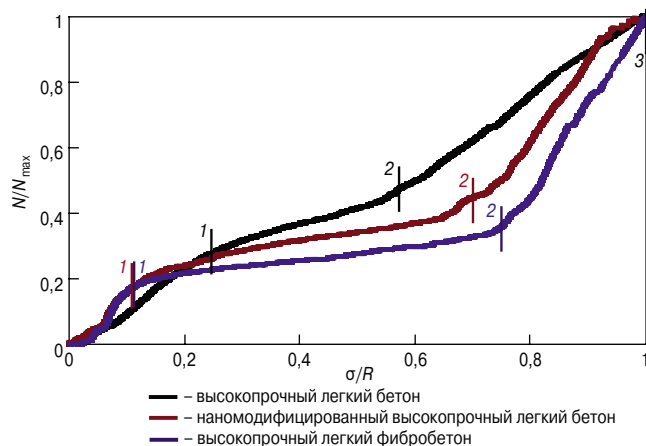


Рис. 2. Относительное изменение количества сигналов АЭ исследуемых бетонов от величины нагрузки при испытании на сжатие: N – количество сигналов АЭ; N_{max} – количество сигналов АЭ, при котором произошло разрушение материала; σ – приложенная нагрузка; R – разрушающая нагрузка

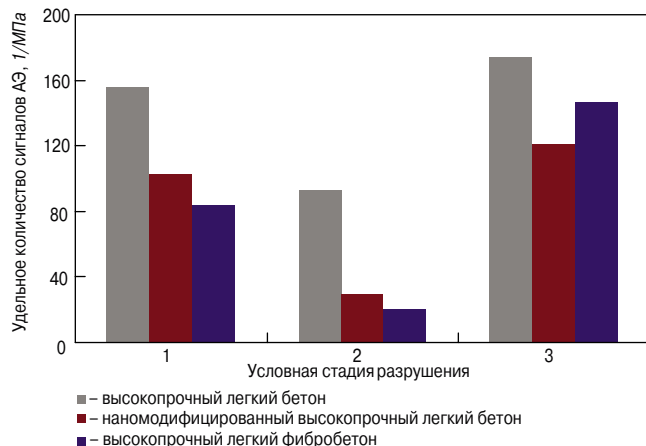


Рис. 3. Интенсивность изменения количества сигналов акустической эмиссии высокопрочных легких бетонов при равномерном нагружении

этом вне зависимости от метода модифицирования характер изменения исследуемого параметра отличается лишь от базового состава высокопрочного легкого бетона, но идентичен между собой (рис. 2).

Установлено, что применение наномодификатора на поверхности полых микросфер или микроармирование цементно-минеральной матрицы обеспечивает контролируемое, подвергающееся определенной зако-

номерности восприятие внешней нагрузки. Так, первую стадию, протекающую при $0,1-0,15R$, можно охарактеризовать как процесс уплотнения структуры и разрушения наиболее слабых полых частиц наполнителя. Вторая стадия описывается близким к статическому изменением количества регистрируемых сигналов акустической эмиссии, что может свидетельствовать о минимальном возникновении дефектов в структуре при увеличении нагрузки до $0,7-0,80R$. На третьей стадии наступает лавинообразное разрушение полых микросфер с последующим деформированием каркасообразующей составляющей и полным разрушением структуры, что отражается на интенсивности изменения количества сигналов АЭ (рис. 3).

На рис. 3 представлена гистограмма интенсивности изменения акустической эмиссии, оцениваемая по удельному количеству сигналов АЭ, приведенному к единице приложенной нагрузки. Видно, что этот параметр для немодифицированного высокопрочного легкого бетона средней плотностью 1400 кг/м^3 находится в общих пределах для каждой из стадий, которые согласно рис. 1 можно обозначить лишь условно. Это может характеризовать структуру такого бетона как высокодефектную, т. е. подверженную интенсивному разрушению при приложении нагрузки. Другая закономерность наблюдается для модифицированных составов высокопрочного легкого бетона. Интенсивность увеличения количества сигналов АЭ не только меньше относительно базового состава, но, дифференцирована для различных стадий. Так, высокопрочные легкие бетоны, приготовленные с наномодификатором и микрофиброй, обладают наиболее интенсивной (рис. 3), но непродолжительной по времени (рис. 1) стадией I. На следующей наиболее продолжительной стадии II

количество сигналов АЭ на единицу нагрузки вдвое меньше для каждого из модифицированных составов. При этом в 4–5 раз меньшая по сравнению с базовым составом интенсивность изменения этого параметра свидетельствует о меньшем количестве дефектов структуры на единицу нагрузки. Кроме того, отметим, что величина удельного количества сигналов акустической эмиссии для высокопрочных легких фибробетонов на каждой стадии наименьшая из всей группы исследуемых составов.

Заключение.

Сравнительный анализ эффективности применения наномодифицирования поверхности наполнителя и введение микроармирующих добавок для получения высокопрочных легких бетонов на полых микросферах показывает, что по показателям физико-механических свойств и параметрам акустической эмиссии введение микрофибры является наиболее обоснованным. Введение полипропиленовой фибры за счет структурирования цементно-минерального каркаса высокопрочного легкого бетона снижает дефектность структуры композита в целом, изменяя характер его разрушения, и приводит к повышению прочностных характеристик. При расходе микрофибры $0,3 \text{ мас. \%}$ удельная прочность высокопрочного легкого бетона составляет более 40 МПа. Использование полых микросфер с привитым на поверхности наноразмерным модификатором также способствует изменению характера разрушения и увеличивает прочность высокопрочного легкого бетона. Эффективность такого метода обуславливается на порядок меньшим расходом модификатора ($0,01 \text{ мас. \%}$) по сравнению с расходом микрофибры. Однако в таком случае удельная прочность бетона составит менее 40 МПа.

Список литературы

1. Ahmmad R., Alengaram U.J., Jumaat M.Z., Sulong N.H.R., Yusuf M.O., Rehman M.A. Feasibility study on the use of high volume palm oil clinker waste in environmental friendly lightweight concrete // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 135, pp. 94–103.
2. Курятников Ю.Ю. Модифицированный керамзитобетон для монолитного строительства // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2016. № 2 (30). С. 104–107.
3. Iqbal S., Ali A., Holschemacher K., Bier T.A. Mechanical properties of steel fiber reinforced high strength lightweight self-compacting concrete (SHLSCC) // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 98, pp. 325–333.
4. Урханова Л.А., Ефременко А.С. Модифицированный легкий бетон в Иркутской области // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2011. № 1 (1). С. 137–142.
5. Zhang M.H., Gjvorv O.E. Mechanical properties of high-strength lightweight concrete // *Materials Journal*. 1991. Vol. 88. Iss. 3, pp. 240–247.
6. Семенов В.С., Орешкин Д.В., Розовская Т.А. Свойства облегченных кладочных растворов с полыми стеклянными микросферами и противоморозными добавками // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 3. С. 9–11.
7. Данилин Л.Д., Дрожжин В.С., Куваев М.Д., Куликов С.А., Максимова Н.В., Малинов В.И., Пикулин И.В., Редюшев С.А., Ховрин А.Н. Полые микросферы из зол-уноса – многофункциональный наполнитель композиционных материалов // *Цемент и его применение*. 2012. № 4. С. 100–105.
8. Волков Д.П., Заричняк Ю.П., Марова А.А. Структура и теплопроводность многокомпонентных полимер-

References

1. Ahmmad R., Alengaram U.J., Jumaat M.Z., Sulong N.H.R., Yusuf M.O., Rehman M.A. Feasibility study on the use of high volume palm oil clinker waste in environmental friendly lightweight concrete. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 135, pp. 94–103.
2. Kuryatnikov Yu.Yu. Modified expanded clay concrete for monolithic construction. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016. No. 2ч(30), pp. 104–107. (In Russian).
3. Iqbal S., Ali A., Holschemacher K., Bier T.A. Mechanical properties of steel fiber reinforced high strength lightweight self-compacting concrete (SHLSCC). *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 98, pp. 325–333.
4. Urkhanova L.A., Efremenko A.S. Modified lightweight concrete in the Irkutsk region. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2011. No. 1, pp. 137–142. (In Russian).
5. Zhang M.H., Gjvorv O.E. Mechanical properties of high-strength lightweight concrete. *Materials Journal*. 1991. Vol. 88. No. 3, pp. 240–247.
6. Semenov V.S., Oreshkin D.V., Rozovskaya T.A. Properties of lightweight clay solutions with hollow glass microspheres and antifreeze additives. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 3, pp. 9–11. (In Russian).
7. Danilin L.D., Drozhzhin V.S., Kuvaev M.D., Kulikov S.A., Maksimova N.V., Malinov V.I., Pikulin I.V., Redyushev S.A., Khovrin A.N. Hollow microspheres from fly ash are a multifunctional filler of composite materials. *Tsement i ego primeneniye*. 2012. No. 4, pp. 100–105. (In Russian).
8. Volkov D.P., Zarichnyak Yu.P., Marova A.A. Structure and thermal conductivity of multicomponent polymer composites filled with ceramic and silicone hollow micro-

- компози́тов, наполненных керамическими и силиконовыми полыми микросферами // *Пластические массы*. 2016. № 5–6. С. 38–41.
9. Иноземцев А.С. Средняя плотность и пористость высокопрочных легких бетонов // *Инженерно-строительный журнал*. 2014. № 7 (51). С. 31–37.
 10. Пономарев А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии // *Инженерно-строительный журнал*. 2009. № 6. С. 25–33.
 11. Патент РФ 2355656. *Бетонная смесь* // Пономарев А.Н., Юдович М.Е. Заявл. 10.05.2007. Опубл. 20.05.2009.
 12. Inozemtcev A.S., Korolev E.V. A method for the reduction of deformation of high-strength lightweight cement concrete // *Advances in Cement Research*. 2016. Vol. 28. No. 2, pp. 92–98.
 13. Inozemtcev A.S., Korolev E.V., Smirnov V.A. Nanoscale modifier as an adhesive for hollow microspheres to increase the strength of high-strength lightweight concrete // *Structural Concrete*. 2016. No. 6 (17), pp. 1–7. Doi: 10.1002/suco.201500048.
 14. Патент РФ 2507169. *Комплексная наноразмерная добавка для пенобетонной смеси* / Королев Е.В., Гришина А.Н. Заявл. 27.09.2012. Опубл. 20.02.2014.
 15. Патент РФ 2515450. *Высокопрочный легкий бетон* / Королев Е.В., Иноземцев А.С. Заявл. 11.10.2012. Опубл. 10.05.2014.
 16. Макридин Н.И., Максимова И.Н., Суров И.А., Полубарова Ю.В. Оценка и сравнение механического поведения каменных материалов по параметрам акустической эмиссии // *Технологии бетонов*. 2014. № 8 (97). С. 19–21.
- spheres. *Plasticheskie massy*. 2016. No. 5–6, pp. 38–41. (In Russian).
 9. Inozemtcev A.S. Average density and porosity of high-strength lightweight concrete. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2014. No. 7 (51), pp. 31–37. (In Russian).
 10. Ponomarev A.N. High-quality concrete. Analysis of opportunities and practice of using methods of nanotechnology. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2009. No. 6, pp. 25–33. (In Russian).
 11. Patent RF 2355656. *Betonnaya smes'* [Concrete mix]. Ponomarev A.N., Yudovich M.E. Declared 10.05.2007. Published 20.05.2009. (In Russian).
 12. Inozemtcev A.S., Korolev E.V. A method for the reduction of deformation of high-strength lightweight cement concrete. *Advances in Cement Research*. 2016. Vol. 28. No. 2, pp. 92–98.
 13. Inozemtcev A.S., Korolev E.V., Smirnov V.A. Nanoscale modifier as an adhesive for hollow microspheres to increase the strength of high-strength lightweight concrete. *Structural Concrete*. 2016. No. 6 (17), pp. 1–7. Doi: 10.1002/suco.201500048.
 14. Patent RF 2507169. *Kompleksnaya nanorazmernaya dobavka dlya penobetonnoi smesi* [Complex nano-sized additive for foam concrete mixture]. Korolev E.V., Grishina A.N. Declared 27.09.2012. Published 20.02.2014. (In Russian).
 15. Patent RF 2515450. *Vysokoprochnyi legkii beton* [High-strength lightweight concrete]. Korolev E.V., Inozemtsev A.S. Declared 11.10.2012. Published 10.05.2014. (In Russian).
 16. Makridin N.I., Maksimova I.N., Surov I.A., Polubarova Yu.V. Estimation and comparison of mechanical behavior of stone materials by parameters of acoustic emission. *Tekhnologii betonov*. 2014. No. 8 (97), pp. 19–21. (In Russian).

KazBuild 
WorldBuild Almaty

Главная международная
 строительная и интерьерная
 выставка Казахстана

5-8 сентября 2017
 Атакент, Алматы, Казахстан

подробная информация:
www.worldbuild-almaty.kz



 **KazBuild**
 Almaty
 a WorldBuild event

 **ITE GROUP** 

Силикатный наполнитель, получаемый методом термолиза модифицированных гидросиликатов цемента

Обнаружено, что термолиз цементных гидросиликатов тоберморитового ряда, модифицированных сахарозой, сопровождается разрушением тоберморитовых структур и образованием силикатных частиц с широким диапазоном размеров. Методами динамического рассеяния света и прямого измерения размеров частиц определены кривые распределения частиц в микронном, субмикронном и нанодиапазонах. Выявлено, что вид кривой распределения частиц зависит от содержания модифицирующего углевода и имеет немонотонный характер. Это предположительно связано с действием разнонаправленных факторов: усилением эффектов коагуляции и ростом дефектности тоберморитовых структур. Термолиз модифицированных гидросиликатов цемента сопровождается эффектом окклюзии углевода в силикатной матрице и образованием водонерастворимых соединений. Последнее позволяет рассматривать продукты термолиза модифицированных гидросиликатов как эффективные наполнители для цементных бетонов, в том числе высокопрочных.

Ключевые слова: модифицированный тоберморит, термолиз, наночастицы, кривые распределения частиц, цементные бетоны.

Для цитирования: Шошин Е.А. Силикатный наполнитель, получаемый методом термолиза модифицированных гидросиликатов цемента // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 16–19.

E.A. SHOSHIN, Candidate of Sciences (Engineering) (shoshin234@mail.ru)

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (77, Polytechnicheskaya Street, Saratov, 410054, Russian Federation)

Silicate Filler Obtained by the Method of Thermolysis of Modified Cement Hydrosilicates

It is revealed that the thermolysis of cement hydrosilicates of tobermorite series modified with sucrose is accompanied by the destruction of tobermorite structures and the formation of silicate particles with a wide range of sizes. Curves of the distribution of particles in micron, submicron and nano-ranges have been determined by the methods of dynamic light scattering and direct measurement of particle sizes. It is also discovered that the type of particle distribution curve depends on the content of modifying carbohydrate and is of non-monotonic character. This is presumably due to the effect of differently directed factors: enhancement of coagulation effects and growth of defectiveness of tobermorite structures. The thermolysis of modified cement hydrosilicates is accompanied by the effect of occlusion of carbohydrate in the silicate matrix and the formation of water-insoluble compounds. This makes it possible to consider the products of thermolysis of modified hydrosilicates as efficient fillers for cement concretes, including high-strength concretes.

Keywords: modified tobermorite, thermolysis, nano-particles, curves of particle distribution, cement concretes.

For citation: Shoshin E.A. Silicate filler obtained by the method of thermolysis of modified cement hydrosilicates. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 16–19. (In Russian).

Успехи, достигнутые в последние десятилетия в области создания высокопрочных цементных бетонов (ВПБ) [1–4], выводят последние из области эксклюзивных строительных материалов в ранг материалов с широкими перспективами массового применения. Последнему способствуют, с одной стороны, все возрастающие требования к надежности и долговечности цементных бетонов [1, 2], а с другой – возможность снижения массы несущих конструкций, увеличения их долговечности, устойчивости к коррозии, а также снижения удельного расхода цемента [1–4], что особенно важно не только с экономической, но и с экологической точки зрения [1, 2, 5].

Создание высокопрочной цементной композиции базируется на применении высокоэффективных пла-

стификаторов, например поликарбоксилатного ряда, и минеральных дисперсий с высокой удельной поверхностью, потенциал которых до конца не раскрыт [3, 4, 6–8]. Например, высокодисперсный наполнитель не только обеспечивает уплотнение цементной системы и/или пуццолановый эффект, но и способен участвовать в направленном фазообразовании цементного камня [7, 8], а также в повышении эффективности пластификаторов, что позволяет достичь существенного снижения В/Ц без потери подвижности бетонных смесей [3, 6]. Максимальная реализация потенциала минерального наполнителя требует применения полифракционных дисперсий, содержащих в том числе и наночастицы. Следует отметить, что химико-минералогический состав отдельных фракций

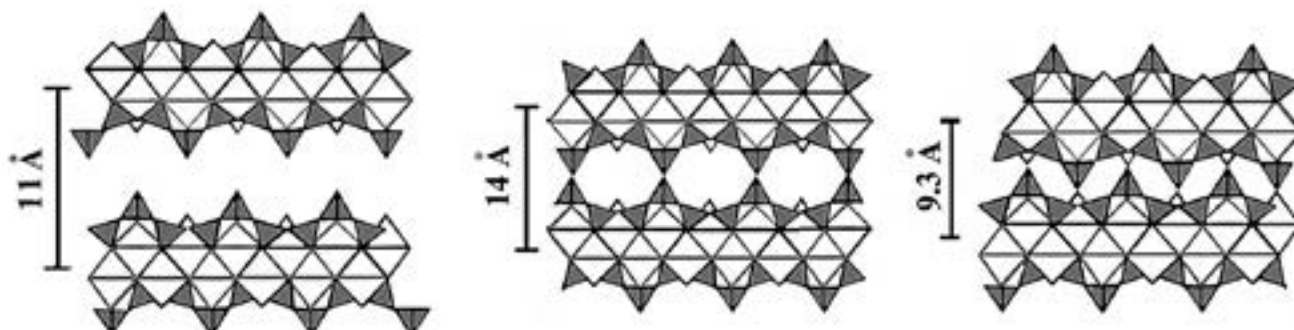


Рис. 1. Последовательность процессов, сопровождающих дегидратацию тоберморита [14]

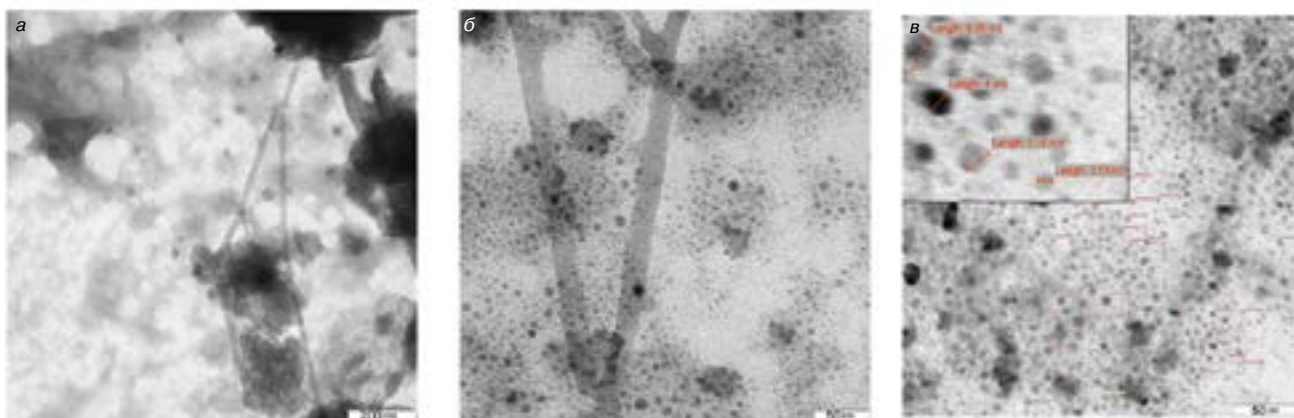


Рис. 2. Результаты прямых измерений наночастиц, образующихся в ходе термоллиза модифицированных гидросиликатов цемента: а – разрешение 200 нм; б – разрешение 50 нм; в – результаты измерений наночастиц на экране микроскопа

может быть различен. Например, в качестве наноконпоненты могут использоваться не только нанокремнезем, но и наноформы оксидов железа, алюминия и др. [7–11]. В качестве микрометрической компоненты производители ВПБ широко используют микрокремнезем (МК) – отход производства ферросплавов, отличающийся высокой пуццолановой активностью и размером частиц, находящимся в микронной и субмикронной областях. Однако неравномерность расположения по территории РФ предприятий, образующих эти отходы, и низкая средняя плотность микрокремнезема обостряют вопросы логистики и связанных с нею расходов. Учитывая последнее, ученые [6, 12] предлагают использовать в качестве микронаполнителя тонкомолотые известняковую муку и/или пуццолановые породы. Иными словами, химико-минералогический состав минеральных дисперсий не является исключительно определяющим фактором при подборе состава ВПБ, значительно большее значение приобретает уровень дисперсности наполнителя. Учитывая последнее, было предпринято исследование возможности получения силикат-кальциевых дисперсий с высокой удельной поверхностью методом термоллиза модифицированных гидросиликатов на основе доступных сырьевых материалов, таких как низкомарочные цементы.

Отправной точкой в данной работе послужили результаты исследований, показавших, что дисахариды способны образовывать с тоберморитовыми фазами цементного геля соединения – включения, свойства которых определяются присутствующим в межслоевом пространстве силиката углеводом [13]. Термоллиз тоберморитовых структур сопровождается удалением межслоевой воды и схлопыванием межслоевого пространства по схеме, представленной на рис. 1 [14]. Углеводы, образуя большое количество водородных связей с силикатным каркасом [15], затрудняют этот процесс, формируя локальные напряжения и деформации силикатного каркаса.

Исследования показали, что термоллиз модифицированных гидросиликатов цемента сопровождается образованием значительного количества частиц как субмикронного, так и нанодиапозона (рис. 2) [16].

В данной работе количественная оценка содержания частиц различного размера проводилась двумя методами: методом прямых измерений с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) CarlZeiss Libra 120 и методом динамического рассеяния света (ДРС), реализованным в системе для характеристики наночастиц Malvern Zetasizer Nano ZS («Malvern», Великобритания, мощность лазера 10 мВт/см², угол рассеяния 173 град). Подготовка образцов для исследования проводилась по схеме, включающей помол в ага-

товой шаровой мельнице в среде абсолютного этанола с последующей обработкой в ультразвуковом дезинтеграторе (УЗУМИ-05, Трима, Россия) в течение 30 с. Исследования проводились в центре коллективного пользования научным оборудованием в области физико-химической биологии и нанобиотехнологии «Симбиоз» федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов Российской академии наук (ИБФРМ РАН).

Учитывая механизм дегидратации тоберморита, количество образующейся при термоллизе ультрадисперсной фазы должно коррелировать с концентрацией модифицирующего углевода. Количественная оценка содержания нано- и субмикронных частиц в продуктах термоллиза модифицированных цементных гидросиликатов в целом подтвердила эти ожидания: содержание частиц субмикронного размера увеличивается с ростом содержания модифицирующего углевода (рис. 3).

Однако анализ данных, полученных методом ДРС, также показал, что рост содержания модифицирующего углевода провоцирует эффекты коагуляции, в результате чего доля частиц субмикронного размера по мере роста концентрации модифицирующего углевода сначала увеличивается, а затем снова падает (рис. 3). Усиление эффектов коагуляции подтверждают и данные ПЭМ, демонстрирующие увеличение среднего размера частиц нанофазы по мере роста содержания модифицирующего углевода: с ростом концентрации модифицирующего углевода (2% – 5% – 8%) увеличивается диаметр основной фракции наночастиц (медиана): 5,8 нм – 10,6 нм –

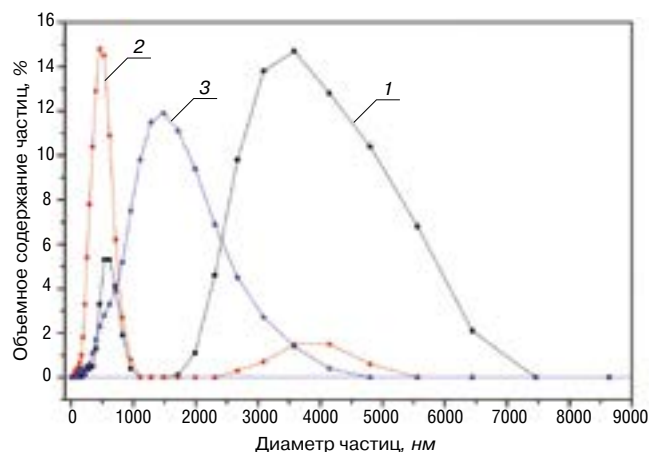


Рис. 3. Кривая распределения частиц (ДРС-метод) в образцах термообработанных цементных модифицированных гидросиликатов: 1 – 2% сахарозы; 2 – 5% сахарозы; 3 – 8% сахарозы

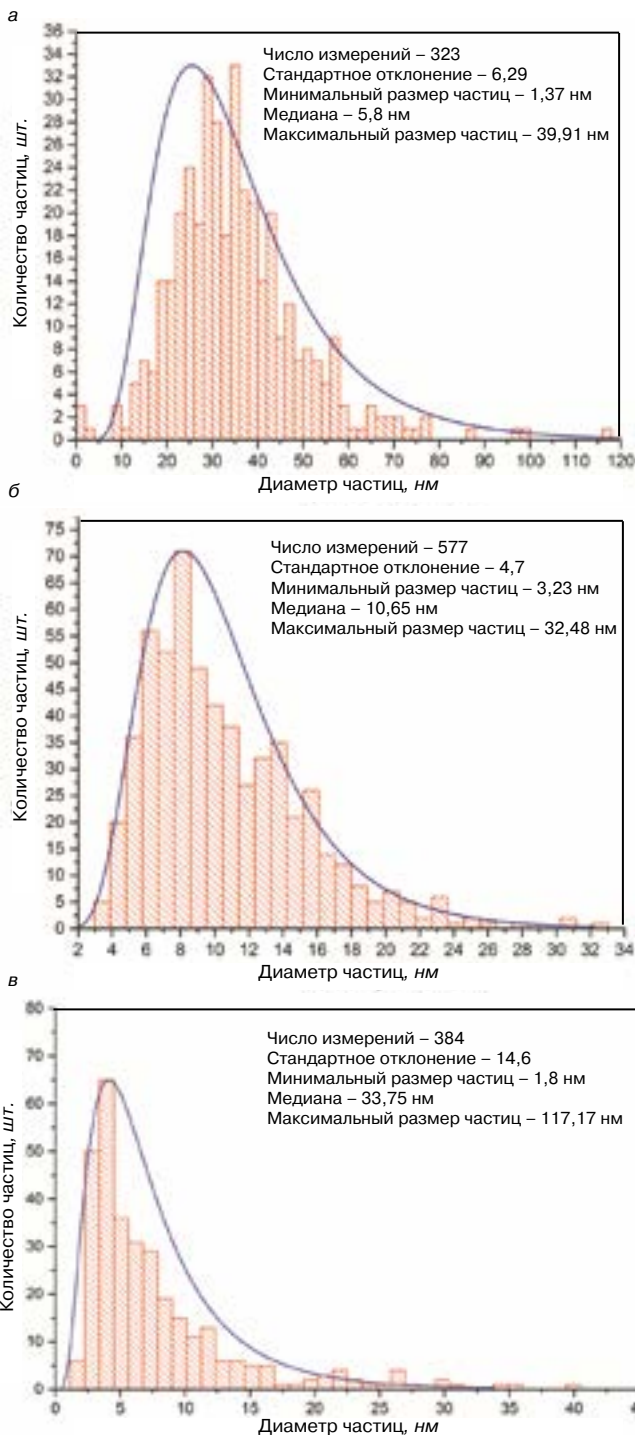


Рис. 4. Кривые распределения частиц по размерам, полученные непосредственным измерением (ПЭМ). Содержание модифицирующего углевода (сахара): а – 2%; б – 5%; в – 8%

33,7 нм соответственно (рис. 4). Иными словами, рост содержания модифицирующего углевода приводит к развитию двух противоположных процессов: с одной стороны, рост дефектности гидросиликатных структур (что при термолитизе приводит к увеличению числа частиц нанометрового диапазона), а с другой – усиление эффектов агрегирования, увеличивающих размер наночастиц.

Необходимо отметить также, что в процессе дегидратации происходит окклюдование углеводов силикатной матрицей тоберморита с образованием устойчивых углеводно-силикатных соединений включения, благодаря чему негативное действие углеводов на про-

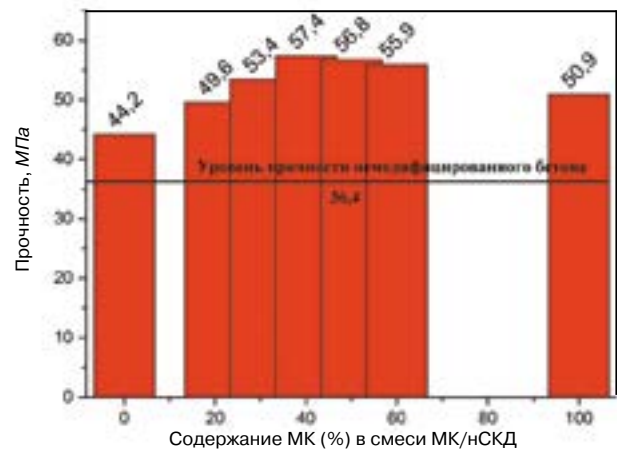


Рис. 5. Зависимость прочностных свойств модифицированных бетонов от соотношения МК/СКД в составе минеральной модифицирующей композиции. Содержание минеральной модифицирующей композиции 15%. Содержание С-3 0,7%. Прочность контрольного состава 36,4 МПа

цессы гидратации цементной композиции исключается. Это доказывают результаты испытаний цементных бетонов, модифицированных полученным силикатным наполнителем в составе органоминерального модифицирующего комплекса. Согласно указанным данным [16] введение в тяжелый цементный бетон разработанного модификатора, состоящего из органического пластификатора, микрокремнезема и исследуемого наполнителя (НСКД) в различных соотношениях, позволяет достичь повышения прочностных показателей на 20–57% при существенном (более чем вдвое) сокращении расхода микрокремнезема (рис. 5) [16].

Таким образом, полученные результаты доказывают возможность получения методом термолитиза модифицированных гидросиликатов цемента силикатных наполнителей, содержащих частицы субмикронного и нанодиапазона, а также эффективность их применения в составе комплексных органоминеральных добавок для цементных бетонов.

Список литературы

1. Гусев Б.В., Фаликман В.Р. Бетон и железобетон в эпоху устойчивого развития // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 2. С. 30–38.
2. Чиорино М.А., Фаликман В.Р. Долговечность и устойчивое развитие конструкционного бетона в поле зрения мирового научного сообщества // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 1. С. 24–26.
3. Калашников В.И., Тараканов О.В., Кузнецов Ю.С., Володин В.М., Белякова Е.А. Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-пророщковых смесей // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 8. С. 47–53.
4. Калашников В.И. Перспективы использования реакционно-порошковых сухих бетонных смесей в строительстве // *Строительные материалы*. 2009. № 7. С. 59–61.
5. Таранова А.В. Борисова Н.И. Борисов А.В. К вопросу о развитии экологического строительства в Волгоградской области в новых экономических условиях // *Экономика строительства*. 2016. № 3. С. 66–74.
6. Калашников В.И., Москвин Р.Н., Белякова Е.А., Белякова В.С., Петухов А.В. Высокодисперсные наполнители для порошково-активированных бетонов нового поколения // *Системы. Методы. Технологии*. 2014. № 2 (22). С. 113–118.
7. Фаликман В.Р. Об использовании нанотехнологий и наноматериалов в строительстве // *Нанотехнологии в*

- строительстве: *Научный интернет-журнал*. 2009. № 1. С. 24–34. http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_1_2009.pdf
8. Фаликман В.Р. Об использовании нанотехнологий и наноматериалов в строительстве // *Нанотехнологии в строительстве: Научный интернет-журнал*. 2009. № 2. С. 10–20. http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_2_2009.pdf
 9. Liu Xiaoyan, Chen Lei, Liu Aihua, Wang Xinrui. Effect of nano-CaCO₃ on properties of cement // *Energy Procedia*. 2012. Vol. 16. Part B, pp. 991–996.
 10. Abdoli Yazdi N., Arefi M.R., Mollaahmadi E., Abdollahi Nejand B. To study the effect of adding Fe₂O₃ nanoparticles on the morphology properties and microstructure cement mortar // *Life Science Journal*. 2011. No. 8(4), pp. 550–554.
 11. Nazari A., Riahi S. Effects of CuO nanoparticles on compressive strength of self-compacting concrete // *Sadhana*. 2011. Vol. 36. Part 3, pp. 371–391. doi: 10.1007/s12046-011-0023-7.
 12. Калашников В.И., Тараканов О.В., Москвин Р.Н., Мороз М.Н., Белякова Е.А., Белякова В.С., Спиридонов Р.И. Применение водных суспензий природных пуццоланических добавок в производстве бетонов // *Системы. Методы. Технологии*. 2013. № 1 (17). С. 103–107.
 13. Шошин Е.А., Тимохин Д.К., Обычев Д.О. Формирование нанопазы портландцемента на ранних сроках твердения в присутствии дисахаридов // *Научное обозрение*. 2015. № 4. С. 159–168.
 14. Bonaccorsi E., Merlino S., Kampf A.R. The crystal structure of tobermorite 14 A (Plombierite), a C–S–H phase // *Journal of the American Ceramic Society*. 2005. Vol. 88. Iss. 3, pp. 505–512. doi: 10.1111/j.1551-2916.2005.00116.x.
 15. Smith B.J., Rawal A., Funkhouser G.P., Roberts L.R., Gupta V., Israelachvili J.N., Chmelka B.F. Origins of saccharide-dependent hydration at aluminate, silicate, and aluminosilicate surfaces // *Proc Natl Acad Sci USA*. 2011. Vol. 108. No. 22, pp. 8949–8954. doi: 10.1073/pnas.1104526108.
 16. Шошин Е.А. Наномодифицированные силикат-кальциевые минеральные добавки строительного назначения // *БСТ*. 2016. № 12. С. 53–56.
- pp. 24–34. http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_1_2009.pdf. (In Russian).
8. Falikman V.R. About use of nanotechnologies and nanomaterials in construction. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy Internet-zhurnal*. 2009. No. 1, pp. 10–20. http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_2_2009.pdf. (In Russian).
 9. Liu Xiaoyan, Chen Lei, Liu Aihua, Wang Xinrui. Effect of nano-CaCO₃ on properties of cement. *Energy Procedia*. 2012. Vol. 16. Part B, pp. 991–996.
 10. Abdoli Yazdi N., Arefi M.R., Mollaahmadi E., Abdollahi Nejand B. To study the effect of adding Fe₂O₃ nanoparticles on the morphology properties and microstructure cement mortar. *Life Science Journal*. 2011. No. 8(4), pp. 550–554.
 11. Nazari A., Riahi S. Effects of CuO nanoparticles on compressive strength of self-compacting concrete. *Sadhana*. 2011. Vol. 36. Part 3, pp. 371–391. doi: 10.1007/s12046-011-0023-7.
 12. Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V., Moskvina R.N., Moroz M.N., Belyakova E.A., Belyakova V.S., Spiridonov R.I. Use of water suspensions natural the puzzolanic additives in production of concrete. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2013. No. 1 (17), pp. 103–107. (In Russian).
 13. Shoshin E.A., Timokhin D.K., Obychev D.O. Formation of a nanophase of a portland cement on early terms of curing in presence of bioses. *Nauchnoe obozrenie*. 2015. No. 4, pp. 159–168. (In Russian).
 14. Bonaccorsi E., Merlino S., Kampf A.R. The crystal structure of tobermorite 14 A (Plombierite), a C–S–H phase. *Journal of the American Ceramic Society*. 2005. Vol. 88. Iss. 3, pp. 505–512. doi: 10.1111/j.1551-2916.2005.00116.x.
 15. Smith B.J., Rawal A., Funkhouser G.P., Roberts L.R., Gupta V., Israelachvili J.N., Chmelka B.F. Origins of saccharide-dependent hydration at aluminate, silicate, and aluminosilicate surfaces. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2011. Vol. 108. No. 22, pp. 8949–8954. doi: 10.1073/pnas.1104526108.
 16. Shoshin E.A. Nanomodified silicate - calcium mineral additives of construction appointment. *BST*. 2016. No. 12, pp. 53–56. (In Russian).

References

1. Gusev B.V., Falikman V.R. Concrete and reinforced concrete during an era of sustainable development. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 2, pp. 30–38. (In Russian).
2. Chiorino M.A., Falikman V.R. Durability and sustainable development of constructional concrete in sight of the world scientific community. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 1, pp. 24–26. (In Russian).
3. Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V., Kuznetsov Yu.S., Volodin V.M., Belyakova E.A. New generation concrete on the basis of thinly crushed mineral mixes. *Inzhenernostroitel'nyy zhurnal*. 2012. No. 8, pp. 47–53. (In Russian).
4. Kalashnikov V.I. Perspectives of the use of reaction-powder dry concrete mixes in construction. *Stroitel'nye Materialy*. 2009. No. 7, pp. 59–61. (In Russian).
5. Taranova A.V., Borisova N.I., Borisov A.V. To a question of development of ecological building in the Volgograd region in new economic conditions. *Ekonomika stroitel'stva*. 2016. No. 3, pp. 66–74. (In Russian).
6. Kalashnikov V.I., Moskvina R.N., Belyakova E.A., Belyakova V.S., Petukhov A.V. High-disperse fillers for the powder activated concrete of new generation. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2014. No. 2 (22), pp. 113–118. (In Russian).
7. Falikman V.R. About use of nanotechnologies and nanomaterials in construction. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy Internet-zhurnal*. 2009. No. 1,



Г.С. СЛАВЧЕВА, д-р техн. наук (gslavcheva@yandex.ru), Е.М. ЧЕРНЫШОВ, д-р техн. наук, академик РААСН, М.В. НОВИКОВ, канд. техн. наук (novikov2005@mail.ru)

Воронежский государственный технический университет (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84)

Теплоэффективные пенобетоны нового поколения для малоэтажного строительства

Представлен анализ и дано обобщение результатов комплекса исследований пенобетонов $\rho=800\text{--}1600\text{ кг/м}^3$ различных структурных модификаций, системного изучения и оценки их функциональных свойств – теплофизических, прочностных и деформативных характеристик. Показаны эффективные направления применения пенобетона различных модификаций в конструкциях теплоэффективных малоэтажных домов. С учетом влияния длительных процессов установлены характеристики пенобетонов для расчета проектирования конструкций на их основе. Охарактеризована авторская технология «Монопор», основанная на применении нормально твердеющих пенобетонов на различных видах наполнителей, обеспечивающая предельную автономность, мобильность малоэтажного монолитного строительства. Обоснована перспективность данной технологии, определяемая ее гибкостью и универсальностью, так как ее реализация обеспечивает возможность строительства различных типов малоэтажных зданий с использованием одной и той же номенклатуры материалов и комплекта оборудования. На основании проведенной технико-экономической оценки показана эффективность применения технологии при строительстве малоэтажных зданий.

Ключевые слова: пенобетон, прочность, деформативность, технология монолитного малоэтажного строительства.

Для цитирования: Славчева Г.С., Чернышов Е.М., Новиков М.В. Теплоэффективные пенобетоны нового поколения для малоэтажного строительства // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 20–24.

G.S. SLAVCHEVA, Doctor of Sciences (Engineering) (gslavcheva@yandex.ru), E.M. CHERNYSHOV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS, M.V. NOVIKOV, Candidate of Sciences (Engineering) (novikov2005@mail.ru)
Voronezh Technical University (84, 20-letiya Oktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

Thermal Efficient Foam Concretes of a New Generation for Low-Rise Construction

The analysis and integration of results of the study complex of foam concretes $\rho=800\text{--}1600\text{ kg/m}^3$ of various modifications, system study and evaluation of their functional properties – thermal-physical, strength and stress-related characteristics – are presented. Efficient ways of the use of foam concrete of various modifications in the structures of thermal efficient low-rise houses are shown. Characteristics of foam concretes have been established for calculation of design of structures on their basis with due regard for the influence of long-term processes. The author's technology "Monopor" based on the use of normally hardening foam concretes with various types of fillers providing the maximum autonomy, mobility of the low-rise monolithic construction is characterized. The perspectiveness of this technology determined by its flexibility and universality is substantiated as its realization ensures the possibility of construction of various types of low-rise buildings with the use of the same range of material and equipment set. The efficiency of the use of this technology when constructing low-rise buildings is shown on the basis of the technical-economic assessment.

Keywords: foam concrete, deformability, technology of monolithic low-rise construction.

For citation: Slavcheva G.S., Chernyshov E.M., Novikov M.V. Thermal efficient foam concretes of a new generation for low-rise construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 20–24. (In Russian).

Эффективное функционирование строительного комплекса в качестве локомотива развития региональной экономики предполагает реализацию инновационных решений в технологии и организации строительства, способных обеспечить повышение уровня доступности жилья на основе снижения производственных затрат. В общем ряду инноваций в строительстве, во всей системе направлений повышения доступности и комфортности жилья важное место занимают проблемы материаловедения и технологии строительных композитов. Эти проблемы должны рассматриваться в рамках переоценки подходов и требований к материалам для ограждающих и конструктивных (несущих) элементов зданий. В качестве критериев эффективности материалов должны приниматься не только их улучшенные свойства, но и простота технологических решений, невысокий уровень производственных затрат при изготовлении изделий и конструкций. Это является необходимым условием повышения доступности жилья за счет снижения его стоимости.

Обеспечение комфортности базируется на реализации концепции теплоэффективного жилого дома. Для ограждающих и несущих элементов такого дома необходимы материалы и изделия нового поколения, которые должны быть адаптированы к перспективным архитектурно-строительным и конструктивным системам зданий [1]. Сего-

дня очевидно, что для ограждающих элементов конкурентоспособны и перспективны материалы с максимальной возможным исключением несущих функций и предельным снижением плотности для обеспечения минимальной теплопроводности и соответственно повышенного термического сопротивления. Одновременно с этим и для материалов несущих конструктивных элементов обоснованным оказывается предъявление требований снижения плотности как средства уменьшения их теплоемкости, что позволит сократить потребление теплоты на доведение температуры конструкций до значений, необходимых при создании комфортных условий в помещении. Дополнительно определяющим моментом при этом является и изменение в положительную сторону параметров инерционности процесса нагрева-охлаждения материала элементов здания при переходном температурном режиме эксплуатационной среды.

В рамках вышеизложенного применительно к малоэтажному строительству следует говорить о целесообразности расширенного комплексного использования в несущих и ограждающих элементах зданий неавтоклавных ячеистых бетонов (пенобетонов). Современные пенобетоны могут квалифицироваться как материалы нового поколения вследствие их высокой универсальности, относительной простоты технологии, невысокого уровня производственных затрат при получении. Это

Таблица 1

Зависимость допустимого расчетного размера зерен наполнителя от компонентного состава и средней плотности пенобетона

Соотношение Ц:Н	Толщина межпоровой перегородки (над чертой) и допустимый размер зерен наполнителя (под чертой), мкм, при средней плотности пенобетона, кг/м ³						
	1200	1100	1000	900	800	700	600
1:1	$\frac{1980}{390-490}$	$\frac{1200}{240-300}$	$\frac{900}{180-220}$	$\frac{600}{120-150}$	$\frac{450}{90-110}$	$\frac{350}{70-87}$	$\frac{250}{50-62}$
1:1,5	$\frac{1510}{300-380}$	$\frac{780}{155-190}$	$\frac{610}{120-150}$	$\frac{420}{84-105}$	$\frac{280}{56-70}$	$\frac{210}{42-52}$	$\frac{160}{32-40}$
1:2	$\frac{850}{170-210}$	$\frac{540}{108-135}$	$\frac{340}{68-85}$	$\frac{250}{50-62}$	$\frac{150}{30-38}$	$\frac{100}{20-25}$	$\frac{80}{16-20}$

Таблица 2

Показатели свойств конструкционного мелкозернистого пенобетона

Показатель	Марка бетона по средней плотности			
	D1600	D1400	D1200	
Прочность при сжатии (кубиковая) R_m , МПа	14	11	7,6	
Прочность при сжатии (призменная) R_b , МПа	12	10,3	7,5	
Прочность при растяжении R_{br} , МПа	2,3	1,5	0,8	
Модуль упругости, МПа	13600	9900	9200	
Предельная растяжимость ε_{ubr} , мм/м	0,15	0,18	0,2	
Вязкость разрушения K_{Ic} , кН/м ^{3/2}	200	110	60	
Деформации влажностной усадки ε , мм/м	0,8	0,8	0,8	
Марка по морозостойкости	>35	>35	35	
Равновесная влажность, %	3,8	4,1	4,4	
Коэффициент теплопроводности при влажности, Вт/(м·°С)	W=0%	0,38	0,28	0,24
	W=4%	0,52	0,44	0,38

предопределено тем, что применение эффективных воздухововлекающих ПАВ для формирования макропористой структуры создает условия для изготовления бетонов различной средней плотности на одном и том же оборудовании с использованием различных наполнителей, в том числе техногенного происхождения. Относительная простота технологии, возможность отказа от использования тяжелой строительной техники, тепловой обработки обеспечивают реальность эффективного применения пенобетонов в монолитном малоэтажном строительстве в условиях отсутствия развитой производственной инфраструктуры.

Представленные в данной публикации результаты исследований являются обобщением работ авторов по вопросам материаловедения и технологии пенобетонов [2–10].

Основным условием при получении пенобетонов [3, 4] принималось использование широкой номенклатуры наполнителей естественной гранулометрии, что определялось стремлением обеспечить максимальную простоту технологических решений. С учетом этого выполнена оптимизация состава и структуры пенобетонов в диапазоне средней плотности 800–1600 кг/м³ на различных видах природного и техногенного сырья. При этом в качестве критического свойства пенобетонов рассматривалась их эксплуатационная деформируемость, являющаяся, как известно, камнем преткновения при обеспечении трещиностойкости макропористых бетонов нормального твердения. Для полученных разновидностей бетонов достигнуты приемлемые для практики значения величины влажностной усадки [7] при выполнении нормативных требований по прочности и морозостойкости [8].

По результатам выполнения комплекса теоретических и экспериментальных исследований установлены ограничения по размерам зернистых включений для получения пенобетона различной средней плотности. При определении допустимых значений размера зернистых включений принято условие квазиоднородности структуры матричного межпорового материала, что выражается соотношением толщины межпоровой перегородки δ и эквивалентного диаметра включений d_3 , равным $\delta/d_3 \geq 4-5$. Показано, что применение песка естественной гранулометрии с величиной $M_k=1,2-1,7$ представляется возможным и эффективным для бетона средней плотности не ниже 1200 кг/м³, так как только в этом случае характеристики материала начинают отвечать нормативным требованиям. Расчетным путем с использованием критерия $\delta/d_3 \geq 4-5$, экспериментальных данных [3, 4] о соотношении размеров пор воздухововлечения и толщины межпоровой перегородки показано (табл. 1):

– для бетона средней плотности 1000–1200 кг/м³ необходимо использовать наполнители с частицами $d_3=150-200$ мкм, что соответствует удельной площади их поверхности 50–80 м²/кг;

– для бетона плотностью менее 1000 кг/м³ необходимым оказывается применение наполнителей с $d_3 < 150$ мкм и удельной площадью поверхности не менее 100 м²/кг.

Установленные ограничения по размерам зернистых включений дают основание квалифицировать пенобетон средней плотности 1200–1600 кг/м³ как мелкозернистый материал, а при средней плотности 800–1200 кг/м³ – как микрозернистый по структуре материал.

Авторским коллективом реализована программа углубленного комплексного изучения и оценки функ-

Таблица 3

Показатели свойств конструкционно-теплоизоляционного микрозернистого пенобетона

Показатель	Марка бетона по средней плотности						
	на молотом песке		на золе уноса		на пыли уноса		
	D1000	D800	1000	800	D1000	D800	
Прочность при сжатии R_b , МПа	4,5	3,2	5,9	3,5	3,7	2,6	
Прочность при растяжении R_{bt} , МПа	1,2	0,75	1,1	1,85	1,2	0,75	
Модуль упругости, МПа	3900	2200	3650	5000	3400	2200	
Предельная растяжимость ε_{ubl} , мм/м	0,36	0,49	0,34	0,28	0,38	0,41	
Вязкость разрушения K_{Ic} , кН/м ^{3/2}	75	45	79	65	85	55	
Деформации влажностной усадки ε , мм/м	1,5	1,7	2,1	2,2	2,3	2,4	
Марка по морозостойкости	35	35	50	50	35	35	
Равновесная влажность, %	5,7	5,9	8,3	8,9	7,2	8	
Коэффициент теплопроводности при влажности, Вт/(м·°С)	W=0%	0,24	0,16	0,21	0,16	0,22	0,18
	W=12%	0,32	0,28	0,34	0,27	0,36	0,3

Таблица 4

Показатели длительного силового сопротивления пенобетона

Показатель	Структура и марка по средней плотности бетона					
	мелкозернистая			микрозернистая		
	D1200	D1400	D1600	D1200	D1400	D1600
Удельные деформации ползучести $C_{(228, \tau)} \cdot 10^5$, МПа ⁻¹	44,3	25,4	13,9	47,3	27,5	16,2
Характеристика ползучести $\Phi_{(228, \tau)}$	2,45	2,5	1,73	1,97	1,88	1,56
Предельные удельные деформации ползучести $C_{(\infty, \tau)} \cdot 10^5$, МПа ⁻¹	58	29,7	17	53,5	30,4	19
Доля меры ползучести, учитывающая фактор старения бетона $\Delta C^*_{(\infty, \tau)} = (1/E(\tau) - 1/E(\infty)) \cdot 10^5$, МПа ⁻¹	3,9	1,8	1	8,1	3,8	2,6
Удельные деформации упругого последствия $C_{el(p(298, \tau 2))} \cdot 10^5$, МПа ⁻¹	13,8	8,9	5,3	13	8	5,5
Предельные удельные деформации упругого последствия $C_{el(p(\infty, \tau 2))} \cdot 10^5$, МПа ⁻¹	16,1	10	6	14,2	9,2	5,8
Предельный коэффициент релаксации напряжений $N_{(\infty, \tau)}$	0,19	0,21	0,27	0,24	0,28	0,31
Коэффициент упрочнения бетона с учетом предшествующего длительного нагружения $m_{(300, \tau)}$	1,14	1,1	1,12	1,09	1,06	1,1
Коэффициент длительной прочности η_{τ}	0,69	0,7	0,74	0,73	0,69	0,7

циональных свойств полученных разновидностей мелко- и микрозернистых бетонов: показателей сопротивления разрушению (кубиковой прочности R_m , призмочной прочности R_b , прочности на растяжение R_{bt} , модуля упругости E_G), характеристик трещиностойкости (предельной растяжимости ε_{ubl} , критического коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} – вязкости разрушения), влажностной усадки, коэффициента теплопроводности λ , морозостойкости и др. (табл. 2, 3). В результате решена задача конструирования структуры и оптимизации составов конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных цементных пенобетонов средней плотности 800–1600 кг/м³ на основе разнообразного природного и техногенного сырья регионов РФ [10].

Специально в рамках решения задачи по обоснованию возможности использования пенобетона в качестве материала для несущих конструкций был поставлен цикл экспериментов [6] по исследованию процессов ползучести и длительной прочности микро- и мелкозернистых бетонов средней плотности 1200–1600 кг/м³. В результате изучения закономерностей силового сопротивления и деформирования пенобетона предложены

статистически достоверные показатели длительного силового сопротивления пенобетонов различной средней плотности и составов (табл. 4). С учетом выявленных закономерностей установлены связи между напряжениями и деформациями, степень обратимости деформаций ползучести и разработаны научно обоснованные предложения для решения задач в области расчета и проектирования облегченных конструкций из пенобетона. Получены нормируемые характеристики [9] прочности (класс, нормативные и расчетные сопротивления) и деформативности (начальные и длительные модули деформаций, коэффициенты поперечной деформации, предельные значения меры и характеристики ползучести) пенобетонов различных модификаций с учетом их изменчивости, старения бетона и длительности действия нагрузки. Определены значения коэффициентов надежности по материалу, коэффициенты кратковременной и длительной ползучести, а также коэффициенты условия работы. Результаты экспериментально-теоретических исследований обобщены в виде предложений по нормированию расчетных характеристик поризованного бетона и расчету несущей способности сжатых элементов на их основе.

Таким образом, на основании проведенных комплексных системных исследований строительно-технических свойств цементных пенобетонов средней плотности 800–1600 кг/м³ доказана возможность их использования для возведения несущих и ограждающих конструкций малоэтажных зданий. Полученные результаты комплексной оценки прочностных, деформативных, теплотехнических и других свойств дают основание для выводов о возможных рациональных направлениях применения пенобетона различной средней плотности.

Использование бетона средней плотности 1200–1600 кг/м³, теплопроводность которого ниже, чем у традиционных конструктивных материалов сопоставимой прочности, представляется перспективным для монолитного возведения несущих и самонесущих конструкций зданий (внутренних несущих стен, перекрытий, перегородок), так как при этом может быть обеспечено не только снижение материалоемкости конструкций, но и их теплоемкости. Определяющим фактором эффективности и удешевления работ при этом может являться также использование песков естественной гранулометрии при минимальных затратах на их подготовку.

Для бетонов плотностью 800–1000 кг/м³ необходимы, как отмечалось, микродисперсные наполнители – молотый песок с удельной площадью поверхности 150–200 м²/кг или соответствующие тонкодисперсные техногенные отходы. Это несколько усложняет и удорожает технологию, но с учетом обеспечиваемых значений термического сопротивления материала его можно рекомендовать для монолитных ограждающих конструкций в сочетании с эффективными утеплителями.

Результаты научных исследований и разработок нашли реализацию в разработанной авторами технологии «Монопор» [2, 5], основанной на применении нормально твердеющих пенобетонов на различных видах наполнителей. Она создавалась с целью обеспечения предельной автономности, универсальности и мобильности малоэтажного монолитного строительства. Гибкость и универсальность данной технологии заключается, с одной стороны, в возможности строительства на ее основе различных типов малоэтажных зданий с использованием одной и той же номенклатуры материалов и комплекта оборудования. С другой стороны, реализация технологии предусматривает широкое варьирование видов применяемого местного сырья без изменения ее принципов. Реализация технологии основывается на использовании эффективных, дешевых строительных материалов с учетом региональной природно-сырьевой базы.

Список литературы

1. Чернышов Е.М., Акулова И.И., Кухтин Ю.А. Ресурсосберегающие архитектурно-строительные системы для жилых зданий (воронежский опыт) // *Градостроительство*. 2011. № 5. С. 70–73.
2. Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Строительная система «Монопор» // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2000. № 9. С. 20–21.
3. Чернышов Е.М., Славчева Г.С., Потамошнева Н.Д. Поризованные бетоны для теплоэффективных жилых домов // *Известия вузов. Строительство*. № 5. 2002. С. 31–36.
4. Чернышов Е.М., Славчева Г.С., Потамошнева Н.Д. Поризованные бетоны для теплоэффективных жилых домов. Ч. 2 // *Известия вузов. Строительство*. № 9. 2003. С. 27–34.

Технология «Монопор» ориентирована на потребительскую нишу между промышленными и «ручными» технологиями строительства. Ее применение особенно эффективно в условиях отсутствия производственной инфраструктуры, при строительстве малоэтажных зданий жилого и вспомогательного назначения. Данная технология адаптируется к заводским и производственным условиям без изменения ее принципов, позволяет возводить здания в монолитном исполнении, производить строительные детали в построечных и заводских условиях.

Особенности технологии «Монопор»:

1. Автономность, достигаемая исключением сложной производственной инфраструктуры, отказом от применения тяжелой и энергоемкой строительной техники. Необходимое технологическое оборудование, производимое в стране, может быть интегрировано в мобильный комплекс.

2. Мобильность и универсальность – на одном и том же оборудовании без существенной его перенастройки может осуществляться получение пенобетона различного строительного назначения для основных конструктивных элементов зданий. С другой стороны, на этом же оборудовании можно изготавливать пенобетоны на разных видах вяжущего, заполнителя и микронаполнителя.

3. Простота технологических решений, определяемых минимальным числом сырьевых компонентов, несложностью подготовки сырья, минимальным набором технологических переделов при простом аппаратном их оформлении.

4. Малая ресурсо- и энергоемкость, достигаемая посредством использования местного сырья и отходов при малом объеме привозных компонентов, минимизации затрат на подготовку сырьевых составляющих, отказа от тепловой обработки.

Результаты технико-экономической оценки эффективности применения пенобетонов [11] для возведения монолитных конструкций различного функционального назначения на примере малоэтажного здания для Воронежа показали следующее. По сравнению с традиционными сопоставимыми конструкциями из газосиликата и сборного железобетона применение монолитного поризованного бетона позволяет при сопоставимой стоимости сократить затраты на применение машин и механизмов на 30–50%, сократить массу конструкций на 20–60% и расход материалов на 20–40%. И это принципиально важно для строительства в сельских районах, где отсутствует развитая производственная база. Именно поэтому монолитное малоэтажное строительство оказывается той нишей в строительном комплексе, где применение предлагаемых разновидностей пенобетонов представляется наиболее эффективным.

References

1. Chernyshov E.M., Akulova I.I., Kuhtin Y.A. Resource-saving architectural and construction systems for residential buildings (the Voronezh experience). *Gradostroitel'stvo*. 2011. No. 5, pp. 70–73. (In Russian).
2. Chernyshov E.M., Slavcheva G.S. Construction "Monopor-system". *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2000. No. 9, pp. 20–21. (In Russian).
3. Chernyshov E.M., Slavcheva G.S., Potamoshneva N.D. Porous concrete for heat effective houses. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2002. No. 5, pp. 31–36. (In Russian).
4. Chernyshov E.M., Slavcheva G.S., Potamoshneva N.D. Porous concrete for heat effective houses (part 2). *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2003. No. 9, pp. 27–34. (In Russian).
5. Chernyshov E.M., Slavcheva G.S., Potamoshneva N.D. Porous concrete for structures of low buildings. *Stroitel'nye*

5. Чернышов Е.М., Славчева Г.С., Потамошнев Н.Д. Поризованные бетоны для конструкций малоэтажных зданий // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2006. № 5. С. 16–19.
 6. Славчева Г.С., Новиков М.В., Чернышов Е.М. Оценка деформативных свойств поризованных бетонов при длительном действии нагрузки // *Известия Орел ГТУ. Серия «Строительство. Транспорт»*. 2007. № 3/15 (537). С. 136–146.
 7. Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Управление эксплуатационной деформируемостью и трещиностойкостью макропористых (ячеистых) бетонов. Ч. 1. Контекст проблемы и вопросы теории // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 105–112.
 8. Славчева Г.С. Структурные факторы обеспечения морозостойкости цементных пенобетонов // *Строительные материалы*. 2015. № 9. С. 52–56.
 9. Новиков М.В., Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Механические свойства цементного поризованного бетона при одноосном сжатии с учетом закономерностей его ползучести // *Строительные материалы*. 2016. № 11. С. 26–31.
 10. Славчева Г.С., Чернышов Е.М. Алгоритм конструирования структур цементных пенобетонов по комплексу задаваемых свойств // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 58–64.
 11. Славчева Г.С., Котова К.С. Вопросы повышения эффективности применения неавтоклавных ячеистых бетонов (пенобетонов) в строительстве // *Жилищное строительство*. 2015. № 8. С. 44–47.
- materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2006. No. 5, pp. 16–19. (In Russian).
 6. Slavcheva G.S., Novikov M.V., Chernyshov E.M. Assessment of the deformation porous concrete from long action of loading. *Izvestiya Orel GTU. Seriya «Stroitel'stvo. Transport»*. 2007. No. 3/15 (537), pp. 136–146. (In Russian).
 7. Chernyshov E.M., Slavcheva G.S. Control over operational deformability and crack resistance of macro-porous (cellular) concretes: context of problem and issues of theory. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2014. No. 1–2, pp. 105–112. (In Russian).
 8. Slavcheva G.S. Structural factors ensuring the frost resistance of cement foam concretes. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2015. No. 9, pp. 52–56. (In Russian).
 9. Novikov M.V., Chernyshov E.M., Slavcheva G.S. Mechanical properties of cement porous concrete at uniaxial compression with due regard for regularities of its creep. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2016. No. 11, pp. 26–31. (In Russian).
 10. Slavcheva G.S., Chernyshov E.M. Designing of the structures of porous concrete in accordance with the set of the given properties. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2016. No. 9, pp. 58–64. (In Russian).
 11. Slavcheva G.S., Kotova K.S. Questions of increase of efficiency application porous concrete in the building. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Zhilishchnoe Stroitel'stvo]*. 2015. No. 8, pp. 44–47. (In Russian).



НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

22–24 ноября 2017 г. Екатеринбург

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СОВРЕМЕННЫЙ АВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН



Соорганизатор



Генеральный спонсор компания



Конференция приурочена к 10-летию создания Национальной Ассоциации производителей Автоклавного Газобетона, и по традиции затронет широкий круг вопросов отрасли производства автоклавного газобетона:

- Развитие отрасли автоклавного газобетона в условиях спада строительства. Статистика производства. Место на рынке стеновых материалов. Прогноз развития рынка АГБ. Особенности производства и применения на постсоветском пространстве.
- Продажи в условиях кризиса. Стратегия продвижения ячеистого бетона в условиях развития конкурентных стеновых материалов. Конкуренция внутри отрасли. Развитие методик продаж.
- Оптимизация производства автоклавного газобетона. Применение новых материалов, оборудования и технологий, позволяющих сократить производственные издержки и повысить качество выпускаемой продукции. Информационные технологии как инструмент для оптимизации производства.
- Расширение номенклатуры выпускаемой продукции. Новая продукция из автоклавного газобетона. Изменение формы блока с целью повышения герметичности кладки. Плиты и перемычки из АГБ. Теплоизоляционные ячеистые бетоны автоклавного твердения: особенности производства, существующие и потенциальные области применения. Сборно-монолитные перекрытия с внешним армированием растянутой зоны тонкостенной несъемной опалубкой.

- Совершенствование методов испытания автоклавного газобетона. Оценка прочности при испытании блоков, уточнение масштабных коэффициентов.
- Исследование процессов формирования газобетонной структуры. Изучение физических процессов, протекающих при автоклавной обработке газобетона. Модификация состава и структуры введением комплексных добавок.
- Проблемы применения автоклавного газобетона. Изучение трещинообразования в конструкциях из автоклавного газобетона, выработка методов повышения трещиностойкости. Применение в помещениях с влажными и мокрыми режимами эксплуатации. Армирование кладки из АГБ. Материалы для армирования.
- Пенополиуретановый клей как альтернатива цементно-песчаным смесям. Опыт применения и ассортимент ППУ-составов. Оценка прогнозной долговечности ППУ кладочного шва в АГБ кладке. Прочностные и деформационные характеристики кладки АГБ на пенополиуретановом клее.
- Изменение нормативной базы производства и применения АГБ.

Оргкомитет конференций: +7 904 634 38 88; e-mail: as@gazo-beton.org; http://gazo-beton.org; http://naag.pf. Контактное лицо: Анастасия Смирнова

УДК 691.335

С.Н. ЛЕОНОВИЧ¹, д-р техн. наук (SLeonovich@mail.ru); Д.В. СВИРИДОВ², д-р техн. наук (sviridov@bsu.by),
 А.Л. БЕЛАНОВИЧ², канд. хим. наук (lab508@mail.ru), В.П. САВЕНКО², ст. научн. сотрудник,
 С.А. КАРПУШЕНКОВ², канд. хим. наук (karpushenkov@bsu.by)

¹ Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, Республика Беларусь)

² Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр. Независимости, 4, Республика Беларусь)

Сухая смесь для получения жаростойкого пенобетона

Разработан состав сухой смеси на основе двухкомпонентного вяжущего (глиноземистого цемента и глины месторождения Кустиха), минеральных добавок (метакаолин, сульфалоуминатный модификатор РСАМ, отходы базальтового волокна), пенообразователя и ускоряющей и пластифицирующей добавки. При затворении смеси водой при водотвердом отношении 0,45–0,7, последующем механическом вспучивании и отверждении пеномассы формируются жаростойкие пенобетоны плотностью 300–650 кг/м³ (в зависимости от В/Т отношения) прочностью при сжатии 0,2–2,5 МПа до прогрева. Данные составы приобретают начальную прочность за счет процессов гидратационного твердения глиноземистого цемента, что обеспечивает фиксирование пористой структуры пенобетонов. Конечную прочность 0,3–3,2 МПа они набирают после отжига при 1000°C. За счет процессов твердофазного спекания глины с другими компонентами сухой смеси при их нагревании до 1000°C происходит увеличение прочности в отличие от пенобетонов на основе портландцемента и глиноземистого цемента. Введение в состав сухой смеси ускоряющей и пластифицирующей добавки приводит к повышению реологических свойств пеномассы и сокращению времени ее схватывания и твердения. Установлена существенная роль В/Т при получении пенобетонов: с повышением В/Т от 0,45 до 0,7 увеличивается объем пеномассы после вспучивания, неоднородность пор и их размеры, что приводит к уменьшению плотности пенобетонов и прочности при сжатии.

Ключевые слова: сухая смесь, жаростойкий пенобетон, минеральные добавки, пенообразователь, ускорители, пластифицирующая добавка.

Для цитирования: Леонович С.Н., Свиридов Д.В., Беланович А.Л., Савенко В.П., Карпушенко С.А. Сухая смесь для получения жаростойкого пенобетона // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 25–29.

S.N. LEONOVICH¹, Doctor of Sciences (Engineering) (SLeonovich@mail.ru); D.V. SVIRIDOV², Doctor of Sciences (Engineering) (sviridov@bsu.by),
 A.L. BELANOVICH², Candidate of Sciences (Chemistry) (lab508@mail.ru), V.P. SAVENKO², Engineer,
 S.A. KARPUSHENKOV², Candidate of Sciences (Chemistry) (karpushenkov@bsu.by)

¹ Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosty Avenue, Minsk, 220013, Republic of Belarus)

² Belarusian State University (4, Nezavisimosty Avenue, Minsk, 220030, Republic of Belarus)

A Dry Mix for Producing Refractory Foam Concrete

The composition of the dry mix on the basis of a two-component binder (aluminous cement and clay of "Kustikha" deposit), mineral additives (metakaolin, sulfoaluminate modifier RSAM, waste of basalt fiber), foaming agent Ufapore, and accelerating and plasticizing additive "Citrate-T" has been developed. When mixing the mix with water at the water-solid ratio of 0.45–0.7, subsequent mechanical blowing out and hardening of foam mass, refractory foam concretes of 300–650 kg/m³ density (depending on WATER/AGGREGATE (W/A) ratio, compression strength of 0.2–2.5 MPa before heat treatment, are formed. These compositions obtain the initial strength due to the processes of hydration hardening of aluminous cement that provides the formation of porous structure of foam concretes. The final strength of 0.3–3.2 MPA they gain after burning at 1000°C. Due to the processes of solid-phase sintering of clay with other components of the dry mix during the heating up to 1000°C, the strength is improved, unlike foam concretes on the basis of Portland cement and aluminous cement. Introduction of the accelerating and plasticizing "Citrate-T" to the dry mix leads to improving rheological properties of the foamed mass and reducing the time of its setting and hardening. The significant role of W/A when producing foam concretes is established: increasing W/A from 0.45 to 0.7 increases the volume of foam mass after blowing out, inhomogeneity of pores and their sizes that leads to reducing the density of foam concretes and compression strength.

Keywords: dry mixture, refractory foam concrete, mineral additives, foam former, accelerators, plasticizing additive.

For citation: Leonovich S.N., Sviridov D.V., Belanovich A.L., Savenko V.P., Karpushenkov S.A. A dry mix for producing refractory foam concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 25–29. (In Russian).

Одна из актуальных материаловедческих задач заключается в создании эффективных и недорогих теплоизоляционных материалов для улучшения теплозащиты конструкций, работающих в условиях высокотемпературного нагрева.

Пенобетон, без сомнения, один из самых перспективных и привлекательных строительных материалов. При низкой себестоимости этот экологически чистый материал обладает высокими теплоизоляционными параметрами, низкой плотностью, огнестойкостью и является одним из эффективных жаростойких материалов.

Глиноземистый и высокоглиноземистый цементы широко используют при изготовлении современных футеровочных огнеупорных композиций [1, 2]. Эти цементы отличает сочетание свойств, необходимых для изготовления жаростойких ячеистых материалов: высокая начальная скорость твердения, способствующая получению качественной пористой структуры, огнеупорность и высокая прочность. Однако использование глиноземистых цементов в составах ячеистых бетонов, которые изготавливаются по пенной технологии, со-

пряжено с рядом проблем: глиноземистые цементы значительно снижают устойчивость пены в процессе получения пенобетонной смеси; бетоны на глиноземистых цементах характеризуются значительным снижением прочности в диапазоне рабочей температуры большинства промышленных печей [2].

Технология и свойства газо- и пенобетонов практически идентичны. Основным недостатком пенобетонов является применение пенообразователей, большинство из которых являются сильными замедлителями твердения цементов, особенно на стадии набора пластической прочности. Однако пенобетоны отличает более «мягкая» и равномерная пористость и при прочих равных условиях более высокая прочность [3].

В настоящее время существуют разнообразные рецептурные композиции и различные добавки, технологические приемы и оборудование, позволяющее совершенствовать производство пенобетонных изделий [4]. Одним из перспективных направлений повышения технологической эффективности пенобетонов является получение сухих смесей для их производства [5].

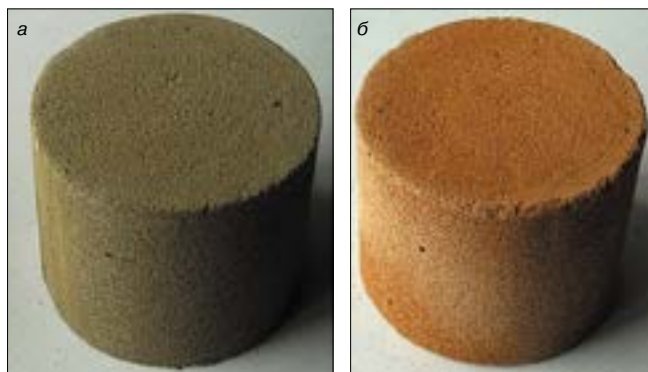


Рис. 1. Образцы жаростойкого пенобетона после сушки при 110°C (а) и отжига при 1000°C (б)

Анализ современного состояния производства сухих строительных смесей показывает, что в их разнообразной номенклатуре практически отсутствуют минеральные вспучивающиеся композиционные материалы. Мировой и отечественный опыт использования сухих смесей в строительстве подтверждает их высокую эффективность и преимущества по сравнению с традиционными методами проведения работ. Привлекательность сухих смесей для потребителей заключается в том, что они являются практически готовыми к употреблению, удобно расфасованы и при правильной эксплуатации длительное время сохраняют свои свойства. В связи с этим исследования, направленные на разработку технологии получения сухих смесей для изготовления жаростойких пенобетонов и изучение их свойств, являются актуальными.

Целью данного исследования явилась разработка состава сухой смеси для изготовления жаростойких пенобетонов с использованием двухкомпонентного вяжущего.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: изучить физико-химические процессы структурообразования при применении двухкомпонентного вяжущего при получении жаростойких пенобетонов; исследовать влияние твердого пенообразователя и минеральных добавок на плотность, структуру и прочностные характеристики пенобетонов при нагревании до 1000°C; установить оптимальные их концентрации; разработать состав сухой смеси.

За основу разработки сухой смеси для получения жаростойкого пенобетона использовали двухкомпонентное вяжущее – глиноземистый цемент ГЦ-40 и глину из месторождения Кустиха (Гомельская обл.), предварительно высушенную при 150°C и измельченную в шаровой мельнице до остатка на сетке № 0,25.

В процессе выполнения экспериментальной работы установлено, что в отличие от традиционных пенобетонов (в частности, на основе портландцемента и глиноземистого цемента), теряющих прочность уже при температуре 600–800°C, пенобетоны на основе двухкомпонентного вяжущего приобретают начальную прочность за счет процессов гидратационного твердения глиноземистого цемента, обеспечивающих фиксирование пористой структуры пенобетонов и набирающих конечную прочность за счет процессов твердофазного спекания глины и отходов огнеупорных материалов (шамот) при их нагревании, которые не снижают свою прочность, а наоборот, увеличивают.

Поскольку глиноземистый цемент состоит в основном из низкоосновных алюминатов кальция, при гидратации с течением времени гидроалюминаты обогащаются оксидом кальция и выделяется дополнительное количество гидроксида алюминия. При этом меня-

ется габитус кристаллов гидроалюминатов, а гидроксид алюминия кристаллизуется. Процессы перекристаллизации гидроалюминатов протекают быстрее, чем гидросиликатов кальция в портландцементе. Гели алюминатов кальция характеризуются явно выраженной тиксотропией и проявляют свойства упруговязкопластичных тел, что весьма важно в технологии пенобетонов. На пенообразующую способность и устойчивость получаемых пен также влияет изменение pH водной фазы и ионов, образующихся в результате гидратации цемента [6].

Пенобетон получали путем механического перемешивания (300 об/мин) сухой смеси с водой при В/Т отношении 0,45–0,7 в течение 5 мин и последующего вспучивания растворной смеси с помощью миксера (2000 об/мин) в течение 2 мин и отверждения вспученной массы.

Установлено, что наибольшей стабильностью обладает вспененная пеномасса при использовании твердого порошкообразного пенообразователя Ufarore при его концентрации 0,5–1%. Устойчивость вспененной массы во времени сохраняется в течение 20–30 мин, а затем начинается ее осадка с уменьшением объема на 30–35%.

Известно [7], что чем больше степень гидратации глиноземистого цемента за один и тот же промежуток времени, тем выше пересыщение гелеобразной жидкой фазы. Последнее позволяет эффективно влиять не только на скорость схватывания и твердения цементного раствора, но и на процесс управления структурообразованием и поддерживать постоянные условия формирования жидкой фазы на весь период роста структуры. Это может быть достигнуто за счет добавок, введенных в состав цементного теста, т. е. веществ, увеличивающих взаимодействие цементного клинкера с водой затворения или способствующих увеличению скорости вывода некоторых продуктов гидратации из среды взаимодействия с водой.

К таким добавкам, как установлено в работах [8, 9], следует отнести цитрат натрия, который обеспечивает высокую начальную прочность разрушения клинкерных материалов цемента и одновременно способствует созданию пересыщенной жидкой гелеобразной фазы. Скорость насыщения последней определяется не только концентрацией цитрата натрия, но и количеством воды затворения. Кроме того, присутствующий в процессе гидратации цемента цитрат натрия обеспечивает образование в гелеобразной фазе ультрамалых частиц гидроалюминатов, которые находятся частично или полностью в рентгеноаморфной форме. Аморфизация гидратов сопровождается увеличением щелочности среды и их дисперсности. Последнее приводит к существенному упрочнению цементного камня.

Для повышения устойчивости пеномассы во времени в состав сухой смеси вводили добавку «Цитрат-Т» на основе цитрата натрия в количестве 1,7% [8], которая позволяет улучшить реологические свойства вспененной смеси: увеличить ее подвижность (расплав миниконуса в присутствии добавки составляет 60–80 мм, в то время как без нее 40–45 мм), повысить устойчивость пеномассы (осадки пеномассы не наблюдается вплоть до ее схватывания) и ускорить время схватывания (5 ч) и твердения (10 ч) по сравнению с пенобетоном без добавки «Цитрат-Т» (24 ч и более).

С целью увеличения термической стойкости пенобетонов при последующем их высокотемпературном нагреве и сокращения глиноземистого цемента в составе сухой смеси добавляли мелкодисперсную глину и отходы огнеупорных материалов (шамот). В качестве глинистой составляющей двухкомпонентного вяжущего были опробованы глины из различных месторождений Республики Беларусь (Гайдуковка, Осетки, Кустиха,

Лукомль). Для установления возможности использования глины определенного месторождения были проведены экспериментальные исследования по оценке ее влияния на устойчивость пеномассы, сроки схватывания и твердения и свойства пенобетонов при их нагревании до 1000°C. Исследования показали, что при использовании мелкодисперсной глины месторождения Кустиха (химический состав, мас. %: SiO₂ – 65; Al₂O₃ – 12,58; Fe₃O₄ – 4,4; TiO₂ – 0,78; CaO – 4,48; MgO – 1,0; K₂O – 1,85; Na₂O – 0,37; SO₃ – 0,17 [10]) вспененная пеномасса отличается большей устойчивостью и однородностью мелких пор, чем при использовании глин других месторождений.

Анализ экспериментальных данных показал, что дальнейшее улучшение огневых свойств пенобетонов может быть достигнуто за счет использования наполнителя, полученного измельчением отходов шамота. Установлено оптимальное содержание глиноземистого цемента, глины «Кустиха» и отходов шамота в составе сухой смеси. Предпочтительным и являются составы, содержащие ГЦ-40 в количестве 25–30%, глины 25–30% и шамота 25–30%. Такие составы характеризуются оптимальным сочетанием прочности при сжатии пенобетонов после естественного твердения (2–2,5 МПа) и после их нагрева до 1000°C (3–3,2).

Как известно [6], глиноземистый цемент отличается быстрым ростом прочности, особенно в начальные сроки твердения цементного камня. К его недостаткам следует отнести снижение прочности при длительном твердении. Причиной падения прочности цементного камня является перекристаллизация гексагональных гидроалюминатов в кубическую форму. Установлено [11], что большое влияние на перекристаллизацию гидроалюминатов кальция из гексагональной формы в кубическую оказывает пересыщение по CaO поровой жидкости цементного камня. Исследование процесса гидратации глиноземистых цементов с добавкой метаксаолина показало увеличение скорости гидратации глиноземистого цемента и отсутствие перекристаллизации гидроалюминатов кальция [12]. Введение метаксаолина в глиноземистый цемент приводит к стабилизации гексагональных гидроалюминатов кальция при длительном твердении глиноземистого цемента, что позволило рекомендовать композиционный состав (глиноземистый цемент с добавкой 5% метаксаолина) для приготовления сухой смеси.

Также было установлено, что при вспучивании сухой смеси на основе глиноземистого цемента, глины «Кустиха», шамота и метаксаолина, содержащей добавку цитрата натрия и пенообразователь, при В/Т 0,45–0,7 формируются пенобетоны плотностью 300–600 кг/м³, при сушке которых через 5–10 сут образуются усадочные трещины за счет образования большого количества этtringита на единицу объема пенобетона [6]. Снижение количества этtringита может быть достигнуто за счет связывания гидроксида кальция в процессе начального структурообразования пенобетона в труднорастворимые соединения.

В работах [13, 14] приводятся данные об использовании в составе ячеисто-бетонных смесей добавки РСАМ, представляющей собой расширяющийся сульфалоюминатный модификатор, который дает возможность придать цементу такие свойства, как обеспечение компенсации усадочных деформаций и повышение прочности.

Установлено, что добавка РСАМ обладает расширяющим эффектом и в пенобетоне на основе двухкомпонентного вяжущего – глиноземистого цемента и глины «Кустиха», что позволяет использовать ее для компенсации усадки в присутствии добавки «Цитрат-Т».

Определена граничная концентрация РСАМ в количестве 15% от массы глиноземистого цемента, введение

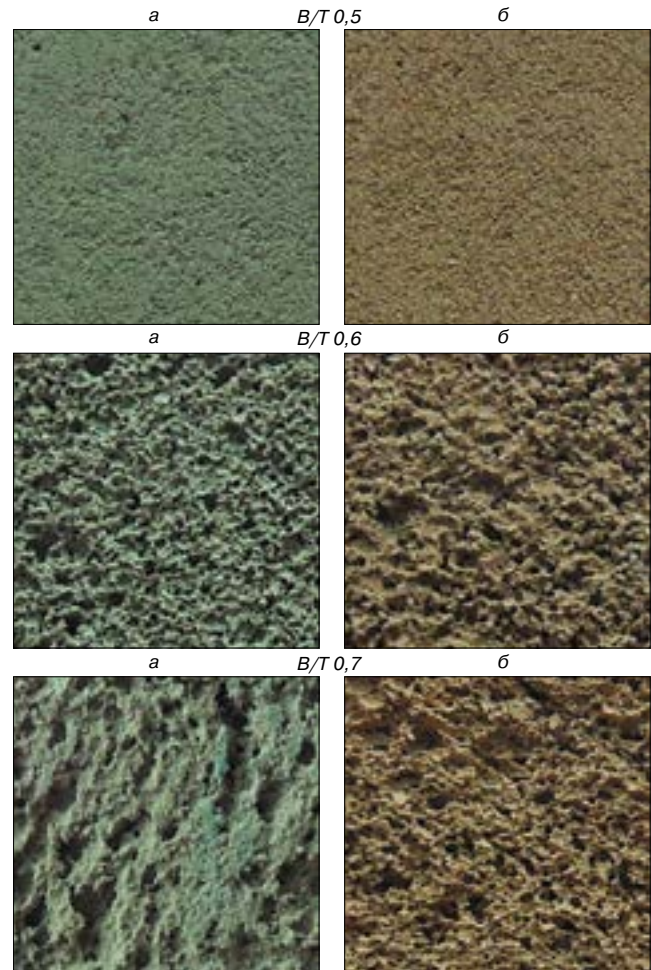


Рис. 2. Морфология поверхности сколов пенобетонов после сушки при 110°C (а) и обжига при 1000°C (б) в зависимости от соотношения В/Т. Увеличение $\times 8$

которой в сухую смесь обеспечивает проявление расширяющего эффекта при получении жаростойкого пенобетона.

Расширение области эффективного применения жаростойких пенобетонов возможно за счет дисперсного армирования волокнами минерального происхождения. Добавление в пенобетон волокна не может изменить ни плотность, ни теплопроводность материала. Однако это может сказаться на прочностных показателях. Одним из основных недостатков пенобетона является его высокая хрупкость. Кроме того, для жаростойких пенобетонов характерны усадочные деформации при нагревании, что приводит к появлению в них трещин, которые в дальнейшем ведут к разрушению всего материала. Для улучшения свойств жаростойких пенобетонов целесообразно дисперсное армирование минеральными волокнами, в частности базальтовыми. Базальтовое волокно является побочным продуктом получения базальтового ровинга. В работах [15, 16] установлено, что на границе пеноцементной массы и базальтового волокна, находящегося в аморфном состоянии, происходит хемосорбционное взаимодействие с появлением дополнительных новообразований, относящихся к низкоосновным гидросиликатам кальция. На поверхности тонких базальтовых волокон в местах механических дефектов создаются центры кристаллизации с образованием сети гексагональных пластин и игольчатых кристаллов, срастающихся со сферическими зернами цементной системы, дополнительно усиливая действия волокон как дисперсной арматуры.

Рассмотрев эффективность используемых компонентов сухой смеси для получения жаростойких пенобетонов, было проведено экспериментальное исследование по оптимизации состава сухой смеси, установлению оптимальных концентраций компонентов и влиянию состава на физико-химические свойства пеномассы и пенобетона. Установлено, что оптимальными концентрациями минеральных добавок в составе сухой смеси на основе глиноземистого цемента, глины «Кустиха» и шамота при их соотношении 1:1:1 являются, мас. %: метакаолин – 5; РСАМ – 5; базальтовое волокно – 3,2; добавка «Цитрат-Т» – 1,7 и пенообразователь Ufarogre 0,5. Из такого состава сухой смеси можно получить жаростойкий пенобетон без возникновения усадочных трещин плотностью 300–650 кг/м³ в зависимости от В/Т отношения (0,45–0,7) и прочностью при сжатии 0,2–2,5 МПа при естественном отверждении и 0,3–3,2 МПа после прогрева при 1000°С. Пенобетон при естественном отверждении имеет серый цвет, а после прогрева при 1000°С за счет твердофазного спекания глины с компонентами сухой смеси – красно-коричневый (рис. 1).

При определении В/Т важно учитывать, что одна часть воды затворения необходима для образования пены, а другая – для гидратации вяжущих и растворения твердых добавок и перерасход или нехватка воды в значительной степени ухудшает структуру пенобетона. Уменьшение В/Т позволяет повысить плотность и прочность пенобетонов, но при этом ухудшаются реологические свойства пеномассы. При повышении В/Т отношения наблюдается осадка пеномассы и уменьшение плотности и прочности пенобетонов. Установлено, что диапазон оптимального В/Т достаточно узок. При значениях В/Т меньше 0,45 процесс

формирования пенобетонной смеси осуществить невозможно. Если В/Т превышает 0,7, снижается однородность пор пенобетонной смеси (размеры пузырьков колеблются от 0,1 до 3 мм), на 30–40% увеличивается объем пеномассы после вспучивания и значительно уменьшается плотность пенобетона до 250–300 кг/м³ и его прочность (0,2–0,3 МПа).

Как видно из приведенных на рис. 2 фотографий морфологии поверхности сколов пенобетона после естественного твердения в течение 28 сут (а) и прогретых при 1000°С (б), с увеличением В/Т отношения от 0,45 до 0,7 увеличивается неоднородность пор и их размеры и не наблюдается усадочных трещин даже после прогрева при 1000°С.

Таким образом, в результате проведенной работы разработан состав сухой смеси на основе двухкомпонентного вяжущего (глиноземистого цемента и глины «Кустиха»), минеральных добавок (метакаолин, сульфоалюминатный модификатор РСАМ, отходы базальтового волокна), пенообразователя Ufarogre и ускоряющей и пластифицирующей добавки «Цитрат-Т», при затворении которой водой при В/Т отношении 0,45–0,7, последующем механическом вспучивании и отверждении пеномассы формируются жаростойкие пенобетоны плотностью 300–650 кг/м³ и прочностью при сжатии 0,2–3,2 МПа. Они приобретают начальную прочность за счет процессов гидратационного твердения глиноземистого цемента и набирают конечную прочность за счет процессов твердофазного спекания глины «Кустиха» с другими компонентами сухой смеси при их нагревании до 1000°С, которые в отличие от пенобетонов на основе портландцемента и глиноземистого цемента не снижают своей прочности, а наоборот, увеличивают.

Список литературы

1. Горлов Ю.П., Еремин Н.Ф., Седунов Б.У. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы. М.: Стройиздат, 1976. 192 с.
2. Горин В.М., Сухов В.Ю., Нехаев П.Ф., Хлыстов А.И., Рязов Р.Т. Легкий жаростойкий бетон ячеистой структуры // *Строительные материалы*. 2003. № 8. С. 17–19.
3. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. М.: Стройиздат, 1980. 316 с.
4. Юдин А.Н., Ткаченко Г.А., Измайлова Е.В. О методике проектирования состава неавтоклавных пенобетонов с одностадийным приготовлением ячеистой смеси // *Известия вузов. Строительство*. 2001. № 7. С. 21–25.
5. Кройчук Л.А. Опыт изготовления и использования сухих растворных смесей зарубежом // *Строительные материалы*. 2000. № 9. С. 16–17.
6. Кузнецова Т.В. Алуминатные и сульфоалюминатные цементы. М.: Стройиздат, 1986. 207 с.
7. Кривенко П.В., Скурчинская Ж.В., Демьянова Л.Е. и др. Гидратационно-дегидратационный процесс получения искусственного камня на основе щелочных алюмосиликатных связей // *Цемент*. 1993. № 3. С. 39–40.
8. Леонович С.Н., Свиридов Д.В., Беланович А.Л., Шукин Г.Л., Савенко В.П., Карпушенков С.А. Продление срока годности растворных смесей // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 74–77.
9. Патент РБ 18077. Способ получения ускорителя твердения для бетонов и строительных растворов / Савенко В.П., Шукин Г.Л., Леонович С.Н.,

References

1. Gorlov Yu.P., Eremin N.F., Sedunov B.U. Ogneupornie i teploizolyacionnie materialy [Fire-resistant and heat-insulating materials]. Moscow: Stroyizdat. 1976. 192 p.
2. Gorin V.M., Suhov V.Yu., Nehaev P.F., Hlistov A.I., Riyazov R.T. Light heat-resistant concrete of cellular structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2003. No. 8, pp. 17–19. (In Russian).
3. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Ustenko A.A. *Technologiya teploizolyacionnih materialov* [Technology of heat-insulating materials]. Moscow: Stroyizdat. 1980. 316 p.
4. Yudin A.N., Tkachenko G.A., Izmailova E.V. About a technique of composition design of not autoclave foam concretes with single-stage preparation of cellular mix. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2001. No. 7, pp. 21–25. (In Russian).
5. Kroichuk L.A. Experience of production and use dry cement mixes abroad. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2003. No. 9, pp. 16–17. (In Russian).
6. Kuznetsova T.V. *Aluminatnie i sulfoaluminatnie tseменты* [The aluminous and sulfoaluminous cements]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 207 p.
7. Krivenko P.V. Hydration and dehydration process of receiving an artificial stone on the basis of the alkaline and silicate binding. *Cement*. 1993. No. 3, pp. 39–40. (In Russian).
8. Leonovich S.N., Sviridov D.V., Belanovich A.L., Shchukin G.L., Savenka V.P., Karpushenkov S.A. Prolongation of working life of mortar mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10, pp. 74–77. (In Russian).
9. Patent RB No. 18077. *Sposob polucheniya uskoritelya tverdeniya dlya betonov i stroitel'nykh rastvorov* [Method

- Свиридов Д.В., Беланович А.Л., Радюкевич П.И., Карпушенков С.А. Заявл. 12.04.2012. Опубл. 30.04.2014. Бюл. № 2.
10. А.С. СССР 1715750. Сырьевая смесь для производства керамзита / Бетиков И.Е., Демидович Б.К. Заявл. 07.07.1989. Опубл. 29.02.1992. Бюл. № 8.
 11. Самченко С.В., Кривобородов Ю.Р., Влияние дисперсности специального цемента на структуру твердеющего камня // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2003. № 5. Ч. 11. С. 238–240.
 12. Кузнецова Т.В., Нефедьев А.П., Коссов Д.Ю. Кинетика гидратации и свойства цемента с добавкой метаксаолина // *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 3–4.
 13. Безрукова Т.Ф. Добавки в ячеистый бетон. М.: ВНИИЭСМ, 1990. 37 с.
 14. Сердюк В.Р., Вахитов С.Г. Интенсификация структурообразования и твердения ячеистых бетонов // *Промышленность строительных материалов. Сер. 8: Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих*. 1983. Вып. 11. С. 13–15.
 15. Василевская Н.Г., Енгджиевская И.Г., Калугин И.Г. Цементные композиции, дисперсно-армированные базальтовой фиброй // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2011. № 3. С. 153–158.
 16. Василевская Н.Г., Енгджиевская И.Г., Калугин И.Г. Управление структурой ячеистых фибробетонов // *Известия вузов. Строительство*. 2010. № 11–12. С. 17–20.
- of obtaining the hardener for the concretes and the mortars] Savenka V.P., Shchukin G.L., Leonovich S.N. et al. Declared 12.04.2012. Published 30.04.2014. Bulletin No. 2. (In Russian).
10. Patent Soviet Union No. 1715750. *Syr'evaya smes' dlya proizvodstva keramzita* [Raw mix for production of expanded clay] Betikov I.E., Demidovich B.K. Declared 07.07.1989. Published 29.02.1992. Bulletin No. 8. (In Russian).
 11. Samchenko S.V., Krivoborodov Yu.R. Influence of dispersion of special cement on structure of the hardening stone. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2003. No. 5. Part. 11, pp. 238–240. (In Russian).
 12. Kuznetsova T.V., Nefed'ev A.P., Kossov D.Yu. Kinetics of hydration and properties of cement with metakaolin addition. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2015. No. 7, pp. 3–4. (In Russian).
 13. Bezrukova T.F. *Dobavki v yacheistii beton* [Additives in cellular concrete]. Moscow: VNIIESM. 1990. 37 p.
 14. Serdyuk V.R., Vahitov S.G. *Intensification of structurization and curing of cellular concrete. Industry of construction materials. Ser. 8: Industry of autoclave materials and local swellings*. 1983. Vol. 11, pp. 13–15. (In Russian).
 15. Vasilevskaya N.G., Engdzhievskaya I.G., Kalugin I.G. The cement compositions reinforced by a disperse basalt fiber. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2011. No. 3, pp. 153–158. (In Russian).
 16. Vasilevskaya N.G., Engdzhievskaya I.G., Kalugin I.G. Management of cellular fibrobeton. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2010. No. 11–12, pp. 17–20. (In Russian).

17-я международная конференция BALTIMIX–2017

г. Казань, «Казанская Ривьера»

28–30 августа 2017 г.

ОРГАНИЗАТОРЫ:

Компания «Квинтет»

Московский Государственный Строительный Университет (МГСУ)

Санкт-Петербургский Государственный Архитектурно-Строительный Университет (СПбГАСУ)



ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

- Рынок ССС РФ: итоги полугодия и краткосрочные перспективы.
- Передовые технологии фасовки, паллетирования и упаковки сухих смесей.
- Техника и решения для механизации отделочных работ.
- Конкурентная ситуация на российском рынке ССС.
- Рынок наружных систем теплоизоляции.
- Внедрение высокотехнологичных решений на производствах ССС.
- Состояние российского рынка цемента, извести и микрокальцита.
- Использование специальных химических добавок для оптимизации рецептур ССС.
- Сухие строительные смеси специального назначения.
- ССС для реставрации, ремонта и санирования зданий.
- Эффективные транспортные решения для производства ССС.

За дополнительной информацией обращаться в компанию «Квинтет»:

Контакт: Мария Суслова Тел./факс: (812) 703-10-19

E-mail: msuslova@baltimix.ru Сайт: www.baltimix.ru, балтимикс.рф

В.Н. ДЕРКАЧ, д-р техн. наук (v-derkach@yandex.ru)

Филиал Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС» «Научно-технический центр» (Республика Беларусь, 224023, г. Брест, ул. Московская, 267/2)

Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах

Часть 2. Прочность на растяжение при изгибе

Приведены результаты экспериментальных исследований на растяжение при изгибе образцов каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков на тонкослойных полиуретановых швах. На основании экспериментальных исследований выявлены особенности разрушения опытных образцов, получены значения прочности каменной кладки на растяжение при изгибе по перевязанному и неперевязанному сечениям. Определена степень анизотропии прочности на растяжение при изгибе кладки на полиуретановых швах. Установлено, что при действии изгибающего момента перпендикулярно плоскости кладки на полиуретановых швах ее разрушение происходит в результате исчерпания прочности материала блока на растяжение. Выполнено сопоставление полученных результатов с результатами экспериментальных исследований каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков на тонкослойных клеевых полимерцементных швах. Показано отличие в характере разрушения образцов кладки на полимерцементном клеевом растворе и на клей-пене, а также их прочностных характеристик на растяжение при изгибе.

Ключевые слова: каменная кладка, ячеисто-бетонные блоки, полиуретановый клей, прочность на растяжение при изгибе, перевязанное сечение, неперевязанное сечение.

Для цитирования: Деркач В.Н. Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах. Часть 2. Прочность на растяжение при изгибе // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 30–33.

V.N. DERKACH, Doctor of Sciences (Engineering) (v-derkach@yandex.ru),

Branch of Republican Unitary Enterprise "Institute BelNIIS", "Scientific-Technical Center" (267/2, Moskovskaya Street, Brest, 224023, Republic of Belarus)

Strength and Deformability of Stone Masonry Made of Cellular Concrete Blocks of Autoclaved Hardening with Polyurethane Joints. Part 2. Bending Tensile Strength

Results of the experimental study of bending tensile of the samples of stone masonry made of cellular-concrete blocks with thin-layer polyurethane joints are presented. On the basis of experimental studies, peculiarities of the destruction of experimental samples have been revealed, values of bending tensile strength of stone masonry along bound and unbound sections have been obtained. The level of anisotropy of bending tensile strength of the masonry with polyurethane joints has been determined. It is established that when the bending moment acts perpendicular to the plane of the masonry with polyurethane joints, its destruction is due to the exhaustion of tensile strength of block's material. The comparison of results obtained with results of the experimental study of the stone masonry made of cellular concrete blocks with thin-layer glue polymer-cement joints has been made. The difference in the destruction nature of masonry samples on polymer-cement glue solution and adhesive foam as well as their strength characteristics at tensile bending are shown.

Keywords: stone masonry, cellular-concrete blocks, polyurethane glue, ending tensile strength, bound section, unbound section.

For citation: Derkach V.N. Strength and deformability of stone masonry made of cellular concrete blocks of autoclaved hardening with polyurethane joints. Part 2. Bending tensile strength. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 30–33. (In Russian).

Работа каменной кладки при изгибе в плоскости перпендикулярной плоскости стен встречается во многих случаях практики, например:

- в наружных несущих и самонесущих стенах зданий при ветровых и особых воздействиях;
 - во внутренних стенах при нагрузке от веса закрепленных на стенах тяжелых предметов, мебели.
- В EN 1991-1-1 содержатся указания, согласно которым внутренние стены должны рассчитываться на действие линейной равномерно распределенной переменной нагрузки, приложенной на высоте 1,2 м от уровня пола, характеристические значения которой зависят от категории и использования помещений и могут достигать 5 кН/м;
- в стенах подвалов и подпорных стенах, подвергающихся горизонтальному давлению и др.

Отдельно следует отметить поэтажно опертые стеновое ограждение многоэтажных каркасных зданий, которые получили массовое применение в современной строительной практике. Наружные стены таких зданий подвергаются значительным ветровым воздействиям. В зависимости от способа закрепления стенового ограждения к конструкциям каркаса сопротивление стены изгибу может определяться прочностью кладки на растяжение при изгибе как

по перевязанному, так и по неперевязанному сечениям [1–5]. В то же время СНиП II-22–81 и СП 15.13330 не допускают проектирования элементов каменных конструкций, работающих на изгиб по неперевязанному сечению.

В последнее время при возведении стенового заполнения каркасных зданий начали находить применение кладки из эффективных стеновых материалов на однокомпонентной полиуретановой клей-пене. При этом прочностные показатели данных кладок на растяжение при изгибе в действующих нормативных документах отсутствуют. Указанное обстоятельство определило необходимость проведения настоящих исследований.

Опытные образцы кладки выполнялись из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения плотностью D400, размерами 600×400×250 мм. Среднее значение приведенной прочности блоков при сжатии f_b , установленное в соответствии с СТБ EN 772–1, составило 2,5 МПа.

Кладка ячеисто-бетонных блоков производилась на однокомпонентную полиуретановую клей-пену торговой марки «TITAN PROFESSIONAL» производства Республики Польша, которая наносилась тремя полосами на опорную и стыковую поверхности блока. В соответствии с требованиями СТБ EN 1052–2 было изготов-

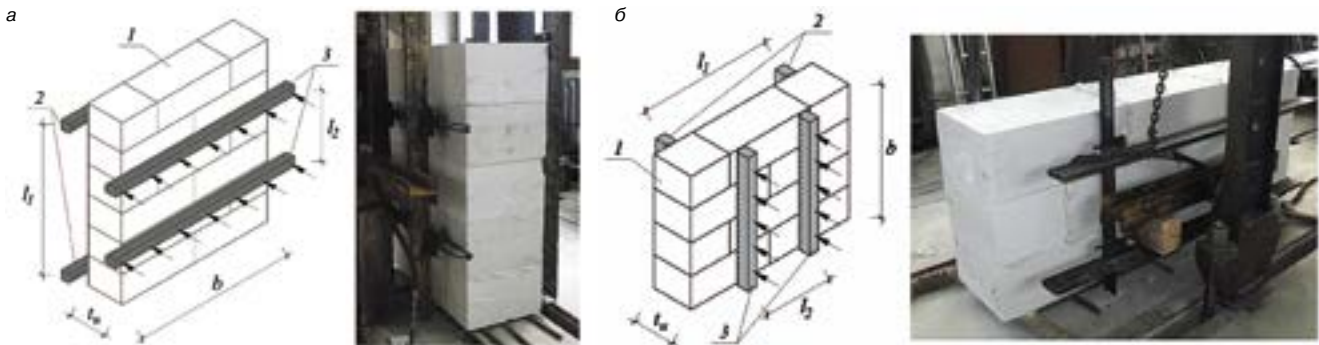


Рис. 1. Схема испытаний и общий вид образца в нагружающем устройстве при испытаниях кладки на изгиб: а – по неперевязанному сечению; б – по неперевязанному сечению; 1 – испытываемый образец кладки; 2 – внешние опоры; 3 – внутренние нагружаемые опоры

лено по пять образцов кладки на клей-пене для испытаний на изгиб в плоскостях параллельной и перпендикулярной плоскости горизонтальных швов, а также по одному образцу на полимерцементном клеевом растворе М75 при сплошном заполнении горизонтальных и вертикальных швов кладки.

Форма и размеры опытных образцов кладки назначались в соответствии с СТБ EN 1052–2. Сразу после изготовления к каждому испытываемому образцу прикладывали предварительную вертикальную равномерно распределенную сжимающую нагрузку таким образом, чтобы сжимающие напряжения в сечении образца достигали около $2,5\text{--}3 \cdot 10^{-3}$ МПа. В нагруженном состоянии образцы хранились в лабораторных условиях при температуре $+10^\circ\text{C}$ и влажности воздуха 60–70%. Испытание образцов, изготовленных на клей-пене, производилось в возрасте 8 сут, а образцов на полимерцементном клеевом растворе, в возрасте 28 сут.

Прочность каменной кладки на растяжение при изгибе определялась в соответствии с СТБ EN 1052–2 на образцах-стенках прямоугольного сечения, которые испытывались по балочной схеме. Каждый испытываемый образец устанавливался в вертикальное положение, после чего к нему с помощью специального устройства прикладывалась испытательная нагрузка. Для обеспечения равномерного обжатия образца между ним и роликовыми опорами предусматривались упругие прокладки из резины. С целью исключения влияния сил трения в основании испытываемого образца его помещали на металлическую пластину на роликовых опорах. Нагрузка прикладывалась со скоростью, обеспечивающей приращение напряжений от 0,03 до 0,3 МПа/мин. В ходе испытаний регистрировались величина разрушающей нагрузки и характер разрушения опытных образцов.

Схема испытаний и общий вид образцов в нагружающем устройстве представлены на рис. 1.

При изгибе кладки параллельно плоскости горизонтальных швов разрушение четырех образцов, выполненных с применением полиуретановой клей-пены, произошло в результате разрыва материала ячеисто-бетонных блоков в швах вдоль полос полиуретановой клей-пены (рис. 2, а, б). В одном образце имело место разрушение блоков второго ряда по наклонной трещине (рис. 2, в).

Среднее значение прочности на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению f_{x1} кладки на полиуретановых швах составило 0,23 МПа.

Разрушение образца каменной кладки на полимерцементных швах произошло по горизонтальному шву в результате разрыва материала шва без нарушения целостности ячеисто-бетонных блоков (рис. 3). Прочность кладки на полимерцементных швах $f_{x1}=0,04$ МПа оказалась в 5,8 раза ниже значения f_{x1} кладки на полиуретановых швах. Данный вывод следует относить к конкретному виду полимерцементного раствора. Исследования кладок из ячеисто-бетонных блоков, которые были выполнены в филиале «БелНИИС»–НТЦ, показывают, что при более высоких прочностных и адгезионных показателях тонкослойных полимерцементных растворов разрушение кладки происходит по материалу блоков.

Результаты определения прочности каменной кладки на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению приведены в табл. 1.

В соответствии с Еврокодом 6 [6] характеристическое значение прочности кладки из ячеисто-бетонных блоков на тонкослойных растворных швах f_{xk1} определяется по формуле: $f_{xk1}=0,035f_b$. При $f_b=2,5$ МПа, $f_{xk1}=0,09$ МПа. Из табл. 1 следует, что опытное значение f_{xk1} кладки на полиуретановых швах в 1,7 раза превысило значение f_{xk1} ,



Рис. 2. Характер разрушения каменной кладки на полиуретановых швах по неперевязанному сечению: а, б – разрыв материала блоков вдоль полос полиуретановых швов; в – разрыв блоков по наклонной трещине

Результаты определения прочности кладки на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению

№ образца	Геометрические параметры				Разрушающая нагрузка $F_{i,max}$, Н	Прочность на растяжение при изгибе f_{x1i} , МПа	Характеристическое значение прочности на растяжение при изгибе f_{xk1} , МПа
	b, мм	t _ц , мм	l ₁ , мм	l ₂ , мм			
Кладка на полиуретановых швах							
ИН1	925	400	1167	543	39320	0,25	0,17
ИН2	922	396	1167	543	31660	0,2	0,14
ИН3	920	400	1167	543	39250	0,25	0,17
ИН4	922	400	1167	543	38230	0,24	0,16
ИН5	923	399	1167	543	33980	0,22	0,14
Среднее значение					36488	0,23	0,15
Коэффициент вариации, %					9,5	8,8	8,8
Кладка на полимерцементных швах							
ИцН1	922	393	1135	555	6510	0,04	0,03

установленное по аналитической зависимости согласно [6].

При испытании образцов каменной кладки на изгиб по перевязанному сечению имело место хрупкое разрушение по вертикальному сечению, проходящему по ячеисто-бетонному блоку и вертикальным швам, независимо от вида растворных швов. При этом в образцах кладки на полиуретановой клей-пене в вертикальных швах наблюдался разрыв полиуретана или его отрыв от ячеисто-бетонного блока без нарушения целостности материала блока. В образце, выполненном на полимерцементном растворе, разрыв вертикальных швов происходил по раствору без нарушения его сцепления с ячеисто-бетонным блоком. Характер разрушения опытных образцов кладки показан на рис. 4.

Среднее значение прочности на растяжение при изгибе по перевязанному сечению f_{x2} кладки на полиуретановых швах оказалось на 40% выше прочности кладки на полимерцементных швах (табл. 2). Это можно объяснить более высоким сопротивлением горизонтальных полиуретановых швов растяжению и сдвигу по сравнению с полимерцементными швами. При заполнении вертикальных швов полиуретановой клей-пенной полимеризация происходит в условиях отличных от горизонтальных

швов кладки, где клей-пена обжимается весом ячеисто-бетонных блоков. Соответственно деформативность вертикальных полиуретановых швов оказывается существенно выше, а прочность сцепления с ячеисто-бетонными блоками ниже, чем горизонтальных швов. По этой причине влияние вертикальных полиуретановых швов на прочность кладки на растяжение при изгибе по перевязанному сечению является несущественным.

Значение отношения f_{x2}/f_{x1} , которое характеризует степень анизотропии прочности на растяжение при изгибе для кладки на полиуретановых швах, было равно 0,57. Примерно такие же значения f_{x2}/f_{x1} для кладки на полиуретановых швах приводятся в работе [7]. В техническом свидетельстве на полиуретановую клей-пену [8] для кладки из ячеисто-бетонных блоков значение $f_{x2}/f_{x1}=0,66$.

В соответствии с [6] для кладки из ячеисто-бетонных блоков прочностью $f_b=2,5$ МПа на тонкослойных растворных швах $f_{xk2}=0,035f_b=0,09$ МПа при заполненных раствором вертикальных швах. В случае отсутствия заполнения вертикальных швов раствором $f_{xk2}=0,025f_b=0,06$ МПа. Полученное по результатам испытаний кладки на полиу-



Рис. 3. Характер разрушения каменной кладки на полимерцементных швах по неперевязанному сечению

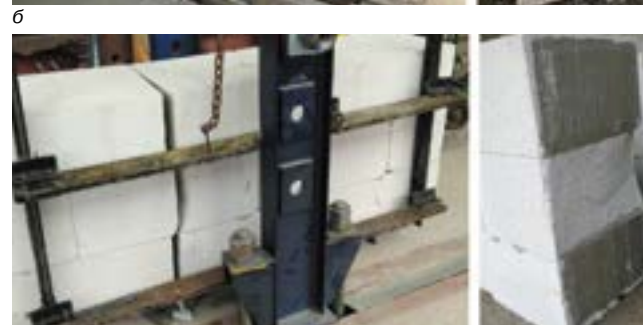


Рис. 4. Характер разрушения каменной кладки по перевязанному сечению: а – на полиуретановых швах; б – на полимерцементных клеевых швах

Результаты испытаний образцов кладки на растяжение при изгибе по перевязанному сечению

№ образца	Геометрические параметры				Разрушающая нагрузка $F_{i,max}$, Н	Прочность на растяжение при изгибе f_{x2i} , МПа	Характеристическое значение прочности на растяжение при изгибе f_{xk2} , МПа
	b, мм	$t_{ц}$, мм	l_1 , мм	l_2 , мм			
Кладка на полиуретановых швах							
ИП1	749	400	1522	877	16700	0,13	0,09
ИП2	747	399	1522	877	14410	0,12	0,08
ИП3	748	400	1522	877	17720	0,14	0,1
ИП4	749	400	1522	877	16980	0,14	0,1
ИП5	749	399	1522	877	15230	0,12	0,08
Среднее значение					16208	0,13	0,09
Коэффициент вариации, %					8,3	8,1	8,1
Кладка на полимерцементных швах							
ИцП1	750	400	1504	876	10900	0,09	0,06

ретановых швах значение f_{xk2} соответствовало аналитическому значению f_{xk2} для кладок с заполненными вертикальными швами [6].

На основании проведенных исследований можно заключить, что при действии изгибающих моментов разрушение кладки из ячеисто-бетонных блоков D400 прочностью $f_b=2,5$ МПа на однокомпонентной полиуретановой клей-пене в плоскости, параллельной плоскости горизонтальных швов, происходит вследствие разрыва материала блоков. Опытные значения f_{xk1} в 1,7 раза пре-

высили аналитические значения f_{xk1} , установленные в соответствии с [6].

Разрушение кладки в плоскости, перпендикулярной плоскости горизонтальных швов, происходит по вертикальному сечению, проходящему по ячеисто-бетонному блоку и вертикальным швам при значениях растягивающих напряжений в кладке f_{x2} , составляющих 0,5–0,6 f_{x1} . Установленное экспериментально значение f_{xk2} , соответствовало аналитическому значению f_{xk2} согласно [6] для кладки с заполненными вертикальными швами.

Список литературы

- Ишук М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. М.: Стройматериалы, 2009. 360 с.
- Деркач В.Н. Сопротивление ветровым воздействиям поэтажно опертых многослойных стен с облицовочным слоем // *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 8. С. 38–43.
- Деркач В.Н. Особенности расчета каменного заполнения каркасных зданий // *Архитектура и строительство*. 2015. № 4. С. 50–53.
- Schmidt U., Jäger W., Brameshuber W., Bakeer T. Biegezugfestigkeit von Mauerwerk // *Mauerwerk*. 2015. № 19. S. 27–39.
- Orłowicz R., Jaworski R. Wpływ zbrojenia na nośność ścian z betonu komórkowego poddanych ściskaniu ze zginaniem // *Przegląd budowlany*. 2015. № 10. S. 31–33.
- Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk: EN 1996-1-1:2005. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2005. 127 p.
- Jäger A., Kuhlemann C., Habian E., Kasa M., Lu S. Verklebung von Planziegelmauerwerk mit Polyurethanklebern // *Mauerwerk*. 2011. № 15. S. 223–231.
- Poliuretanowa Zaprawa Murarska TBM w postaci piany, do cienkich spoin. Aprobata Techniczna ITB AT-15-9365. 2014. 14 s.

References

- Ishchuk M.K. Otechestvennyy opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz oblegchennoy kladki [Domestic experience of erecting of buildings with outside walls made of lightweight masonry]. Moscow: Stroyaterialy. 2009. 360 p.
- Derkach V.N. Resistance to wind load by every floor supported multilayered walls with a facing layer. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2015. No. 8, pp. 38–43. (In Russian).
- Derkach V.N. Features of masonry filling in the frame buildings. *Arkhitektura i stroitelstvo*. 2015. No. 4, pp. 50–53. (In Russian).
- Schmidt U., Jäger W., Brameshuber W., Bakeer T. Biegezugfestigkeit von Mauerwerk. *Mauerwerk*. 2015. No. 19, pp. 27–39.
- Orłowicz R., Jaworski R. Wpływ zbrojenia na nośność ścian z betonu komórkowego pod-danych ściskaniu ze zginaniem. *Przegląd budowlany*. 2015. No. 10. pp. 31–33.
- Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk: EN 1996-1-1:2005. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2005. 127 p.
- Jäger A., Kuhlemann C., Habian E., Kasa M., Lu S. Verklebung von Planziegelmauerwerk mit Polyurethanklebern. *Mauerwerk*. 2011. No. 15, pp. 223–231.
- Poliuretanowa Zaprawa Murarska TBM w postaci piany, do cienkich spoin. Aprobata Techniczna ITB AT-15-9365. 2014. 14 p.

Подписка на электронную версию
<http://rifsm.ru/page/5/>

Л.И. КАСТОРНЫХ, канд. техн. наук (likas9@mail.ru), А.В. РАУТКИН, магистрант, А.С. РАЕВ, магистрант
Донской государственной технической университет (344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов

Часть I. Реологические характеристики цементных композиций

Проведен анализ и предпринята попытка разработки единой методики оценки совместимости суперпластификаторов и цемента по показателям водоотделения цемента с добавками и предельным напряжениям сдвига цементных суспензий. Установлено, что величина коэффициента водоотделения цемента с суперпластификаторами и водоудерживающими добавками различна, а характер водоотделения одинаков. Введение водоудерживающих добавок позволяет уменьшить водоотделение цемента. Использование водоудерживающих и стабилизирующих веществ приводит к увеличению дисперсности твердой фазы и молекулярному взаимодействию между частицами. Это вызывает возникновение множества контактов между ними и обуславливает создание пространственной структурной сетки, обеспечивающей высокую водоудерживающую способность. Выбор дозировок суперпластификаторов и водоудерживающих добавок для конкретного цемента можно назначать по величине предельных напряжений сдвига цементных суспензий. Увеличение предельных напряжений сдвига цементных композиций с суперпластификатором и водоудерживающей добавкой свидетельствует о повышении их водопотребности. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании состава самоуплотняющихся смесей, особенно перекачиваемых с помощью бетононасосов.

Ключевые слова: водоотделение цемента, суперпластификаторы, водоудерживающая добавка, реологическая совместимость добавок и цемента, предельные напряжения сдвига цементных суспензий.

Для цитирования: Касторных Л.И., Рауткин А.В., Раев А.С. Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов. Часть I. Реологические характеристики цементных композиций // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 34–38.

L.I. KASTORNYKH, Candidate of Science (Engineering), A.V. RAUTKIN, Master student, A.S. RAEV, Master student
Don State Technical University (1, Gagarina Square, Rostov-on-Don, 344010, Russian Federation)

Effect of Water-Retaining Admixtures on Some Properties of Self-Compacting Concretes Part 1. Rheological Characteristics of Cement Compositions

An analysis is made and the development of a single method for assessment of compatibility of superplasticizers and cement according to the rates of bleeding of cement with additives and critical shear stress of cement suspensions is attempted. It is established that the value of bleeding coefficient of cements with superplasticizers and water-retaining agents is different but the character of bleeding is the same. The introduction of water-retaining additives makes it possible to reduce the bleeding of cements. The use of water-retaining and stabilizing substances leads to increasing the dispersity of a solid phase and the molecular interaction between the particles. This causes the appearance of many contacts between them and leads to the creation of a spatial structural grid that provides the high water-retaining capacity. Selection of the dosages of superplasticizers and water-retaining agents for a particular cement can be assigned according to the value of limit shear stresses of cement suspensions. The increase in ultimate shear stresses of cement compositions with a superplasticizer and water-retaining additive indicates an increase in their water requirement. This factor is necessary to take into account when designing the composition of self-compacting mixes, especially pumped with the use of concrete pumps.

Keywords: bleeding of cement, superplasticizers, water-retaining additives, rheological compatibility of additives and cement, ultimate shear stresses of cement suspensions.

For citation: Kastornykh L.I., Rautkin A.V., Raev A.S. Effect of water-retaining admixtures on some properties of self-compacting concretes. Part 1. Rheological characteristics of cement compositions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 7, pp. 34–38. (In Russian).

Основные принципы направленного структурообразования цементных систем, сформулированные более трех десятилетий назад выдающимся советским ученым О.П. Мчедловым-Петросяном и его учениками, не утратили своей актуальности и в настоящее время. В технологии бетона эти принципы предполагают согласованность внутренних процессов и внешних воздействий: момент, интенсивность и длительность воздействия на бетонную смесь должны согласовываться с процессами ее структурообразования [1]. На современном этапе развития бетоноведения, когда бетонные смеси производятся с обязательным включением различных химических и минеральных добавок, главной задачей является управление процессами изменения состава и структуры бетона. Как показала практика, добавки, являясь модификаторами структуры бетона, могут в значительной степени изменять его физико-механические характеристики и влиять на формирование себестоимости продукции. Поэтому новые группы добавок (гиперпластификаторы, стабилизаторы, модификаторы вязкости и др.), широко представленные на строительном рынке, должны быть всесторонне исследованы.

Для исследователей бетона и технологов строительных лабораторий основной проблемой является совместимость добавок с цементами, минеральными наполнителями и между собой (в случае применения комплекса добавок).

Производители добавок в рекомендациях, помимо области их применения, преимуществ и дозировки, указывают и совместимость добавок с различными видами цемента, предполагая максимальный эффект ее действия при минимальной концентрации. Отметим, что практически все компании, торгующие добавками, рекомендуют проверять их совместимость с цементами и уточнять дозировку путем пробных замесов в лаборатории, что свидетельствует о высоком уровне их профессионализма.

В большей степени проблема совместимости добавок и цемента относится к новому виду бетонов — самоуплотняющемуся (СУБ). Многочисленные работы под руководством Г.В. Несветаева [2, 3] и А.В. Ушеров-Маршака [4, 5] посвящены изучению реологической совместимости систем цемент–добавка. В них исследовалось влияние дозировок суперпластификаторов на текучесть цементных суспензий. В случае использова-

Таблица 1

Вид цемента	Состав, %							НГ _{цт}	S _{уд} , см ² /г
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	SO ₃	MgO	R ₂ O		
ПЦ500-Д0-Н	63,4	15,1	5,1	13,5	3,06	0,96	0,65	24,75	3520
ССПЦ500-Д20 (опока – 10,2%)	65	12	4	13	2,8	0,41	0,46	27,5	4015

Таблица 2

Торговая марка	Наименование	Характеристика
Sika	Sika ViskoCrete 20 HE (VC20 HE)	Суперпластификатор на основе водного раствора модифицированного поликарбоксилата
	Sika ViskoCrete 24 HE (VC24 HE)	Суперпластификатор на основе водной композиции модифицированных эфиров поликарбоксилата с очень быстрым набором ранней прочности бетона
	Sika Stabilizer 4R (S.4R)	Стабилизирующая добавка на основе крахмала, повышающая стойкость бетонных смесей к расслоению
MC Bauchemie	MC Muraplast FK 63 (FK 63)	Гиперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов, обладающий сильным разжижающим действием
	Centrament Stabi M21 (S.M21)	Стабилизатор на основе комплексной смеси микронаполнителя и синтетических полимеров
BASF	MasterGlenium ACE430 (MG430)	Суперпластификатор на основе эфира поликарбоксилата с эффектом быстрого набора ранней прочности бетона
	MasterGlenium 115 (MG115)	Суперпластифицирующая добавка на основе эфира поликарбоксилата
	MasterMatrix 100 (MM100)	Модификатор вязкости на основе водного раствора высокомолекулярного синтетического полимера

Таблица 3

Вид цемента	Коэффициент водоотделения, %								
	Без добавки	MC Bauchemie		Sika			BASF		
		FK 63	S.M21	VC 20HE	VC 24HE	S.4R	MG430	MG115	MM100
ПЦ 500-Д0-Н	17,6	22,8	16,3	29,3	36,9	9,8	24,2	19,6	15,4
ССПЦ 500-Д20	21,7	36,5	19,3	37	38	16,5	31,5	23,9	15,2

ния суперпластификаторов в качестве водоредуцирующих добавок для повышения прочности бетона предлагается оценивать их прочностную совместимость с цементами [6]. Для оперативной и достоверной количественной оценки совместимости суперпластификаторов и цементов в условиях производственной лаборатории авторы статьи [7] предлагают технологические критерии. В Петербургском государственном университете путей сообщения разработана методика определения совместимости цемента с добавками поверхностно-активных веществ по кинетике предельного напряжения сдвига и оценке относительной активности цемента в возрасте 12 ч [8].

Такое разнообразие подходов к оценке совместимости цементов с суперпластификаторами подтверждает существование проблемы и требует разработки единой методики, доступной как для научно-исследовательских, так и для строительных лабораторий.

Трудности обеспечения реологической стабильности легких самоуплотняющихся керамзитобетонов авторами были установлены ранее [9]. В настоящей статье представлены результаты исследований самоуплотняющихся бетонных смесей с водоудерживающими добавками (стабилизаторами).

При выборе вяжущего для СУБ следует отдавать предпочтение цементам с наименьшим водоотделением. При использовании цементов со значительным водоотделением может потребоваться применение водоудерживающей добавки (стабилизатора) или увеличение ее расхода. Для обеспечения высокой растекаемости смеси марка по прочности выбираемого вяжущего не имеет определяющего значения. Достаточно хорошие результаты можно получать и на рядовых цементах, в том числе и с добавлением активных минеральных добавок.

В действующих стандартах на цементы общестроительного назначения требования по водоотделению не

предъявляются, а новый стандарт на специальный цемент ГОСТ Р 55224–2012 «Цементы для транспортного строительства. Технические условия» устанавливает величину водоотделения, не превышающую 28%.

В исследованиях использованы бездобавочный портландцемент ОАО «Новоросцемент» завода «Пролетарий» марки ПЦ500-Д0-Н и сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками ОАО «Верхнебаканский цементный завод» марки ССПЦ 500-Д20 (по маркировке завода-изготовителя). Основные характеристики цементов представлены в табл. 1.

Цемент завода «Пролетарий», отличающийся стабильностью показателей качества на протяжении многих лет, по мнению экспертов, выбран в качестве эталона [10].

Выбор добавок для СУБ был продиктован необходимостью высокой пластификации смесей и доступностью на строительном рынке (табл. 2).

Влияние химических добавок на водоотделение цементов, %, установлено по методике ГОСТ 310.6:

$$K_g = (a - b) \cdot 100/a, \quad (1)$$

где a – первоначальный объем цементного теста, см³; b – объем осевшего теста, см³.

Дозировка добавок назначалась как средняя величина интервала, рекомендуемого производителями: 1% – для суперпластификаторов и 0,5% – для стабилизаторов.

Результаты определения водоотделения цементов при введении пластифицирующих и стабилизирующих добавок приведены в табл. 3.

Установлено, что величина коэффициента водоотделения цементов с суперпластификаторами (СП) и стабилизирующими добавками различна, а характер водоотделения одинаков (рис. 1).

Выполненные исследования свидетельствуют, что молекулы суперпластификатора, адсорбируясь на ча-

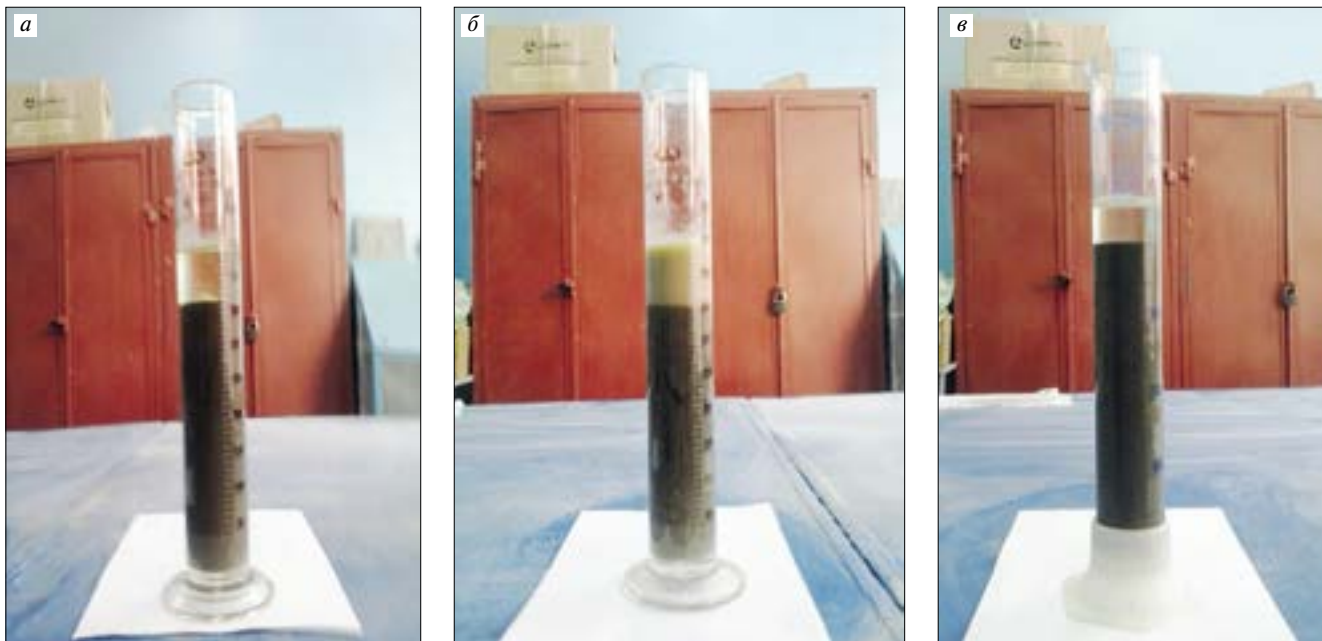


Рис. 1. Характер водоотделения портландцемента марки ПЦ500-Д0-Н: а – без добавок; б – суперпластификатор МГ430; в – водоудерживающая добавка ММ100

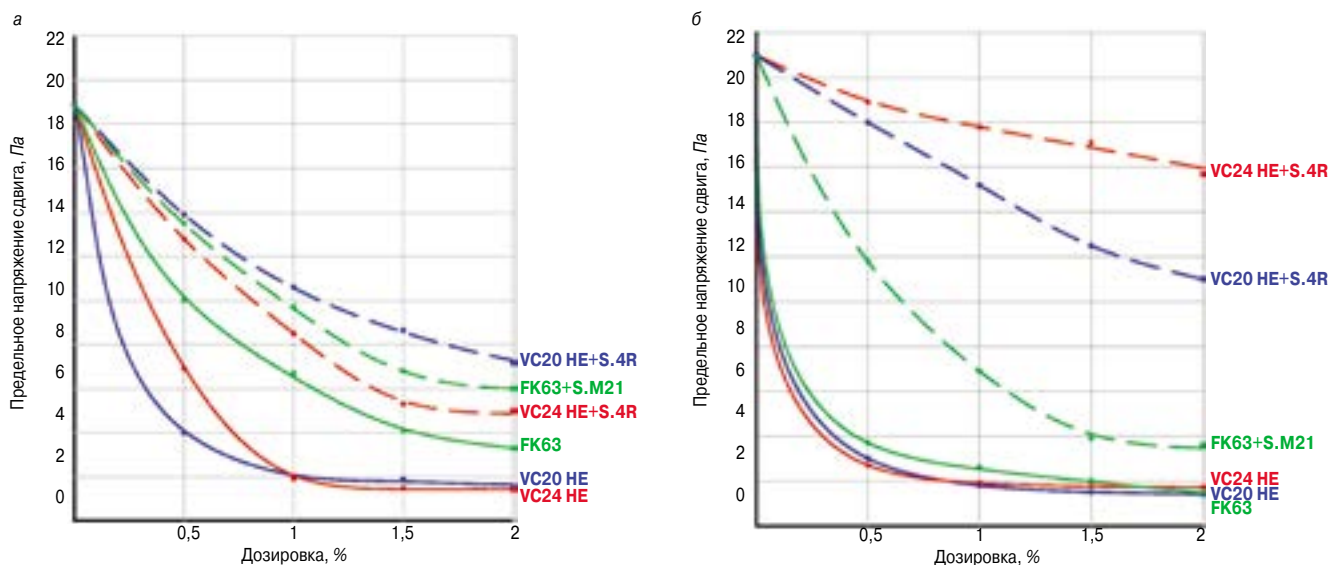


Рис. 2. Влияние дозировки и вида добавок на предельные напряжения сдвига цементных суспензий: а – ПЦ500-Д0; б – ССПЦ500-Д20

стицах цемента, увеличивают его водоотделение, а также остаются в водном растворе, придавая ему мутный оттенок.

Водоотделение цемента с минеральными добавками, несмотря на более высокую тонкость помола и водопотребность, на 23% выше бездобавочного цемента. Такое действие предположительно можно объяснить отрицательным зарядом поверхности кремнеземсодержащей минеральной добавки, не обладающей водоудерживающей способностью. Применение всех исследованных суперпластификаторов увеличивает водоотделение цемента с минеральными добавками также в большей степени, чем бездобавочного цемента.

Результаты испытаний вполне согласуются с выводами, полученными П.А. Ребиндером, Ю.М. Буттом и Т.М. Берковичем при исследовании водоудерживающей способности цементов в присутствии лигносульфонатов [12]. При максимальной дозировке пластификатора (0,5% массы цемента) водоотделение бездобавочного цемента увеличилось в два раза, а цемента с добавкой вольской опоки в количестве 20% – в четыре раза.

Такой механизм действия пластификаторов при введении их в больших дозировках объясняется образованием на всех частицах исходных минералов и новообразований коллоидно-адсорбционных слоев, приводящих к стабилизации этих частиц и торможению процессов гидратации на начальной стадии. При этом силы сцепления между частицами уменьшаются, коагуляция ослабляется, седиментационное самоуплотнение цемента увеличивается, а водоудерживающая способность понижается.

Введение водоудерживающих добавок позволяет уменьшить водоотделение цементов. Для цемента с минеральной добавкой максимальный водоудерживающий эффект – на 30% – показала добавка ММ100; для бездобавочного цемента в большей степени водоудерживающий эффект проявила добавка марки S.4R, снизив его водоотделение на 44%.

При введении водоудерживающих веществ происходит увеличение дисперсности твердой фазы, т. е. увеличение свободной поверхностной энергии. Это приводит к молекулярному взаимодействию между частица-

Таблица 4

Торговая марка добавки	Наименование добавки	Дозировка, %	ПЦ 500-Д0-Н			ССПЦ 500-Д20		
			Диаметр распыла, см	Средняя плотность, кг/м ³	Предельные напряжения сдвига, Па	Диаметр распыла, см	Средняя плотность, кг/м ³	Предельные напряжения сдвига, Па
–	Бездобавочный	–	11,5	2000	18,9	11	2005	21
Sika	VC20 HE	0,5	25	1990	4	29	1995	3
		1	35,5	1985	2	36,5	1975	1,8
		1,5	36,5	1980	1,86	40,5	1968	1,5
		2	40,5	1960	1,5	41,5	1950	1,4
	VC20 HE + S.4R (0,5%)	0,5	13,5	2010	13,9	11,8	2000	18
		1	15,5	2010	10,6	12,8	1990	15,2
		1,5	17	2000	8,65	14	1964	12,5
		2	18,5	1960	7,15	15	1950	11
	VC24 HE	0,5	19	1985	6,9	30,5	2000	2,7
		1	36	1975	1,9	36	1968	1,9
		1,5	40	1975	1,5	37	1960	1,8
		2	42	1960	1,4	38	1955	1,7
	VC24 HE + S.4R (0,5%)	0,5	14	2000	12,8	11,5	2000	18,9
		1	17	1990	8,5	11,8	1985	17,8
		1,5	21,5	1950	5,3	12	1965	17,1
		2	22	1940	5	12,5	1960	15,7
MC Bauchemie	FK-63	0,5	15,7	1968	10	25,8	1970	3,7
		1	19	1965	6,7	30,4	1960	2,6
		1,5	24,5	1955	4,1	35	1965	2
		2	27	1925	3,3	40,5	1955	1,4
	FK-63 + S.M21 (0,5%)	0,5	13,5	1990	13,5	14,5	2005	11,8
		1	16	1980	9,7	19	1995	6,9
		1,5	19	1955	6,8	25,2	1995	3,9
		2	20	1920	6	26,2	1975	3,6

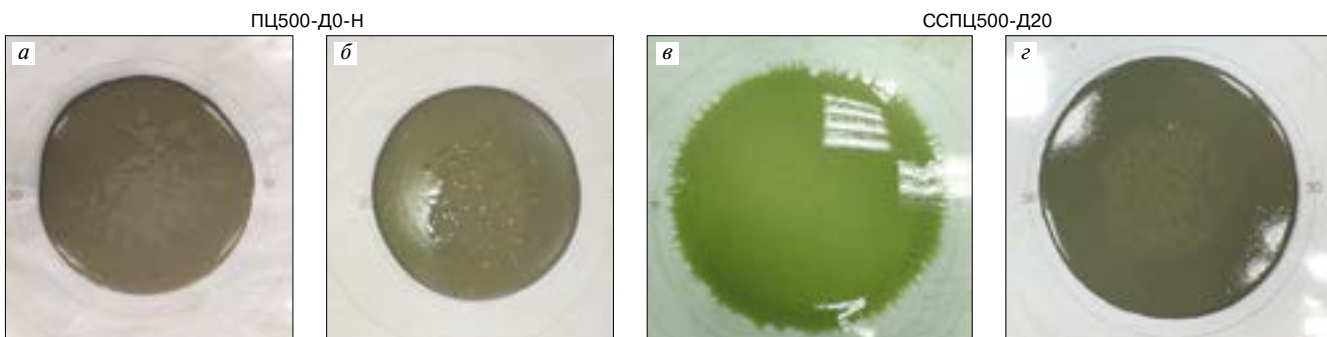


Рис. 3. Характер растекаемости цементных суспензий с добавками марки MC Bauchemie: а – FK-63 – 2%; б – FK-63 – 2%+S.M21 – 0,5%; в – FK-63 – 2%; г – FK-63 – 2%+S.M21 – 0,5%

ми, что вызывает возникновение множества контактов между ними и обуславливает создание пространственной структурной сетки, обеспечивающей высокую водоудерживающую способность.

Для оценки совместимости (реологической активности) суперпластификаторов с конкретным цементом согласно [11] выбрана доступная и опробованная другими исследователями [2, 3] методика определения предельных напряжений сдвига цементных суспензий τ_0 , Па:

$$\tau_0 = \frac{hd^2}{kD^2} \rho, \quad (2)$$

где h , d – высота и диаметр, м, соответственно минивискозиметра Сутгарда; ρ – средняя плотность цементной суспензии, кг/м³; $k = 2$ – по [11]; D – диаметр распыла цементной суспензии, м.

Были приготовлены цементные суспензии с постоянным В/Ц = 0,388 и дозировкой суперпластификаторов от 0,5 до 2%, а водоудерживающих добавок в количестве 0,5% от массы цемента. Результаты исследований приведены в табл. 4. Влияние дозировки и вида добавок на предельные напряжения сдвига цементных суспензий представлены на рис. 2.

Исследования показали, что для цемента марки ПЦ500-Д0-Н все СП обеспечивают максимальную растекаемость и минимальное значение предельного напряжения сдвига цементных суспензий при дозировке 1–1,5%. Дальнейшее увеличение расхода добавки до 2% практически не изменяет растекаемость суспензий, но при этом приводит к значительному водоотделению, что отчетливо видно на рис. 3, 4. Использование комплекса добавок СП+стабилизатор приво-

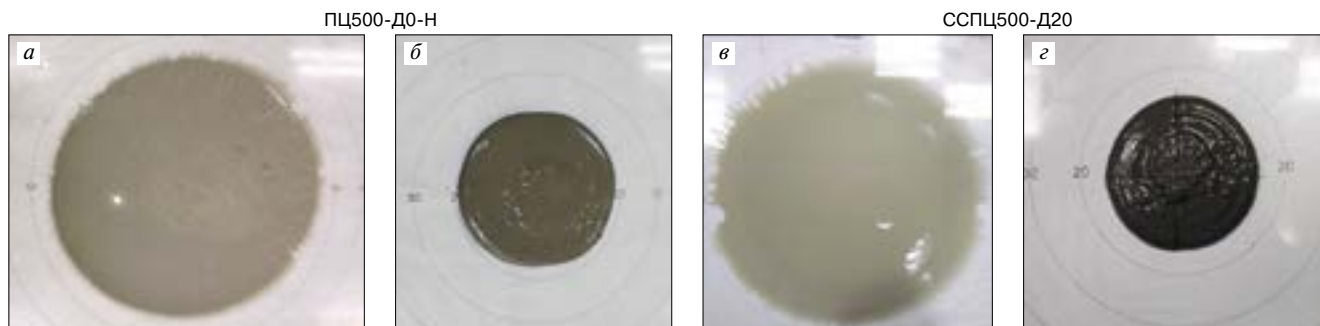


Рис. 4. Характер растекаемости цементных суспензий с добавками марки Sika: а – VC20 HE – 2%; б – VC20 HE – 2%+S.4R – 0,5%; в – VC20 HE – 2%; г – VC20 HE – 2%+S.4R – 0,5%

дит к повышению напряжений сдвига и уменьшению растекаемости.

Для цемента марки ССПЦ500-Д20 оптимальной дозировкой всех СП является диапазон от 0,5 до 1%. Превышение указанной дозировки способствует водоотделению цементных суспензий (рис. 3, 4).

Стабилизирующие добавки в комплексе с суперпластификаторами резко повышают предельные напряжения сдвига и уменьшают растекаемость цементных суспензий (особенно комплекс добавок VC24 HE+S.4R), но при этом водоотделение полностью устраняется.

Список литературы

1. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1988. 304 с.
2. Несветаев Г.В. Технология самоуплотняющихся бетонов // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 24–28.
3. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н., Хетагуров Б.А. Самоуплотняющиеся бетоны: некоторые факторы, определяющие текучесть смеси // *Строительные материалы*. 2009. № 3. С. 54–57.
4. Ушеров-Маршак А.В., Циак М. Совместимость – тема бетоноведения и ресурс технологии бетона // *Строительные материалы*. 2009. № 10. С. 12–15.
5. Ушеров-Маршак А.В., Бабаевская Т.В. Эффективность добавок – тема бетоноведения и технологии бетона // *Технологии бетонов*. 2012. № 7–8. С. 53–55.
6. Зоткин А.Г. Прочностная совместимость цементов с суперпластификаторами // *Технологии бетонов*. 2014. № 9. С. 22–26.
7. Толмачев С.Н., Беличенко Е.А., Бражник А.В. Разработка технологических критериев совместимости суперпластификаторов с цементами // *Строительные материалы*. 2016. № 5. С. 60–65.
8. Петрова Т.М., Серенко А.Ф. Определение совместимости цемента с добавками ПАВ по кинетике предельного напряжения сдвига // *Цемент и его применение*. 2007. № 5–6. С. 82–83.
9. Касторных Л.И., Синицина Н.А. Исследование свойств легких самоуплотняющихся бетонов // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Архитектура и строительство»*. 2014. № 4. Т. 14. С. 47–51.
10. Афанасьева В.Ф. Оценка эффективности цементов, применяемых в российском строительстве // *Технологии бетонов*. 2013. № 1. С. 12–15.
11. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Издательство АСВ, 2006. 368 с.
12. Бутт Ю.М., Беркович Т.М. Вяжущие вещества с поверхностно-активными добавками. М.: Промстройиздат, 1953. 248 с.

Уменьшение растекаемости и увеличение предельных напряжений сдвига цементных композиций с суперпластификатором и водоудерживающей добавкой свидетельствует о повышении их водопотребности. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании состава самоуплотняющихся смесей, особенно перекрачиваемых с помощью бетононасосов.

Величина предельных напряжений сдвига цементных суспензий может использоваться при выборе оптимальных дозировок суперпластификаторов и комплекса суперпластификатор+стабилизатор для конкретного цемента.

References

1. Mchedlov-Petrosyan O.P. Himija neorganicheskikh stroitel'nyh materialov [Chemistry of inorganic building materials]. 2nd ed. Rev. Moscow: Stroyizdat. 1988. 304 p.
2. Nesvetaev G.V. Technology of self-compacting concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 24–28. (In Russian).
3. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N., Khetagurov B.A. Self-compacting concrete: some of the factors that determine the fluidity of the mix. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 3, pp. 54–57. (In Russian).
4. Usherov-Marshak A.V., M. Ziac Compatibility – the theme of the concrete Sciences, and resource technology concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 10, pp. 12–15. (In Russian).
5. Usherov-Marshak A.V., Babaevskaya T. V. The effectiveness of the additives – the subject of concrete Sciences and technology of concrete. *Tehnologii betonov*. 2012. No. 7–8, pp. 53–55. (In Russian).
6. Zotkin A.G. Strength compatibility of cements with superplasticizers. *Tehnologii betonov*. 2014. No. 9, pp. 22–26. (In Russian).
7. Tolmachev S.N., Belichenko E.A., Brazhnik A.V. Development of the technological criteria of compatibility of superplasticizers with cements. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 5, pp. 60–65. (In Russian).
8. Petrova T.M., Serenko A.F. Determination of the compatibility of cement with additives of surfactants on the kinetics of the limiting shear stress. *Tsement i ego primeneniye*. 2007. No. 5–6, pp. 82–83. (In Russian).
9. Kastornykh L.I., Sinitsyna N.A. The study of the properties of lightweight self-compacting concretes. *Vestnik of the South Ural state University. Series "Architecture and construction"*. 2014. No. 4. Vol. 14, pp. 47–51. (In Russian).
10. Afanasyeva V.F. Assessment of the effectiveness of the cements used in the Russian construction. *Tehnologii betonov*. 2013. No. 1, pp. 12–15. (In Russian).
11. Bazhenov Y.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modificirovannye vysokokachestvennye betony [Modified high-quality concrete]. Moscow: ASV. 2006. 368 p.
12. Butt Y.M., Berkovich T.M. Vyazhushchie veschestva s poverhnostno-aktivnyimi dobavkami [Astringent substances with surface-active additives]. Moscow: Promstroyizdat. 1953. 248 p.

Р.Р. БОГДАНОВ, инженер (bogdanov.r.r@yandex.ru), Р.А. ИБРАГИМОВ, канд. техн. наук
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

Состав, свойства и микроструктура модифицированного самоуплотняющегося бетона для гидроизоляции плоских кровель зданий

Рассмотрены вопросы повышения долговечности плоских кровель зданий путем применения модифицированного самоуплотняющегося бетона (СУБ). При модификации СУБ разработан комплексный модификатор и проведена оптимизация его состава при помощи трехфакторного эксперимента. Определены физико-механические свойства полученного СУБ. Изучена микроструктура и фазовый состав модифицированного цементного камня. На основании проведенных исследований, а именно рентгенофазового анализа и электронной микроскопии, сделан вывод, что пониженное содержание гидроксида кальция в образцах с комплексным модификатором обусловлено адсорбцией гидроксида кальция на высокодисперсных частицах и реакцией взаимодействия с метакаолином, также способствующим уменьшению содержания гидроксида кальция в цементном камне. Полученные данные позволяют прогнозировать высокие эксплуатационные характеристики СУБ. При марке по расплыву конуса P5 модифицированный СУБ имеет класс по прочности при сжатии B50, высокую морозостойкость F600 и водонепроницаемость W16.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, гиперпластификатор, гидрофобизатор, метакаолин, дисперсное армирование.

Для цитирования: Богданов Р.Р., Ибрагимов Р.А. Состав, свойства и микроструктура модифицированного самоуплотняющегося бетона для гидроизоляции плоских кровель зданий // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 39–43.

R.R. BOGDANOV, Engineer(bogdanov.r.r@yandex.ru), R.A. IBRAGIMOV, Candidate of Sciences (Engineering)
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

Composition, Properties, and Microstructure of Modified Self-Compacting Concrete for Water Proofing of Flat Roofs of Buildings

Issues of improving the durability of flat roofs of buildings due to the use of modified self-compacting concrete (SCC) are considered. When modifying SCC, a complex modifier has been developed and the optimization of the composition of the complex modifier with the help of the three-factor experiment has been made. Physical-mechanical properties of SCC obtained have been determined. The microstructure and phase composition of the modified cement stone were studied. On the basis of the research conducted, namely X-ray phase analysis and electronic microscopy, it is concluded that the reduced content of calcium hydroxide in samples with complex modifier is due to adsorption of calcium hydroxide with high-disperse particles and interaction reaction with meta-kaolin that also contributes to reducing the content of calcium hydroxide in the cement stone. The data obtained make it possible to speak about high operational characteristics of SCC. When the flow class is P5, the modified SCC is of compression strength B50, high frost resistance (F600), and water-proofing (W16).

Keywords: self-compacting concrete, hyperplasticizer, hydrophobisator, meta-kaolin, disperse reinforcement.

For citation: Bogdanov R.R., Ibragimov R.A. Composition, properties, and microstructure of modified self-compacting concrete for water proofing of flat roofs of buildings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 39–43. (In Russian).

В гражданском и в промышленном строительстве широко применяют плоские кровли. Для гидроизоляции таких кровель применяют битумные мастики и рулонную изоляцию. Применение в качестве гидроизоляции плоских кровель зданий рулонных изоляционных материалов и битумных мастик в процессе эксплуатации здания выявило недостатки: их низкие технические и эксплуатационные свойства являются причиной частых ремонтов кровель (3–5 лет). Актуальна замена кровельной традиционной гидроизоляции специальными бетонами, обладающими такими характеристиками, как высокая прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, трещиностойкость и долговечность.

Анализ литературных данных

Бетонные кровли впервые появились в 1925 г. на территории Чехословакии и Австрии. Они представляли собой крупные железобетонные панели, изготовленные из высококачественного плотного бетона, и после 20 лет эксплуатации оказались в хорошем состоянии. В Москве, Екатеринбурге и других городах появились проектные предложения по бескровным (неизолированным) кровлям. С 1980 г. в Екатеринбурге и других городах Свердловской области было построено 3 млн м²

железобетонных безрулонных кровель. Более 30 лет наблюдений за их эксплуатацией подтвердили высокие эксплуатационные характеристики и степень надежности [1]. Однако к концу 1980-х гг. применение данного типа кровель прекращено ввиду снижения объемов типового индустриального строительства и увеличения нетипового домостроения с использованием монолитных конструкций.

Одним из решений данной проблемы является использование гидроизоляционного слоя из модифицированного самоуплотняющегося бетона (СУБ) толщиной 30–40 мм, что позволит использовать его в традиционных конструктивных решениях плоской кровли. Техническая новизна данного решения подтверждается патентом РФ [2]. Конструктивная особенность варианта безрулонной кровли приведена на рис. 1.

Повышение долговечности СУБ для плоских кровель невозможно без разработки комплексного модификатора, состоящего из ГП и активных минеральных добавок [3, 4]; для увеличения трещиностойкости необходимо применять дисперсное армирование [5].

Эффективный суперпластификатор является неотъемлемым компонентом самоуплотняющегося бетона, при этом наиболее эффективными являются гиперпластификаторы последнего поколения на основе эфиров поликарбоксилата [6, 7]. В работе [7] проведены экспери-



Рис. 1. Конструкция плоской кровли с гидроизоляционным слоем из СУБ

ментальные исследования влияния отечественных и зарубежных суперпластифицирующих добавок на реологические свойства цементного теста. В результате оптимальным оказался гиперпластификатор Remicrete SP 10 на основе эфиров поликарбоксилата. Повышения морозостойкости, водонепроницаемости и стойкости к агрессивному воздействию внешней среды можно добиться путем введения гидрофобизирующих добавок [8, 9]. В статье [9] изучено влияние водорастворимых кремнийорганических жидкостей на свойства цементного теста и раствора, по результатам которого в качестве компонента комплексного модификатора выбран гидрофобизатор Типром С. Также в качестве компонентов СУБ на основе проведенных авторами экспериментальных исследований [10] выбрано дисперсное армирование – фибра «Челябинка» и активная минеральная добавка – метакаолин.

Целью данной работы является получение и исследование самоуплотняющегося бетона с высокими эксплуатационными характеристиками для гидроизоляции плоских кровель зданий.

Методы, материалы и оборудование, применяемые в исследовании

Для приготовления бетонной смеси в качестве вяжущего использовали портландцемент ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б ГОСТ 31108–2003 ЗАО «Ульяновскцемент»; мелкий заполнитель – песок с модулем крупности $M_k=2,79$, фракции 0,16–5 мм и песок фракции 0,16–0,63 мм, от-

вечающие требованиям ГОСТ 8736–2014; в качестве крупного заполнителя использовали щебень из плотных горных пород фракции 5–10 мм, отвечающий требованиям ГОСТ 8267–93.

В качестве модификаторов использованы добавки: гиперпластификатор (ГП) Remicrete SP 10 производства компании SCHOMBURG GmbH (Германия), гидрофобизатор (ГФ) кремнийорганический Типром С производства ООО «Производственное объединение «САЗИ» (ТУ 2229-069-32478306–2003). В качестве активной минеральной (пуццолановой) добавки выбрали метакаолин (МтК): аморфный силикат алюминия месторождения Журавлиный Лог, ТУ 5729-095-51460677–2009. В работе использовали дисперсное армирование – фибру «Челябинка», изготавливаемую фрезерованием из стального проката по ТУ 1231-001-70832021–2010 с длиной фибры 36–38 мм. Рентгенодифракционные порошковые эксперименты выполняли на автоматическом рентгеновском дифрактометре D2 Phaser (фирма-производитель Bruker AXS GmbH). Исследования микроструктуры проводили на высокоразрешающем автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе Merlin компании CARL ZEISS.

Технологические свойства бетонной смеси и физико-механические свойства СУБ определяли по методикам действующих ГОСТов.

Результаты исследований

Оптимизацию состава комплексного модификатора проводили на самоуплотняющемся бетоне (состав приведен в табл. 1) путем реализации трехфакторного плана второго порядка на гиперкубе. В качестве исходных независимых переменных было принято содержание: гиперпластификатора – 1,2–1,8%; гидрофобизатора – 0,1–0,2%; метакаолина – 3–7% от массы цемента.

В качестве откликов выбраны прочность бетона в 7- и 28-суточном возрасте (R_7 , R_{28}), морозостойкость (F).

После обработки результатов математического планирования получены следующие математические зависимости:

$$R_7 = -77,63 + 137,54X_1 + 137,46X_2 + 5,49X_3 + 105,16X_1X_2 + X_1X_3 + 5,06X_2X_3 - 48,83X_1^2 - 1,11 \cdot 10^3X_2^2 - 0,71X_3^2; \quad (1)$$

$$R_{28} = -80,9 + 152,56X_1 + 194,65X_2 + 5,34X_3 + 54,52X_1X_2 + X_1X_3 + 4,61X_2X_3 - 52,08X_1^2 - 1,059 \cdot 10^3X_2^2 - 0,76X_3^2; \quad (2)$$

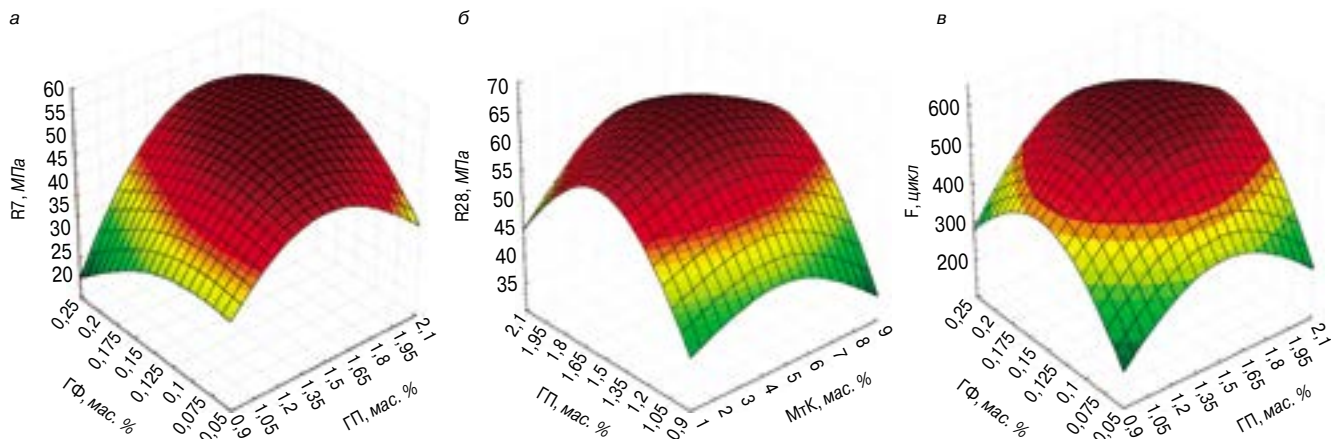


Рис. 2. Влияние состава комплексного модификатора на предел прочности бетона при сжатии в возрасте 7 сут (а); 28 сут (б) и марку по морозостойкости (в). Варьируемые факторы математического планирования эксперимента: X_1 – содержание ГП, %; X_2 – содержание ГФ, %; X_3 – содержание МтК, в % от массы цемента

Таблица 1

Оптимальный состав самоуплотняющегося бетона, кг/м³

ПЦ	Щебень фр. 5–10 мм	Песок фр. 0,16–5 мм	Песок фр. 0,16–0,63 мм	Фибра	МтК	ГП	ГФ
450	905	572,5–584,5	286,5–292,5	39	13,5–31,5	5,4–8,1	0,45–0,9

$$F = -3,16 \cdot 10^3 + 3,159 \cdot 10^3 X_1 + 1,073 \cdot 10^4 X_2 + 196,24 X_3 - 793,65 X_1 X_2 + 19,84 X_1 X_3 + 119,05 X_2 X_3 - 1,04 \cdot 10^3 X_1^2 - 3,076 \cdot 10^4 X_2^2 - 23,43 X_3^2 \quad (3)$$

Из уравнений (1) и (2) следует, что с увеличением расхода ГП и МтК в составе комплексного модификатора наблюдается рост прочности бетона. При повышении содержания гидрофобизирующей добавки предел прочности бетона при сжатии в возрасте 7 сут уменьшается. С увеличением дозировок ГП и МтК, МтК и ГФ прочность постепенно растет, но затем снижается. Снижение прочности бетона при увеличении дозировок ГП и ГФ можно объяснить блокирующим действием на частицы портландцемента данных модификаторов, проявляется прочность в большей степени при их совместном введении.

Из математической зависимости (3) видно, что увеличение морозостойкости происходит при увеличении дозировки ГП, при повышении дозировки ГФ, а также при совместном увеличении дозировки ГП и ГФ.

На основе математического планирования эксперимента определены оптимальные дозировки компонентов комплексного модификатора: гиперпластификатор – 1,5%; гидрофобизатор – 0,15%; метакаолин – 5% от массы цемента. С учетом выбранных оптимальных дозировок компонентов комплексного модификатора установлены физико-механические свойства модифицированного СУБ (табл. 2).

При марке по расплыву конуса Р5 модифицированный СУБ имеет класс по прочности на сжатие В50, высокую морозостойкость и водонепроницаемость (рис. 2).

Интерес представляет изучение структуры цементного камня, модифицированного СУБ (рис. 3).

Фазовый состав гидратных новообразований цементного камня, изготовленного из теста нормальной плотности на цементе ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б ГОСТ 31108–2016 АО «Ульяновскцемент» с оптимальным содержанием комплексного модификатора, изучали методами РФА и электронной микроскопии.

На рис. 4 представлена сложная структура цементирующего вещества. В основной гелеподобной массе но-

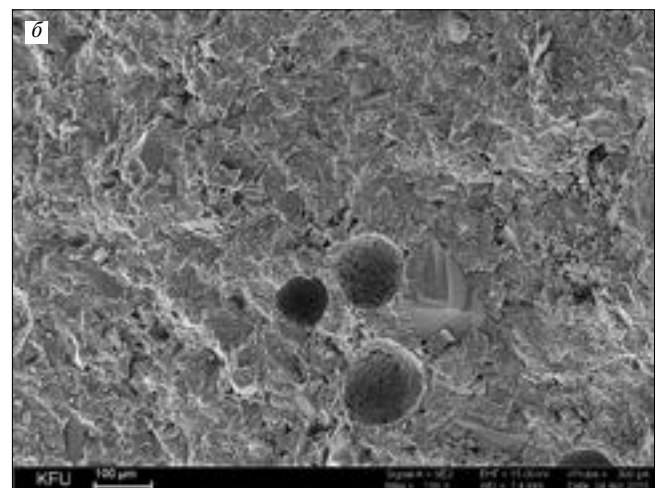
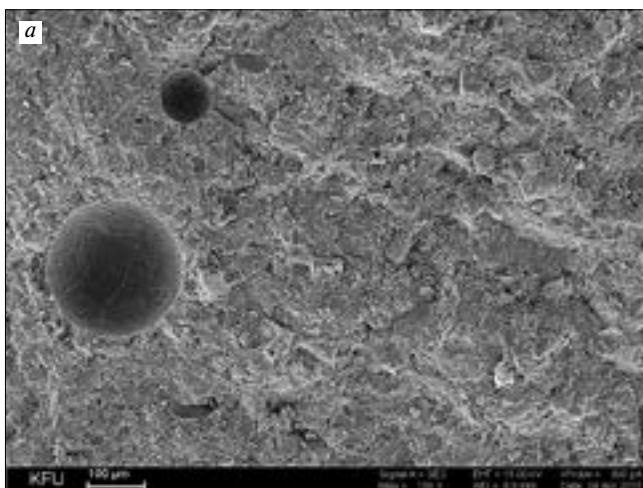


Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки образцов цементного камня (увеличение ×100): а – без добавки; б – с комплексным модификатором

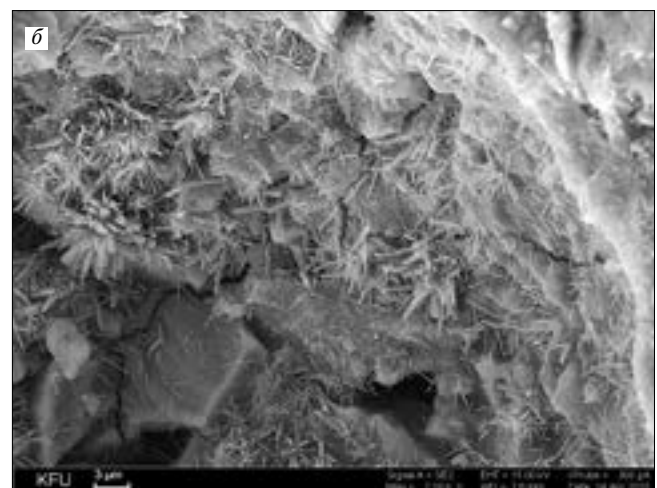
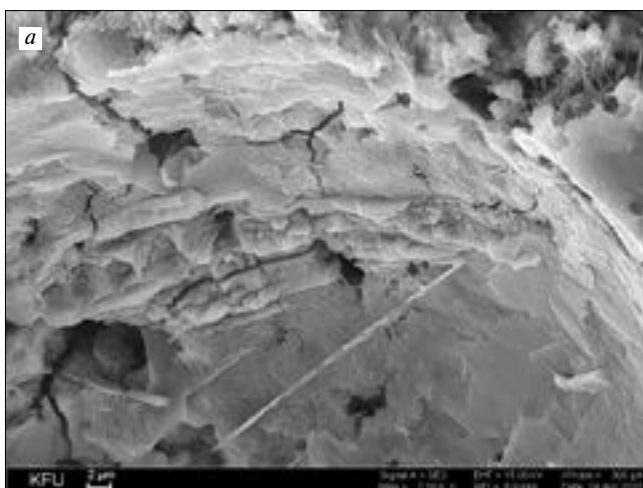


Рис. 4. Структура излома цементного камня нормального твердения (увеличение ×2000): а – скол образца без добавки; б – скол образца с комплексным модификатором

Таблица 2

Характеристика бетонной смеси	Показатель
Плотность, кг/м ³	2470
Марка по расплыву конуса	P5
Марка по осадке конуса	P5
Расслаиваемость: раствороотделение, %	2,7
водоотделение, %	0,45
Температура, °С	25
Сохраняемость свойств, ч	2
Свойства модифицированного СУБ	
Предел прочности при сжатии в возрасте 3 сут, МПа	42,5
Предел прочности при сжатии в возрасте 7 сут, МПа	56,9
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, МПа	64,62
Предел прочности при растяжении при изгибе в возрасте 28 сут, МПа	8,98
Критический коэффициент интенсивности напряжений	1,864
Модуль упругости, МПа	39,4·10 ³
Марка по водонепроницаемости	W16
Марка по морозостойкости	F600
Усадка, мм/м	0,2

вообразований наблюдаются иглообразные кристаллы эттрингита, заполняющие свободные полости. Эттрингит образуется в свободных объемах цементующего вещества. На электронных микрофотографиях образцов цементного камня с комплексным модификатором наблюдается заполнение пор гидросульфалюминатом кальция, при этом формируются кристаллические новообразования значительно меньшей дисперсности, чем в составе без добавления комплексного модификатора. Увеличение концентрации гидросульфалюмината кальция и удельной поверхности гидратных фаз как в общей структуре цементного камня, так и в дефектных областях пространственного скелета приводит к упрочнению материала.

Уплотнение и упрочнение структуры на начальных этапах твердения является следствием того, что и гидросульфалюминат кальция кристаллизуется с увеличением объема преимущественно в порах цементного камня.

Новообразования, кристаллизующиеся в присутствии комплексной добавки в мелкодисперсном виде, коагулируют поры и капилляры цементного камня, упрочняя и уплотняя его структуру.

С помощью РФА произведена оценка влияния комплексной добавки на состав продуктов гидратации цемента, из которой видно, что на контрольном образце имеются дифракционные отражения негидратированных минералов портландцементного клинкера, а именно: C₃S – алита (d=3,3039 2,7804; 2,7517; 2,6144; 2,3221; 2,1988; 1,7668; 1,6294 Å), C₂S – белита (2,8848;

2,7804; 2,7517; 2,7135; 2,2875; 2,1896 Å), C₄AF – целита (7,3202; 3,6581; 2,0553; 1,8269 Å), C₃A – трехкальциевого алюмината (2,7135; 1,5555 Å) и гидратных новообразований Ca(OH)₂ – гидрата оксида кальция (4,9247; 3,116; 2,6309; 1,9287; 1,7971; 1,6882; 1,4859; 1,4505 Å), эттрингита (9,7544; 5,6201; 4,686; 3,8766; 2,1988; 2,1502 Å), CaCO₃ – (3,8766; 3,039; 2,6309 Å). Для образца с комплексным модификатором: C₃S – алита (d=3,0386; 2,7796; 2,7517; 2,6145; 2,3241; 2,1883; 1,7667; 1,6290 Å), C₂S – белита (2,8853; 2,7796; 2,7517; 2,709; 2,2872; 2,1883 Å), C₄AF – целита (7,3154; 3,6598; 2,0566; 1,8269 Å), C₃AF – целита (7,3154; 3,6598; 2,0566; 1,8269 Å), C₃A – трехкальциевого алюмината (2,709; 1,5555 Å) и гидратных новообразований Ca(OH)₂ – гидрата оксида кальция (4,9241; 3,1119; 2,6309; 1,9283; 1,7964; 1,6888; 1,4859; 1,4505 Å), эттрингита (9,7387; 5,6122; 4,6889; 3,8752; 2,1988; 2,1504 Å), CaCO₃ – (3,8752; 3,0386; 2,6309 Å). Межплоскостные расстояния приведены в скобках.

Количественный расчет по методу Ритвельда с учетом 20% добавленной фазы показал, что в составе с комплексным модификатором наблюдается количество исходных фаз: портландцемента на 43% больше, белита на 35% меньше, количество портландцемента уменьшается на 50%, карбоната кальция – на 8%, гидросиликатов кальция меньше на 30%.

На основании проведенных исследований, а именно рентгенофазового анализа и электронной микроскопии можно сделать вывод, что пониженное содержание гидроксида кальция в образцах с комплексным модификатором обусловлено адсорбцией гидроксида кальция на высокодисперсных частицах и реакцией взаимодействия с метакаолином, также способствующими уменьшению содержания гидроксида кальция в цементном камне.

Таким образом, выявлен механизм влияния комплексного модификатора на структурообразование и фазовый состав цементного камня.

Выводы

В работе получен состав СУБ для конструкций безрулонной кровли. Исследованы основные физико-механические свойства СУБ с позиции существенного повышения прочности и долговечности. Методами РФА и электронной микроскопии показано, что повышение долговечности СУБ обуславливается формированием более мелкокристаллической и мелкодисперсной структуры цементного камня, формированием эттрингита в порах и капиллярах цементного камня, а также формированием гидросиликатов кальция преимущественно в низкоосновном виде.

Разработанный СУБ для гидроизоляции плоских кровель зданий имеет высокие эксплуатационные характеристики: класс по прочности B50, морозостойкость F600, водонепроницаемость W16, трещиностойкость оценивается критическим коэффициентом интенсивности напряжений 1,864.

Список литературы

1. Штейн И.И. Новые кровельные материалы для крупнопанельных крыш. Л.: Стройиздат, 1966. 130 с.
2. Патент РФ 141336. *Безрулонная монолитная кровля* / Изотов В.С., Ибрагимов Р.А., Богданов Р.Р., Ибнеев Б.Т. Заявл. 09.01.2014. Опубл. 27.05.2014. Бюл. № 15.
3. Кирсанова А.А., Крамар Л.Я. Органоминеральные модификаторы на основе метакаолина для цемент-

References

1. Shtein I.I. *Novye krovельnye materialy dlya krupnopanельnykh krysh* [New roofing materials for large-panel roof]. Leningrad: Sroystizdat. 1966. 130 p.
2. Patent RF 141336. *Bezrulonnaya monolitnaya krovlya* [No roll monolithic roof]. Izotov V.S., Ibragimov R.A., Bogdanov R.R., Ibneev B.T. Declared 09.01.2014. Published 27.05.2014. Bulletin No. 15. (In Russian).
3. Kirsanova A.A., Kramar L.YA. Organomineral modifiers on the basis of meta-kaolin for cement concretes.

- ных бетонов // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 54–56.
4. Шейнфельд А.В. Органоминеральные модификаторы как фактор, повышающий долговечность железобетонных конструкций // *Бетон и железобетон*. 2014. № 3. С. 16–21.
 5. Калашников В.И., Хвастунов А.В., Хвастунов В.Л. Физико-механические и гигрометрические свойства порошково-активированных высокопрочных щебеночных бетонов и фибробетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2011. № 5. С. 161–164.
 6. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Влияние некоторых гиперпластификаторов на основные свойства цементных композиций // *Строительные материалы*. 2010. № 11. С. 14–17.
 7. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А., Богданов Р.Р. Исследование влияния супер- и гиперпластификаторов на основные свойства цементного теста // *Известия КазГАСУ*. 2013. № 2 (24). С. 221–225.
 8. Войтович В.А., Хряпченкова И.Н. Направления применения гидрофобизаторов в строительстве (информация) // *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 76–80.
 9. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А., Богданов Р.Р. Исследование влияния отечественных гидрофобизаторов на основные свойства цементного теста и раствора // *Известия КазГАСУ*. 2013. № 4 (26). С. 207–210.
 10. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А., Богданов Р.Р. Свойства модифицированного самоуплотняющегося бетона для плоских кровель зданий // *Материалы VIII Академических чтений РААСН «Механика разрушения строительных материалов и конструкций»*. Казань. 2014. С. 27–31.
4. Sheinfel'd A.V. Organic-modifiers as a factor that increases the durability of reinforced concrete structures. *Beton i zhelezobeton*. 2014. No. 3, pp. 16–21. (In Russian).
 5. Kalashnikov V.I., Khvastunov A.V., Khvastunov V.L. Physical and mechanical and hygrometric properties of powder-activated high crush concrete and fiber-reinforced concrete with a low specific consumption per unit of cement strength. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2011. No. 5, pp. 161–164. (In Russian).
 6. Izotov V.S., Ibragimov R.A. Influence of some hyperplasticizers on the basic properties of cement compositions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 11, pp. 14–17. (In Russian).
 7. Izotov V.S., Ibragimov R.A., Bogdanov R.R. Studies of the influence of super- and giper plasticizers on the basic properties of cement paste. *Izvestiya KazGASU*. 2013. No. 2 (24), pp. 221–225. (In Russian).
 8. Voytovich V.A., Hryapchenkova I.N. About trends in application of hydrophobisators in construction (information). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 7, pp. 76–80. (In Russian).
 9. Izotov V.S., Ibragimov R.A., Bogdanov R.R. Studies of the influence of domestic water-repelling additions on the basic properties of cement paste and mortar. *Izvestiya KazGASU*. 2013. No. 4 (26), pp. 207–210. (In Russian).
 10. Izotov V.S., Ibragimov R.A., Bogdanov R.R. Properties of modified self-compacting concrete for flat roofs of buildings. *Materials of the VIII Academic readings of RAASN "Mechanics of destruction of building materials and structures"*. Kazan. 2014, pp. 27–31. (In Russian).

WorldBuild
Baku

23-я Азербайджанская
Международная Выставка
«Строительство»

18 - 21 октября 2017
Баку Экспо Центр, Баку, Азербайджан

Для дополнительной информации
www.worldbuild.az

www.fb.com/WorldBuildBaku #WorldBuildBaku

Спонсоры
ITE STECA
Тел: +99412 404 10 00
Факс: +99412 404 10 01
E-mail: build@iteca.az

В.В. БЕЛОВ, д-р техн. наук (vladim-bel@yandex.ru), П.В. КУЛЯЕВ, инженер (p.kuliaev@yandex.ru)
Тверской государственной технической университет (170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22)

Принципы проектирования мелкозернистых карбонатных бетонов повышенной трещиностойкости

Рассмотрены принципы создания эффективных мелкозернистых карбонатных бетонов повышенной трещиностойкости с использованием местного техногенного сырья – отходов дробления карбонатных пород, как в виде заполнителя оптимизированного зернового состава, так и в качестве тонкодисперсной минеральной добавки, а также роли совместного применения известнякового наполнителя и суперпластификатора в повышении эксплуатационных свойств этих бетонов. Известняковый наполнитель и суперпластификатор в составе комплексной добавки способствуют равномерному распределению цемента внутри минеральной матрицы бетона, что положительно сказывается на процессе твердения бетона и формировании его структуры и свойств. Комплексная добавка снижает капиллярную пористость композита, при этом тонкодисперсный известняковый наполнитель обеспечивает армирование цементной матрицы на микроуровне. Для количественной оценки трещиностойкости бетона предлагается коэффициент трещиностойкости, представленный в простой и удобной для анализа форме.

Ключевые слова: мелкозернистый карбонатный бетон, коэффициент трещиностойкости, микропластические деформации.

Для цитирования: Белов В.В., Куляев П.В. Принципы проектирования мелкозернистых карбонатных бетонов повышенной трещиностойкости // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 44–47.

V.V. BELOV, Doctor of Sciences (Engineering) (vladim-bel@yandex.ru), P.V. KULYaEV, Engineer (p.kuliaev@yandex.ru)
Tver State Technical University (22, Afanasiy Nikitin Embankment, Tver, 170026, Russian Federation)

Principles of Design of Fine Carbonate Concretes with Improved Crack-Resistance

Principles of the creation of efficient fine carbonate concretes with improved crack-resistance with the use of local anthropogenic raw materials –wastes of carbonate rocks crushing both as a filler of the optimized grain composition and as a fine-disperse mineral additive, as well as the role of joint application of a limestone filler and the superplasticizer in improving the operational properties of these concretes are considered. The limestone filler and superplasticizer in the composition of a complex additive promote the uniform distribution of the cement inside the mineral matrix of the concrete that positively influences on the process of concrete hardening and formation of its structure and properties. The complex additive reduces the capillary porosity of the composite, at that the fine-disperse limestone filler provides reinforcement of the cement matrix at the micro-level. For qualitative assessment of the concrete crack-resistance, the coefficient of crack-resistance is proposed in a simple and convenient form for analyzing.

Keywords: fine carbonate concrete, coefficient of crack-resistance, micro-plastic deformations.

For citation: Belov V.V., Kulyaev P.V. Principles of design of fine carbonate concretes with improved crack-resistance. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 44–47. (In Russian).

В современном малоэтажном и монолитном строительстве при проектировании тонкостенных конструктивных элементов (оболочки, перекрытия) широко используются мелкозернистые бетоны, в том числе, с заполнителями на основе местного вторичного сырья, являющиеся достаточно эффективным и экономичным видом бетонов. Поскольку к эксплуатационным свойствам данных бетонов: трещиностойкости, прочности и долговечности предъявляются повышенные требования, это необходимо учитывать при проектировании рассматриваемых в данной работе мелкозернистых карбонатных бетонов (МЗКБ) на основе продуктов отсева дробления известняка, используемого как наполнитель и после помола – как тонкодисперсный наполнитель в бетон. Такие эксплуатационные свойства МЗКБ, как трещиностойкость и прочность, связаны с правильным подбором состава бетона, оптимизацией гранулометрического состава заполнителя и дозировки наполнителя. Использование порошковой технологии в производстве мелкозернистых бетонов с указанием необходимости подбора сходных по структуре компонентов и применением техногенного вторичного сырья с целью повышения деформативных свойств, трещиностойкости бетонов на композиционном вяжущем описано в работах [1–4]. Отмечается высокая роль добавок известнякового микронаполнителя в замоноличивании стыков при реставрации и реконструкции зданий и сооружений в свете влияния микронаполнителя на процессы твердения композита, снижения усадки и уровня развития контракционных трещин, повышения трещиностойко-

сти и долговечности [5]. В работах [6, 7] дан анализ генезиса использования карбонатных пород в виде отходов предприятий по переработке известняков и мела и перспективы использования известняка в качестве компонента мелкозернистых бетонов. Большой вклад в оценку эксплуатационных характеристик карбонатных бетонов сделан В.Г. Хозиным [8]. Предпосылкой использования известнякового наполнителя, как отмечает автор, является его высокая размолосопособность, относительно небольшая водопотребность и более интенсивное твердение бетона в ранние сроки. При этом средняя активность вяжущего с известняковым наполнителем в нормальных условиях твердения в возрасте первых суток достигает 25–35 МПа, что в два раза выше активности бездобавочного цементного вяжущего.

Один из способов повышения трещиностойкости – создание равномерной плотной структуры композита, способной к микропластическим деформациям. Этому способствует создание контактной структуры заполненного типа и введение в структуру бетона известнякового микронаполнителя. В статье [9] рассматриваются принципы формирования структуры композитов повышенной трещиностойкости. Прочность бетона представляется комплексной интегральной характеристикой, включающей ряд критериев. Создается некая структурно-имитационная модель дефектной структуры бетона с неоднородностью по порам и трещинам и приводится описание МКЭ процедуры анализа с проверкой исходных предположений. В статье [10] рассматриваются теории разрушения Кулона–Мора и Гриффитса и плоская ги-

потетическая модель с плотнейшей упаковкой составляющих частиц заполнителей различной сингонии, с конусовидной картиной передачи нагрузки внутрь композита. Показано, что это явление не зависит от геоморфной природы агрегатных составляющих композита (например, для известнякового и гранитного заполнителя конусы подобны). Это указывает на возможность формирования плотной структуры за счет оптимизации упаковки и рациональной гранулометрии. При оценке трещинообразования материалов перед разрушением [11–13] в качестве расчетной схемы главным образом используется модель Гриффитса, представляющая собой упругое пространство с одиночной трещиной. Согласно этой модели способность магистральной трещины к дальнейшему развитию целиком зависит от линейных размеров трещины и напряженно-деформированного состояния окружающего ее пространства. Критическое напряжение, сопровождающееся спонтанным развитием трещины отрыва, по данной модели может определяться по формуле Гриффитса–Орвана:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2\gamma E}{\pi l}}, \quad (1)$$

где σ – критическое напряжение образования и развития трещины; γ – эффективная поверхностная энергия; E – модуль упругости бетона; l – эффективная длина трещины (без потери физического смысла может заменяться средним размером зерна-кристаллита в структуре композита l мм).

Для мелкозернистого карбонатного бетона (МЗКБ), материала с гетерогенной и конгломератной структурой, при разрушении реализуется другая модель: в бассейне магистральной трещины образуется большое количество микротрещин, отбирающих у главной трещины часть энергии на образование и развитие новых поверхностей. В этом случае формула (1) с поправкой на суммарную длину трещины приобретает вид:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2\sigma_0(n+1)E}{l}}. \quad (2)$$

где n – количество микротрещин.

Данная зависимость отражает факт развития в бассейне магистральной трещины кластера микротрещин с суммарной длиной nl . Напряжение повышается при увеличении поверхностного натяжения – упругой энергии, которая зависит от суммарного размера микротрещин в объеме магистральной трещины или суммы размеров микрокристаллов в структуре материала. В МЗКБ при введении в его структуру известнякового микрозаполнителя происходит выравнивание на площадках скола у краев микротрещин концентрации напряжений за счет эффекта гомогенизации структуры при заполнении микропустот и выравнивания распределения по объему продуктов гидратации клинкерных минералов. Данная концентрация критична для материалов, сопротивляющихся разрушению по схеме Гриффитса, ввиду ограничения развития деформаций упругой областью и гомогенности структуры композита. Но бетон при разрушении сопротивляется как упругопластичный материал, и каждый микропластический объем материала работает как упругая микротрещина в модели Гриффитса–Орвана, зависящая от размера зерна микрочастицы, напряженно-деформированного состояния в единице объема бетона, масштабного фактора и отбирающая у магистральной трещины эквивалентную часть совокупной энергии. В связи с этим авторы считают правомерным оценку трещиностойкости МЗКБ на основе модели Гриффитса–Орвана с вычислением коэффициента трещиностойкости через соотношение значений приведенных длин трещин для сухих и водонасыщенных образцов [13, 14]:

$$K_{тр} = \frac{L_{пр}^{сух}}{L_{пр}^{нас}}. \quad (3)$$

Приведенная длина трещины для сухих и водонасыщенных образцов определяется по однотипной формуле:

$$L_{пр}^{сух,нас} = \frac{2E\gamma}{\mu^2(R_{сж}^{сух,нас})^2}, \quad (4)$$

где $L_{пр}^{сух}$ и $L_{пр}^{нас}$ – значения приведенных длин трещин для сухих и водонасыщенных образцов; E – модуль упругости бетона; μ – коэффициент Пуассона; $R_{сж}^{сух,нас}$ – пределы прочности бетона на сжатие для сухих и водонасыщенных образцов; γ – эффективная поверхностная энергия.

С учетом того, что граница трещинообразования и разрушения для водонасыщенных образцов мала по сравнению с сухими образцами [12] и ею можно пренебречь, т. е. $\sigma^{нас} \approx R_{сж}^{нас}$, и решая уравнения (4) и (5) относительно γ с подстановкой ее значения из более удобной для практических расчетов формулы (1), получим значение коэффициента трещиностойкости:

$$K_{тр} = \frac{\sigma^2}{R_{сж}^2}, \quad (5)$$

где σ – критическое напряжение образования и развития трещины (предел трещиностойкости) для сухих образцов, МПа; $R_{сж}$ – предел прочности бетона на сжатие для сухих образцов, МПа.

В Тверском государственном техническом университете были проведены эксперименты по установлению зависимости коэффициента трещиностойкости от водоцементного отношения, содержания суперпластификатора СП-1 и отношения известнякового тонкодисперсного наполнителя к цементу в связующем. С целью обеспечения наиболее плотной упаковки зерен известняка в структуре бетона и повышения трещиностойкости заполнитель мелкозернистого карбонатного бетона оптимизировался по зерновому составу в соответствии с формулой Функа–Дингера путем смешивания фракций в оптимальных соотношениях, приближенных к значениям соотношений идеальной кривой просева. При получении наполнителя продукт отсева дробления измельчался в шаровой мельнице до значения удельной поверхности порядка $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ и добавлялся в смесь как заменитель основного вяжущего в количестве до 50 мас. %. Тем самым была достигнута экономия цемента и оптимальная плотная структура композита с повышенными показателями трещиностойкости и прочности.

Использовался метод трехфакторного планированного эксперимента типа В-D13 по соответствующей матрице из десяти вариантов приготовления смеси, где в качестве входных переменных были: x_1 – соотношение известнякового микрозаполнителя и цемента (%); x_2 – отношение суперпластификатора к цементу; x_3 – процентное содержание в известняковом микрозаполнителе частиц диаметром до 0,08 мм, а в качестве функций отклика – коэффициент трещиностойкости и предел прочности при сжатии.

Для оценки коэффициента трещиностойкости МЗКБ экспериментально определялся по методике, аналогичной описанной в работе [14], предел трещиностойкости σ . Результаты испытаний бетона на сжатие на кубах $7 \times 7 \times 7$ см с оценкой коэффициента трещиностойкости приведены в таблице.

Как видно из данных таблицы, для составов с известняковым микрозаполнителем разница между значениями предела трещиностойкости и предела прочности при сжатии меньше, чем для составов без известнякового компонента, что обусловило повышенные значения коэффициента трещиностойкости.

По результатам исследований была получена регрессионная зависимость коэффициента трещиностойкости ($\times 10^{-3}$):



Рис. 1. Сравнение поверхностей матрицы вяжущего без известняка (а) и с известняком (б)

В/Ц	Суперпластификатор СП-1, % от массы цемента	Соотношение известняк/цемент	Предел трещиностойкости и предел прочности при сжатии		Коэффициент трещиностойкости $K_{тр}$
			σ	R , МПа	
0,47	0	0	34,4	44,1	0,608
0,45	0	50	23,3	27,8	0,702
0,39	0,75	0	31,5	42,6	0,547
0,34	1	0	36,7	48,5	0,573
0,37	0,45	0	31,9	43	0,55
0,46	0	30	24,2	35,6	0,462
0,41	0,45	30	34,1	41,2	0,685
0,39	0,75	17,8	40,1	46,8	0,734
0,43	0,27	50	30,3	37,3	0,66
0,41	0,75	50	30	37,1	0,654

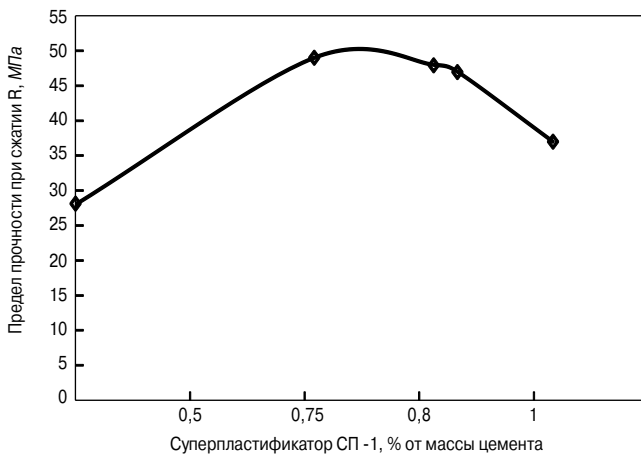


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии от содержания суперпластификатора СП-1

$$y = 553,82 + 38,44x_1 + 48,61x_2 + 1,38x_3 + 18,07x_1^2 - 39,52x_2^2 + 118,85x_3^2 + 25,8x_1x_2 - 34,4x_1x_3 - 53,19x_2x_3. \quad (6)$$

Наличие тонкодисперсной фракции известняка в связующем веществе выравнивает скачкообразность набора прочности бетона в силу интенсификации и выравнивания процесса гидратации за счет лучшего аккумулирования воды и более равномерного распределения зерен цемента в смеси, тем самым существенно улучшая эксплуатационно-технологические и реологические свойства мелкозернистых бетонов с карбонатным компонентом. Формируется более плотная структура МЗКБ, обеспечивающая его улучшенные эксплуатационные характеристики с повышенными значениями начального модуля упругости и ударной вязкости – трещиностойкости за счет более рационального перераспределения напряжений с вязкой гелевой структурой на кристаллический сросток и вытеснения под нагрузкой капиллярной влаги. При этом снижаются значения необратимых деформаций сплющивания и излома структурных элементов вокруг пустот и разрыва на микроуровне, формируется более однородный по размерам пор и с меньшей дефектностью характер поровой структуры (рис. 1).

Использование известнякового наполнителя в вяжущей части требует введения суперпластификатора для компенсации потери прочности из-за повышенного воздухововлечения и, как следствие, высокого содержания микропор. Микропоры заполняются известняко-

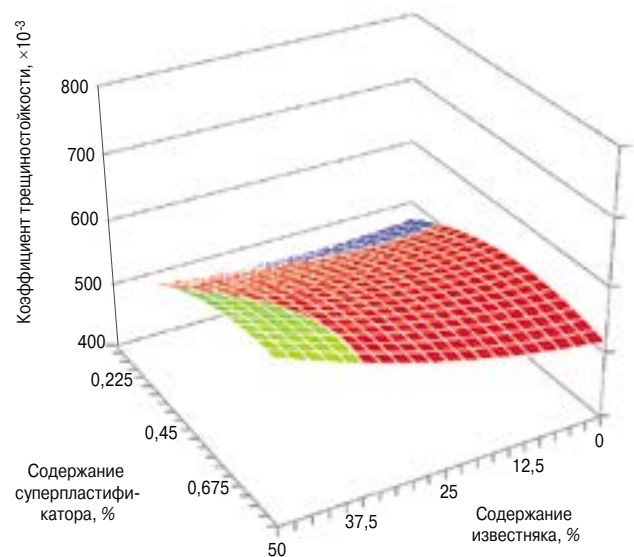


Рис. 3. Зависимость коэффициента трещиностойкости от процентного содержания суперпластификатора СП-1 и известнякового наполнителя в МЗКБ

вым наполнителем, образуя пластические зоны, а суперпластификатор интенсифицирует помол, адсорбционно снижает прочность и поверхностную энергию, и тем самым выравнивает при твердении композита распределение внутренних концентраторов напряжений по объему, увеличивая количество пластических зон и переводя их в область капиллярных и гелевых микропор. Данный процесс способствует повышению динамической вязкости и трещиностойкости МЗКБ.

Следующий график (рис. 2) иллюстрирует зависимость предела прочности при сжатии от содержания суперпластификатора СП-1.

Зависимость коэффициента трещиностойкости от содержания известнякового наполнителя и суперпластификатора СП-1 в МЗКБ приведена на рис. 3.

На повышение коэффициента оказывает влияние совместное синергическое действие наполнителя и суперпластификатора. Формируется структура с развитой поверхностью зон микропластических деформаций, которые отбирают у магистральной трещины активную часть энергии разрушения и тем самым повышают сопротивляемость композита к формированию и развитию зон упругих микротрещин.

Выводы.

1. Коэффициенты трещиностойкости для составов с карбонатным микронаполнителем превышают в сред-

нем на 40% коэффициенты трещиностойкости для составов без известнякового компонента. Это свидетельствует о более высокой эффективности использования МЗКБ в условиях повышенных требований к эксплуатационным свойствам мелкозернистых бетонов.

Список литературы

1. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л., Толстой А.Д., Володченко А.А. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композиций будущего // *Строительные материалы*. 2015. № 9. С. 18–22.
2. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Толстой А.Д., Ковалева И.А. Порошковые бетоны с применением техногенного сырья // *Вестник МГСУ*. 2015. № 11. С. 101–109.
3. Лесовик В.С., Аксёнова Л.Л. К проблеме повышения эффективности эксплуатационных характеристик бетонов // *Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Материалы Международной научно-практической конференции*. Омск. 2013. С. 122–124.
4. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Композиционные вяжущие для порошковых бетонов с промышленными отходами // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 1. С. 6–9.
5. Плугин А.А., Костюк Т.А., Салия М.Г. Бондаренко Д.А. Применение карбонатных добавок в цементных составах для гидроизоляционных и реставрационных работ зданий и сооружений // *Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ*. 2012. С. 224–227.
6. Уруев В.М., Алексеева К.Н., Соловьева И.Е., Шанина О.М. Генезис карбонаткальциевых отходов и их характеристика // *Сборник материалов XVI МНТК «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности»*. Тула. 2015. С. 149.
7. Уруев В.М., Алексеева К.Н., Соловьева И.Е., Шанина О.М. Исследование мелкозернистых бетонов с применением карбонатных микрозаполнителей // *Сборник материалов XVI МНТК «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности»*. Тула. 2015. С. 152.
8. Хозин В.Г., Сибгатуллин И.Р., Хохлаков О.В., Красникова Н.М. Производство ЦНВ из техногенных отходов – эффективный путь решения экологических и сырьевых проблем // *Строительные материалы и изделия*. 2012. С.190–193.
9. Харитонов А.М. Принципы формирования структуры композиционных материалов повышенной трещиностойкости // *Технологии бетонов*. 2011. № 3–4. С. 24–26.
10. Бондарев П.М., Писарев В.В. Образование напряженных зон в твердом теле при воздействии внешней силы // *Технологии бетонов*. 2010. № 3–4. С. 60–63.
11. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. М.: Высшая школа, 1990. 400 с.
12. Давиденко А.Ю. Методика определения критериев трещиностойкости бетона // *Сборник материалов XV Академических чтений РААСН МНТК «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии»*. Казань. 2010. Т. 2. С. 18–21.
13. Пунагин В.В. Особенности формирования деформативных характеристик модифицированного монолитного бетона // *Сучасні будівельні матеріали*. Вып. 2010–1 (81). С. 127–130.
14. Moser B, Pfeifer C. Microstructure and Durability of Ultra-High Performance Concrete. Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. Kassel, Germany. March 05–07, 2008.

2. Совместное использование известняка и суперпластификатора СП-1 оказывает синергический эффект на процесс формирования прочности и структурообразования цементного камня, способствуя росту коэффициента трещиностойкости.

References

1. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Chulkova I.L., Tolstoy A.D., Volodchenko A.A. Affinity of structures as a theoretical basis for designing composites of the future. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 9, pp. 18–22. (In Russian).
2. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Tolstoy A.D., Kovaleva I.A. Powdered concrete using technogenic raw materials. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 11, pp. 101–109. (In Russian).
3. Lesovik V.S., Akseonova L.L. To the problem of increasing the efficiency of operational characteristics of concrete. *Innovative materials and technologies (XX scientific readings) Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Omsk. 2013, pp. 122–124. (In Russian).
4. Tolstoy A.D., Lesovik V.S., Kovaleva I.A. Composite binders for powdered concrete with industrial waste. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 1, pp. 6–9. (In Russian).
5. Plugin A.A., Kostyuk T.A., Saliya M.G., Bondarenko D.A. Application of carbonate additives in cement compositions for waterproofing and restoration works of buildings and structures. *Collection of scientific works of the Institute of Construction and Architecture MSUCE*. Moscow. 2012, pp. 224–227. (In Russian).
6. Uruev V.M., Alekseeva K.N., Solovyeva I.E., Shaniina O.M. Genesis of carbonaceous waste and their characteristics. *Collection of materials XVI ISTC “Actual problems of construction, construction industry and industry”*. Tula. 2015, p. 149. (In Russian).
7. Uruev V.M., Alekseeva K.N., Solovyeva I.E., Shaniina O.M. Investigation of fine-grained concrete with the use of carbonate micro fillers. *Collection of materials XVI ISTC “Actual problems of construction, construction industry and industry”*. Tula. 2015, p. 152. (In Russian).
8. Khozin V.G., Sibgatullin I.R., Khokhryakov O.V., Krasnikova N.M. Production of CNV from man-made waste is an effective way to solve environmental and raw materials problems. *Stroitel'nye materialy i izdelija*. Kazan. 2012, p. 190. (In Russian).
9. Haritonov A.M. Principles of formation of the structure of composite materials with increased crack resistance. *Tehnologii betonov*. 2011. No. 3–4, pp. 24–26.
10. Bondarev P.M., Pisarev V.V. The formation of stress zones in a solid under the action of an external force. *Tehnologii betonov*. 2010. No. 3–4, pp. 60–63. (In Russian).
11. Aleksandrov A.V., Potapov V.D. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* [Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity]. Moscow: Vysshaya shkola. 1990. 400 p.
12. Davidenko A.Yu. Methodology for determining criteria for crack resistance of concrete. *Collection of materials of XV Academic readings of RAACS ISTC “Achievements and problems of materials science and modernization of the construction industry”*. Kazan. 2010. Vol. 2, pp. 18–21. (In Russian).
13. Punagin V.V. Features of formation of deformation characteristics of modified monolithic concrete. *Suchasni budiveli ni materialy*. Vol. 2010–1 (81), pp. 127–130.
14. Moser B, Pfeifer C. Microstructure and Durability of Ultra-High Performance Concrete. Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. Kassel, Germany. March 05–07, 2008.



К 120-летию со дня рождения Моисея Исаевича Хигеровича

Этапы жизни, научная и педагогическая деятельность

Шестого июля 2017 года исполнилось 120 лет со дня рождения выдающегося ученого в области строительного материаловедения Моисея Исаевича Хигеровича.

Моисей Исаевич Хигерович – доктор технических наук, профессор, лауреат Сталинской премии, родился 6 июля 1897 г. в Минске Российской империи в обеспеченной еврейской семье. Его отец был канцелярским служащим, мать – зубным врачом. В 1915 г. окончил минскую гимназию. В этом же году поступил на химическое отделение Московского промышленного училища, где учился три с половиной года. В 1918 г. ушел с последнего курса и работал в течение четырех лет техником в различных отраслях промышленности. В 1922 г. М.И. Хигерович был принят на физико-математический факультет, затем преобразованный в химический факультет Московского государственного университета, который окончил в 1929 г. Затем десять лет работал старшим научным сотрудником в Центральном НИИ промышленных сооружений (ЦНИПС). С 1939 г. Моисей Исаевич Хигерович начал преподавательскую деятельность в МИСИ им. В.В. Куйбышева, где в 1940 г. стал доцентом кафедры строительных материалов. Также в 1939–1940 гг. он работал в Академии архитектуры СССР.

С началом Великой Отечественной войны М.И. Хигерович был направлен на Урал, где в г. Миассе принимал активное участие в строительстве Уральского автозавода. Там он создал лабораторию строительных материалов, отвечал за качество бетона для устройства фундаментов, в том числе для оборудования, устанавливаемого в промерзшие зимой грунты. Разработки М.И. Хигеровича позволяли не только экономить цемент и другие фондируемые материалы, но и ускорять монтаж оборудования. Некоторые фундаменты, возведенные по разработанной в те годы технологии, служат на заводе и по настоящее время.

В 1944 г. после возвращения из эвакуации МИСИ по решению Правительства СССР в институте на основе кафедры строительных материалов был создан строительно-технологический факультет. Его первым деканом (с 1944 по 1948 г.) стал М.И. Хигерович. В 1955 г. он защитил докторскую диссертацию, а в 1958 г. ему присвоено звание профессора.

Одновременно с научно-преподавательской деятельностью в МИСИ М.И. Хигерович работал в НИИцемента, группа ученых которого в 1950 г. получила Сталинскую премию III степени за 1949 г. за создание и внедрение в производство новых видов цемента. Среди награжденных были: В.Н. Юнг, Б.Г. Скрамтаев, В.В. Михайлов, А.М. Кузнецов, С.М. Рояк, М.И. Хигерович, Г.Г. Гоциридзе, Э.З. Юдович, Я.Н. Новиков. Сталинская премия вручалась за выдающиеся изобретения и коренные усовершенствования методов производственной работы. М.И. Хигерович разработал и внедрил в производство гидрофобный портландцемент.

Более десяти лет (1958–1968) М.И. Хигерович заведовал кафедрой строительных материалов ордена Трудового Красного знамени Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева. Он заслуженно считается выдающимся ученым в области модификации цемента и бетонов, чему немало способствовало блестящее фундаментальное химическое образование, полученное в МГУ им. М.В. Ломоносова. Он разработал теорию гидрофобизирующего и пластифицирующего действия добавок; им установлено, что гидрофобизация и пластификация происходит за счет тонких ориентированных пленок поверхностно-активных веществ. На основании этой теории был создан ряд гидрофобно-пластифицирующих комплексных добавок, вводимых в бетонную смесь как с водой затворения, так и другими способами. Гидрофобизация цементного порошка асидолом и мылонафтом производилась при помеле клинкера. Этим достигалось улучшение экологической обстановки территорий, поскольку применяемые для гидрофобизации асидол и мылонафт являлись техногенными отходами кубовых остатков жирных кислот, оказывающих крайне негативное влияние на окружающую среду. Следует подчер-

кнуть, что изобретение гидрофобного цемента было революционным шагом для Советского Союза, так как при освоении Крайнего Севера и других удаленных территорий завоз всех видов материалов производился во время летней навигации. Более того, надежность конструкций на его основе, включая долговечность, значительно возрастала. Долговечность также повышалась за счет невысокой удельной поверхности частиц гидрофобного цемента, составлявшей 1800–2000 см²/г, что достигалось относительно грубым помолом. Известно, что обычные портландцементы сохраняют свои вяжущие свойства около трех месяцев. Гидрофобный цемент за счет низкой сорбционной способности имел требуемые качества более года. К сожалению, в середине 1950-х гг. производители гидрофобного цемента прекратили его выпуск. Это мотивировалось тем, что мелющие тела надо было очищать от налипших на них асидола и мылонафта. Для этого применялся помол, например песка.

В течение своей научной и педагогической деятельности Моисей Исаевич воспитал многих учеников – видных ученых А.П. Меркина, В.И. Соловьева, А.Л. Томашпольского, В.Е. Байера и др.

Моисей Исаевич Хигерович был представителем высокой культуры, блестяще образованным и интеллигентным человеком: прекрасно знал русский язык, хорошо владел четырьмя иностранными языками (идишем, польским, немецким, французским), брал уроки актерского мастерства, великолепно и артистично читал лекции, превосходно знал литературу, особенно любил и ценил поэзию. Для воспитания дочери, ведения хозяйства и поддержания языковой практики в его московской квартире жила выпускница Смольного института благородных девиц. Он был автором 30 свидетельств на изобретения, написал более 250 печатных работ – научных статей, монографий, учебников. Среди них особо значимы: 1. Хигерович М.И., Горчаков Г.И., Лейбович Х.М. Гидрофобный цемент и гидрофобно-пластифицирующие добавки в бетонах и растворах. М.: Промстройиздат, 1953. 2. Хигерович М.И., Иванов О.М., Горчаков Г.И., Домокеев А.Г., Ерофеева Е.А. Строительные материалы. М.: Высшая школа, 1966. 3. Хигерович М.И., Меркин А.П. Физико-химические и физические методы исследования строительных материалов: Учебное пособие для студентов строительных факультетов вузов. М.: Высшая школа, 1968. 4. Хигерович М.И., Горчаков Г.И., Рыбьев И.А., Домокеев А.Г., Ерофеева Е.А., Орентлихер Л.П., Попов Л.Н., Попов К.Н. Строительные материалы: Учебник. М.: Стройиздат, 1970. 5. Хигерович М.И., Байер В.Е. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цемента, растворов и бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 6. Хигерович М.И., Горчаков Г.И., Рыбьев И.А., Домокеев А.Г., Ерофеева Е.А., Орентлихер Л.П., Попов Л.Н., Попов К.Н. Строительные материалы: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Производство строительных изделий». М.: Высшая школа, 1982. 352 с. 7. Хигерович М.И., Байер В.Е. Производство глиняного кирпича: Физико-химические способы улучшения свойств. М.: Стройиздат, 1984.

Моисей Исаевич Хигерович с супругой вырастили дочь. Его младший брат Рафаил Исаевич Хигерович (1911–1994) был известным писателем, драматургом, членом Союза писателей СССР.

В связи с 25-летием со дня основания института в 1946 г. МИСИ им. В.В. Куйбышева М.И. Хигерович был награжден орденом Трудового Красного знамени за выдающиеся заслуги в области подготовки инженерных кадров для строительства, а также медалями: «За доблестный труд во время Великой Отечественной войны» и «В память 800-летия Москвы».

М.И. Хигерович умер в 1983 г. Урна с его прахом покоится в колумбарии Донского монастыря в Москве.

Д.В. Орешкин, д-р техн. наук, профессор (dmitrii_oreskin@mail.ru)
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН (ИПКОН РАН)

А.А. ГУВАЛОВ¹, д-р техн. наук (abbas.quvalov@akkord.az), С.И. АББАСОВА¹, канд. хим. наук;
Т.В. КУЗНЕЦОВА², д-р техн. наук

¹ Азербайджанский архитектурно-строительный университет (AZ-1073, г. Баку, ул. Султанова, 5)

² РХТУ им. Д.И. Менделеева (125047, г. Москва, Миусская пл., 7)

Эффективность модификаторов в регулировании свойств бетонных смесей

Применение химических добавок полифункционального действия на основе полимеров и различных солей позволяет регулировать реологические и технологические свойства бетонных смесей за счет явлений адсорбционного модифицирования зерен цемента и продуктов его гидратации. Разработано два типа комплексных добавок полифункционального действия на основе модифицированного продукта коксохимии. Добавка САС-2 содержит 50–60% активного вяжущего, 20–25% солей неконденсированных сульфокислот и 20–25% сульфата натрия. Добавка САС-3 дополнительно включает нитрилотриметилфосфоновую кислоту (НТФ). Результаты показали, что САС-2 продлевает сохраняемость подвижности бетонной смеси от одного до полутора часов, а САС-3 – до трех и более часов. Установлено, что САС-3 малочувствителен к минералогическому составу цементов. Несмотря на замедление начального структурообразования, бетоны с САС-3 интенсивно набирают прочность в последующие сроки твердения. Обеспечивается стабильный эффект в широком диапазоне содержания цемента (350–500 кг/м³) и при различных исходных подвижностях бетонной смеси.

Ключевые слова: модификатор, высокопрочный бетон, подвижность, сохраняемость, минеральные добавки, плотность, прочность, осадка конуса.

Для цитирования: Гувалов А.А., Аббасова С.И., Кузнецова Т.В. Эффективность модификаторов в регулировании свойств бетонных смесей // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 49–51.

A.A. GUVALOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (abbas.quvalov@akkord.az), S.I. ABBASOVA¹, Candidate of Sciences (Chemistry);

T.V. KUZNETSOVA², Doctor of Sciences (Engineering)

¹ Azerbaijan University of Architecture and Construction (5, Ayna Sultanova Street, Baku, AZ-1073 Azerbaijan)

² Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (9, Miusskaya Square, Moscow, 125047, Russian Federation)

Efficiency of Modifiers When Regulating Properties of Concrete Mixes

The use of chemical additives of multifunctional action on the basis of polymers and various salts makes it possible to regulate rheological and technological properties of concrete mixes due to phenomena of adsorption modification of cement grains and product of its hydration. Two types of complex additives of multifunctional action have been developed on the basis of a modified product of the coke chemistry. SAS-2 Additive contains 50–60% of an active binder, 20–25% of salts of uncondensed sulphonic acid, and 20–25% of sodium sulfate. SAS-3 Additive additionally includes the nitri-lotri-methyl-phosphonic acid. Results show that SAS-2 prolongs the safety of mobility of the concrete mix from an hour up to an hour and a half, SAS-3 – up to 3 and more hours. It is established that SAS-3 is not very sensitive to the mineralogical composition of cements. Despite of slowdown of the initial structure formation concrete with SAS-3 intensively increase the strength in later periods of hardening. The stable effect is provided within a wide range of cement content (350–500 kg/m³) and at different initial mobilities of the concrete mixes.

Keywords: modifier, high-strength concrete, mobility, preservation, mineral additives, density, strength, slump of cone.

For citation: Guvalov A.A., Abbasova S.I., Kuznetsova T.V. Efficiency of modifiers when regulating properties of concrete mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 49–51. (In Russian).

Один из путей повышения эффективности технологии бетонов – применение химических добавок полифункционального действия на основе полимеров и различных солей. Это дает возможность улучшить реологические и технологические свойства бетонных смесей за счет явлений адсорбционного модифицирования зерен цемента и продуктов его гидратации. На основе представлений физикохимии поверхностных явлений и теории контактных взаимодействий установлено, что направленное регулирование параметров гидратационного взаимодействия цемента с водой – обязательное условие получения вяжущих и бетонов с заданными свойствами. Использование химических добавок определяется технологическими и техническими эффектами, в том числе сохранности удобоукладываемости во времени.

Для увеличения времени сохранности свойств бетонных смесей применяют замедлители схватывания или их комплексы с суперпластификаторами [1–4]. Наиболее эффективными замедлителями являются соединения, относящиеся к глюконовым и фосфоновым

кислотам [5, 6]. Однако их применение, как правило, сильно замедляет скорость начальных стадий твердения бетона.

Этот недостаток не так значим у товарного бетона, который предназначен для бетонирования массивных сооружений или подземных конструкций, но ощутим в монолитном домостроении и при внедрении современных интенсивных технологий с быстрым снятием опалубки и последующим нагружением несущих элементов зданий и сооружений. Рост объемов монолитного домостроения и ситуация с пропускной способностью автострад обусловили необходимость поиска добавки, повышающей сохраняемость удобоукладываемости бетонных смесей, но существенно не влияющей на раннюю прочность бетона.

Длительное сохранение высокопластичного состояния в цементных системах также может быть обеспечено повышенным содержанием суперпластификатора. Обладающий высокой адсорбционной активностью по отношению к суперпластификаторам С₃А оказывает значительное влияние на начало схватыва-

Таблица 1

Влияние добавок на сохраняемость подвижности бетонных смесей

Добавка	Дозировка, %	Исходная подвижность, см	Сохраняемость, ч	Плотность бетонной смеси, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте		
					1 сут	3 сут	28 сут
СП-1	0,4	24	1	2389	15,2	26,3	36,4
САС-2	0,75	23	1,5	2380	19,8	29,4	37,2
Динамик СП-180	0,7	24	>3	2416	13	29,2	40,3
САС-3	1,25	23	>3	2410	15	29,6	41,4

Таблица 2

Зависимость эффективности САС-3 от состава бетона

Расход цемента, кг/м ³	В/Ц	Дозировка, %	Исходная подвижность, см	Сохраняемость, ч	Плотность бетонной смеси, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте		
						1 сут	3 сут	28 сут
350*	0,59	1,1	23	3	2355	9,1	24,1	34,4
	0,54	1,1	18	3	2368	12,4	26,7	35,4
	0,46	1,1	13	3,5	2413	16,2	31,8	48,3
350**	0,54	1	24	4	2418	6,4	16,7	36,8
400**	0,45	1	21	3,5	2448	13,6	30,3	56,1
450**	0,4	1	22	3	2437	15,7	36,1	61

* Производство Казахского цементного завода (Казах, Азербайджан).
 ** Производство цементного завода НОРМ.

Таблица 3

Влияние модификаторов на свойства высокопрочного бетона с минеральными добавками

Модификатор	В/Ц	Плотность бетонной смеси, кг/м ³	Осадка конуса, см		Прочность бетона при сжатии, МПа, в возрасте			
			исходная	через 2 ч	1 сут	3 сут	7 сут	28 сут
Динамик СП-180	0,3	2491	23	22	43,4	79,3	90,2	106,8
САС-3	0,3	2495	24	22	45,6	82,4	92,6	110,7

ния и образование первичной гидроалюминатной и гидросульфалюминатной кристаллических структур [7]. Таким образом, задача сводится к необходимости селективного ингибирования гидратации и начального структурообразования алюминатных фаз портландцемента при минимизации влияния на силикатные фазы.

Были сформулированы общие предпосылки и требования к функциям добавок этого типа:

- высокая пластифицирующая способность;
- сохраняемость подвижности на различных цементах в течение трех часов и более;
- узкий диапазон оптимальных дозировок 1–1,25%;
- быстрый набор прочности после начального периода замедления твердения.

В Азербайджане разработано два типа комплексных добавок полифункционального действия на основе модифицированного продукта коксохимии. Он представляет собой сульфированную при 150–170°C полициклических радикалов полиакрилсульфонсульфоната.

Добавка САС-2 содержит 50–60% активного вяжущего, 20–25% солей неконденсированных сульфокислот и 20–25% сульфата натрия. Добавка САС-3 дополнительно включает нитрилотриметилфосфоновую кислоту (НТФ). Таким образом, состав добавок позволяет совмещать функцию пластификатора ПАВ и ускорения гидратации [8, 9].

С целью сравнительной оценки влияния разработанных добавок на свойства бетонных смесей и бетонов испытывались известные добавки нафталинформальдегидного олигомера СП-1 и Динамик СП-180. Результаты испытаний приводятся в табл. 1.

Результаты показали, что САС-2 продлевает сохраняемость подвижности бетонной смеси от 1 до 1,5 ч по сравнению с СП-1. Это связано с наличием в составе САС-2 30–40% сульфата натрия [10].

Динамик СП-180 и САС-3 обеспечивают сохраняемость подвижности бетонной смеси более 3 ч (табл. 1), что важно при монолитном бетонировании в скользкой опалубке. Опыты показали, что модифицированный САС-2 состав позволяет получить бетонную смесь с показателем сохраняемости (ГОСТ 10181.1–81 «Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости») около 6–7 ч. Анализ прочностных показателей бетонов с модификаторами САС-3 и Динамик СП-180 показал, что при неизменном В/Ц в первые сутки наблюдается некоторое замедление набора прочности, однако уже к третьим суткам отставание нивелируется, а к 28 суткам бетоны имеют прирост прочности от 10–14%.

Если снижение прочности в суточном возрасте является нежелательным, то существует доступный и надежный технологический способ устранения указанного недостатка – уменьшение В/Ц на 4–8%, позволяющее достигнуть прочность бетона в первые сутки не ниже, чем у контрольного состава.

Эффективность применения пластифицирующего и замедляющего модификаторов может в значительной степени зависеть от В/Ц и расхода цемента. Приведенные в табл. 2 данные показывают, что влияние добавки остается неизменным в достаточно широком интервале водосодержания 187–210 л/м³, расход цемента 350–450 кг/м³, В/Ц 0,4–0,59.

Достигнутые показатели, как установлено, в значительной степени определяются свойствами цемента

различных производителей. Чрезмерная индивидуальность составов и свойств промышленных цементов — одна из актуальных задач практического бетоноведения. Цементы разных производств имеют широкий диапазон изменения водопотребности, сроков начального структурообразования, нарастания прочности и др. Эти различия в большей степени проявляются в присутствии добавок. Полученные данные наглядно демонстрируют незначительную зависимость эффективности действия САС-3 от используемого цемента.

Важной областью применения данных модификаторов являются высокопрочные бетоны. Для обеспечения требуемой прочности в их состав вводятся активные пуццолановые компоненты. В частности, авторами изучено действие комплексного микронаполнителя, состоящего из 50% микрокремнезема (МК) и 50% вулканического пепла (ВП) [11]. Реакционноспособные минеральные добавки и низкое водосодержание (130–150 л/м³) обеспечивают высокую раннюю и марочную прочность бетонов. Но в ряде случаев создаются проблемы с сохраняемостью при высоком содержании наполнителей.

Список литературы

1. Spitatos N., Раде М., Mailvaganam N. et al. Superplasticizers for Concrete: Fundamentals, Technology and Practice. Marquis, Quebec, Canada. 2006. 322 p.
2. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М: Стройиздат, 1998. 768 с.
3. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
4. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы // *Строительные материалы*. 2006. № 10. С. 4–7.
5. Вовк А.И. Гидратация трехкальциевого алюмината С₃А и смесей С₃А-гипс в присутствии ПАВ: адсорбция или поверхностное фазообразование? // *Коллоидный журнал*. 2000. Т. 62. № 1. С. 31–38.
6. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. М.: Палеотип, 2006. 244 с.
7. Ушеров-Маршак А.В., Циак М., Першина Л.А. Совместимость цементов с химическими и минеральными добавками // *Цемент и его применение*. 2002. № 6. С. 6–8.
8. Гувалов А.А. Управление структурообразованием цементных систем с применением модификаторов. *Шестая Международная конференция «Фазовые превращения и прочность кристаллов»*. Черноголовка, 2010. С. 119.
9. Гувалов А.А. Кабусь А.В., Ушеров-Маршак А.В. Влияние органоминеральной добавки на раннюю гидратацию цемента // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 94–95.
10. Гувалов А.А. Управление структурообразованием цементных систем с полифункциональными суперпластификаторами // *Техника и технология силикатов*. 2011. № 3. С. 24–27.
11. Гувалов А.А. Влияние органоминеральных модификаторов на прочность бетона. *Материалы VI Международной научной конференции «Прочность и разрушение материалов и конструкций»*. Оренбург, 2010. С. 281–285.

Нами были испытаны модификаторы САС-3 и Линамикс СП-180 в бетоне класса В80. Расход цемента составлял 480 кг/м³, а В/Ц — 0,3. При одинаковом водосодержании дозировка модификатора Линамикс СП-180 составляла 1%, а САС-3 при той же эффективности — 1,5%. Для обоих составов обеспечена нужная сохраняемость ОК = 22 см в течение 2 ч. Кинетика набора прочности для бетона на нормском цементе отражена в табл. 3.

Таким образом, использование модификатора САС-3 эффективнее в качестве регулятора сохраняемости бетонной смеси и прочностных показателей.

Разработанный модификатор САС-3 обеспечивает сохранение подвижности бетонной смеси в течение трех и более часов. Оптимизированный состав САС-3 малочувствителен к минералогическому составу цемента. Несмотря на замедление начального структурообразования, бетоны с САС-3 интенсивно набирают прочность в последующие сроки твердения. Обеспечивается стабильный эффект в широком диапазоне содержания цемента (350–500 кг/м³) и при различных исходных подвижностях бетонной смеси.

References

1. Spitatos N., Rade M., Mailvaganam N. et al. Superplasticizers for Concrete: Fundamentals, Technology and Practice. Marquis, Quebec, Canada. 2006. 322 p.
2. Batrakov V.G. Modifitsirovannye betony. Teoriya i praktika [The modified concrete. Theory and practice]. Moscow: Stroyizdat. 1998. 768 p.
3. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. Modifitsirovannye vysokokachestvennye betony [The modified high-quality concrete]. Moscow: ASV. 2006. 368 p.
4. Batrakov V.G. Modifiers of concrete: new opportunities and prospects. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2006. No. 10, pp. 4–7. (In Russian).
5. Vovk A.I. Hydration of tricalcium aluminate C₃A and mixtures of C₃A-gypsum in the presence of surfactants: adsorption or surface phase formation? *Kolloidnyi zhurnal*. 2000. Vol. 62. No. 1, pp. 31–38. (In Russian).
6. Izotov V.S., Sokolova Yu.A. Khimicheskie dobavki dlya modifikatsii betona [Chemical additives for concrete modification]. Moscow: Paleotip. 2006. 244 p.
7. Usharov-Marshak A.V., Tsiak M., Pershina L.A. Compatibility of cements with chemical and mineral additives. *Tsement i ego primeneniye*. 2002. No. 6, pp. 6–8. (In Russian).
8. Guvalov A.A. Management of the structure formation of cement systems with the use of modifiers, *The Sixth international conference "Phase Transformations and Durability of Crystals"*. Chernogolovka. 2010, pp. 119. (In Russian).
9. Guvalov A.A., Kabus' A.V., Usharov-Marshak A.V. Influence of an organo-mineral additive on early hydration of cement. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials]. 2013. No. 9, pp. 94–95. (In Russian).
10. Guvalov A.A. Management of the structure formation of cement systems with polyfunctional superplasticizers. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2011. No. 3, pp. 24–27. (In Russian).
11. Guvalov A.A. Effect of organomineral modifiers on the strength of concrete. *Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Prochnost' i razrusheniye materialov i konstruktssii»*. Orenburg, 2010, pp. 281–285. (In Russian).

УДК 621.928.2:624

Л.А. ВАЙСБЕРГ¹, д-р техн. наук, академик РАН, научный руководитель,
А.Н. КОРОВНИКОВ¹, канд. техн. наук, директор по направлению; Т.М. БАЛДАЕВА², инженер

¹ НПК «Механобр-техника» (199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 22 линия, 3)

² Санкт-Петербургский горный университет (199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2)

Инновационные грохоты для промышленности строительных материалов

Наряду с дробильными агрегатами вибрационные грохоты являются основным технологическим оборудованием при производстве щебня. От совершенства их конструкции, надежности и ремонтпригодности зависит не только качество готовой продукции, но и экономичность производственного процесса. НПК «Механобр-техника» разрабатывает и выпускает широкий спектр виброгрохотов, отличающихся конструкцией коробов, вибровозбудителей, просеивающих поверхностей. Представлен типоразмерный ряд универсальных инерционных грохотов типа ГИС с круговой траекторией колебаний короба грохота с регулируемым уровнем амплитуды ускорений в диапазоне 2,5–5g. Описан вибровозбудитель блочного типа, применение которого позволяет подобрать оптимальный технологический режим процесса грохочения, обеспечивает возможность эффективно разделять трудногрохотимые и влажные материалы. Приведен пример замены импортных грохотов на предприятии «Гранит-Кузнечное» («ЛСР-Базовые материалы Северо-Запад») на грохоты ГИС-54 и ГИТ-72, которые надежно и эффективно работают уже несколько лет.

Ключевые слова: щебень, дезинтеграция, грохочение, подрешетный продукт, дробильно-сортировочный завод, грохот вибрационный, грохот инерционный, вибровозбудитель блочный.

Для цитирования: Вайсберг Л.А., Коровников А.Н., Балдаева Т.М. Инновационные грохоты для промышленности строительных материалов // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 52–55.

L.A. VAYSBERG¹, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAS, A.N. KOROVNIKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering); T.M. BALDAEVA², Engineer

¹ Research and Engineering Corporation "Mekhanobr-Tekhnika" (3, 22nd line, V.O., 199106, St. Petersburg, Russian Federation)

² Saint Petersburg Mining University (2, 21st Line, V.O., 199106, St. Petersburg Russian Federation)

Innovative Screens for Building Materials Industry

Along with the crushing units, vibrating screens are key process equipment for producing the crushed stone. The quality of the finished product and also the economy of the production process depend on the perfection of their designs, reliability, and repairability. REC "Mekhanobrtexnika" develops and produces a wide range of vibrating screens with different designs of boxes, vibration exciters, and sifting surfaces. A standard series of universal inertial screens of GIS type with circular trajectory of vibration of a screen box with an adjustable level of accelerations amplitude in the range of 2.5–5g is presented. A vibration exciter of a block type, the use of which makes it possible to choose the optimal technological mode of the screening process and provide the possibility to efficiently separate the hardly screened and wet materials, is described. An example of the substitution of imported screens with the screens GIS-54 and GIT-72 at the enterprise "Granit-Kuznechnoye" ("LSR-Base Materials-North-West"), which reliable and efficiently operate several years already, is presented.

Keywords: crushed stone, disintegration, screening, screen underflow, rock-crushing plant, vibrating screen, inertial screen, block vibration exciter.

For citation: Vaysberg L.A., Korovnikov A.N., Baldaeva T.M. Innovative screens for building materials industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 52–55. (In Russian).

Необходимость появления усовершенствованных грохотов современного технического уровня для промышленности строительных материалов определяется новыми технологическими задачами, высокими требованиями к качеству товарных фракций готовой продукции [1, 2], к надежности и ремонтпригодности оборудования.

Большой цикл работ по созданию нового оборудования постоянно выполняется в компании «Механобр-техника» — организации, в 2016 г. отметившей 100-летний юбилей. Проектирование и разработка грохотов в компании началась с раннего советского периода и успешно продолжается в настоящее время.

За последние годы разработано порядка 30 новых типов вибрационных грохотов, имеющих принципиальные отличия и преимущества в части конструкций коробов, вибровозбудителей, просеивающих поверхностей. Эти машины получили широкую известность в различных отраслях промышленности, в том числе в промышленности строительных материалов [3–5].

В частности, последовательно были разработаны, освоены в производстве и нашли широкое применение на дробильно-сортировочных заводах стройиндустрии вибрационные грохоты различного технологического назначения. Это прежде всего универсальные инерционные грохоты типа ГИЛ и ГИС с круговой траекторией колебаний короба грохота с регулируемым уровнем ам-

плитуды ускорений в диапазоне 2,5–5g. На основе собственных исследований и разработок расширен номенклатурный ряд грохотов типа ГИС, увеличено количество исполнений грохотов (табл. 1).

Основной отличительной особенностью этих грохотов является вибровозбудитель блочного типа, в котором используются подшипники с повышенным сроком службы. Вибровозбудитель состоит из виброблоков (рис. 1), соединенных между собой промежуточным валом безболтовым способом крепления.

Корпус вибровозбудителя представляет собой жесткую трубу с фланцевым креплением к бортам короба. Наличие в грохотах ГИС вибровозбудителя блочного типа обеспечивает возможность достижения частоты колебаний до 24 Гц. Одновременно в виброблоках предусмотрена регулировка амплитуды колебаний 1–2,5 мм (24 Гц) и 2,5–4,5 мм (16 Гц). Такой широкий диапазон динамических параметров позволяет подобрать оптимальный технологический режим процесса грохочения, обеспечивает возможность эффективно разделять трудногрохотимые и влажные материалы.

Длительный опыт эксплуатации инерционных грохотов ГИС в различных технологических операциях показал, что грохоты обеспечивают эффективность грохочения по крупности 5, 10 и 20 мм до 96–98% и получение кондиционных товарных фракций в соответствии с российскими и европейскими стандартами.

Таблица 1

Технические характеристики инерционных грохотов ГИС НПК «Механобр-техника»

Характеристика	ГИС-32	ГИС-33	ГИС-42	ГИС-43	ГИС-51	ГИС-52	ГИС-53	ГИС-62
Производительность по питанию в зависимости от крупности разделения, т/ч	3–65	3–70	15–200	15–200	20–220	20–250	20–250	40–300
Крупность разделения, мм	1–60	1–60	2–70	2–70	2–100	2–100	2–100	3–70
Размеры просеивающей поверхности, мм								
длина	2700	2700	3700	3700	4650	4650	4650	4650
ширина	1240	1240	1500	1500	1750	1750	1750	2000
Количество сит, шт.	2	3	2	3	1	2	3	2
Угол наклона сита, град	10–30	10–30	15–25	15–25	15–25	15–25	15–25	15–25
Амплитуда колебаний*, мм	1–2	1–1,8	1–2,5	1–1,8	1–2,5	1,25; 3–4,5	3–4,5*	3–4,5
Частота колебаний*, Гц	16; 24	16; 24	16; 24	16; 24	16; 24	16; 24	16	16; 24
Мощность привода, кВт	5,5	5,5	11	11	15	15	15	15
Масса*, кг	1830–1900	2130–2190	2330–2500	2600–2700	2600–2800	3370–3500	4050–4300	4300

*Может изменяться в зависимости от исполнения грохота.

За последние годы инерционные грохоты типа ГИС наиболее широко поставлялись на дробильно-сортировочные заводы ПО «Ленстройматериалы» («Ленстрой-комплектация») и производственные комплексы «ЛСР-Базовые материалы Северо-Запад» (Каменногорское КУ, Каменногорский КНМ, ПК «Гранит-Кузнечное»). К настоящему времени на различные предприятия России и стран СНГ, а также за рубеж поставлено 400 машин этого типа.

Таким образом, можно отметить завершение определенного этапа создания инновационных грохотов для промышленности строительных материалов, обеспечивающих необходимую эффективность грохочения и производительность технологических процессов переработки гранитов, габбро-диабазов и песчано-гравийного сырья в товарные продукты.

В последние годы на ряде предприятий, эксплуатирующих оборудование зарубежного производства, появилась необходимость его замены на отечественные аналоги. Поводом для принятия таких решений стало дорого-

стоящее обслуживание, а в отдельных случаях низкая надежность и ремонтпригодность импортных грохотов.

Эта проблема коснулась предприятий, на которых находятся в эксплуатации вибрационные грохоты производства таких компаний, как Telsmith (США), Sandvik (Швеция), Metso Minerals (Финляндия) и ряда других.

Для замены этих машин в НПК «Механобр-техника» разработаны и поставлены на производство инерционные грохоты ГИС-54 и ГИТ-72, которые по назначению и габаритным размерам соответствуют грохотам Spesmaker и Vibro-King компании Telsmith (табл. 2), а по стоимости, показателям надежности и ремонтпригодности являются даже более конкурентоспособными.

Так, на предприятии «Гранит-Кузнечное» («ЛСР-Базовые материалы Северо-Запад») грохоты Spesmaker и Vibro-King в составе установки Telsmith (США) вышли из строя практически сразу по завершении гарантийного срока. В результате грохоты Spesmaker были заменены грохотами ГИС-54, а грохот Vibro-King – грохотом ГИТ-72.

Таблица 2

Технические характеристики инерционных грохотов ГИС-54 и ГИТ-72

Характеристика	ГИС-54	ГИТ-72
Размеры просеивающей поверхности, мм		
ширина	1830	2500
длина	6000	6300
Количество просеивающих поверхностей, шт.	4	2
Угол наклона просеивающей поверхности, град	20	19
Амплитуда колебаний, мм	3–5	3–5
Частота колебаний, Гц	12,5	12,5
Мощность привода, кВт	30	30
Габаритные размеры (с учетом угла наклона), мм		
длина	5960	6415
ширина	3680	4325
высота	5080	4100
Масса грохота, кг	8870	10000



Рис. 1. Виброблок вибровозбудителя инерционного грохота ГИС

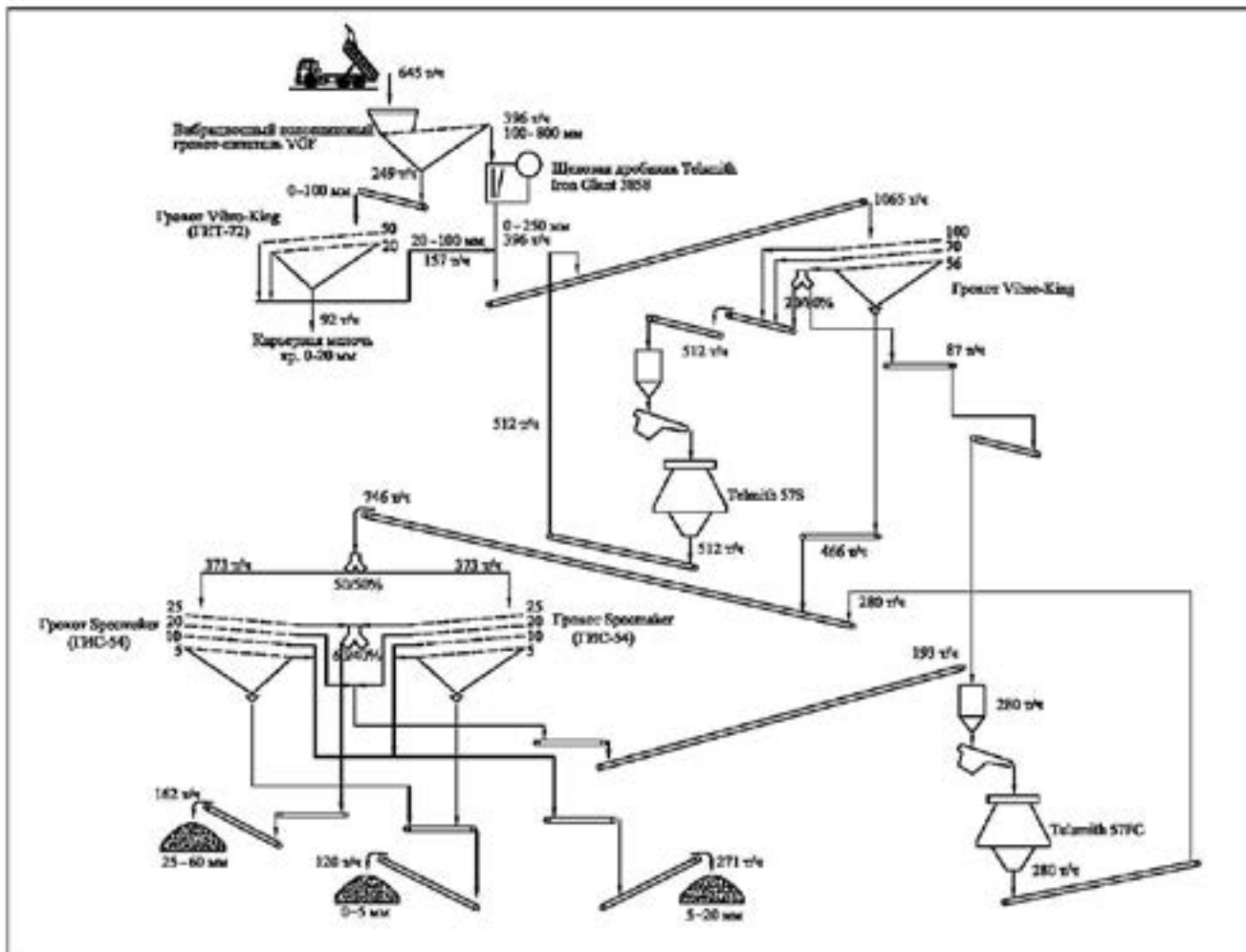


Рис. 2. Технологическая схема производства гранитного щебня фракций 25–60 и 5–20 мм на предприятии «Гранит-Кузнечное» на базе установки TelSmith (США)

Кроме повышения надежности работы узлов грохочения установки периодические испытания грохотов ГИС-54 и ГИТ-72 показали также технологическую целесообразность такой замены.

Новые грохоты НПК «Механобр-техника» в составе этой установки обеспечивают производительность 750 т/ч

при разделении по крупности 5, 10, 20 и 25 мм с эффективностью грохочения 80–90% на грохоте ГИС-54 и производительность 250 т/ч при разделении по крупности 20 и 50 мм с эффективностью грохочения 90–95% на грохоте ГИТ-72. Технологическая схема производства гранитного щебня фракций 25–60 и 5–20 мм на



Рис. 3. Общий вид грохота ГИС-54 в составе установки TelSmith (США) на предприятии «Гранит-Кузнечное»

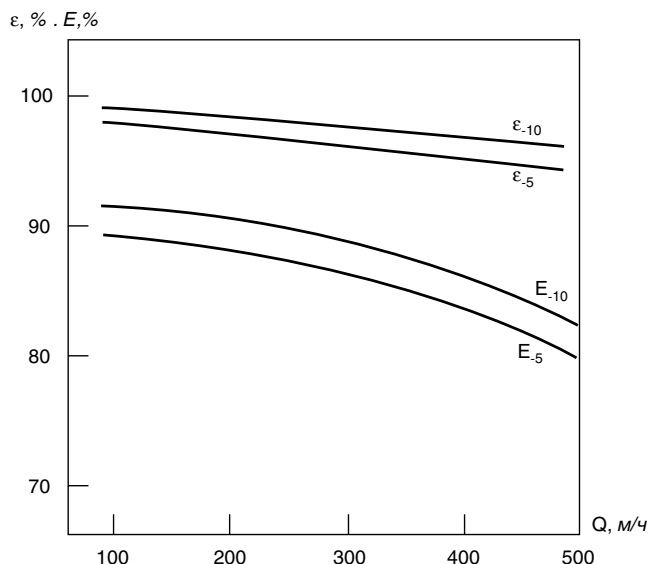


Рис. 4. Зависимость извлечения ϵ и эффективности грохочения E от производительности при разделении по крупности 10 и 5 мм на грохоте ГИС-54

предприятия «Гранит-Кузнечное» на базе установки Telsmith показана на рис. 2, общий вид грохота ГИС-54 в составе установки – на рис. 3. В составе этой установки грохоты ГИС 54 являются конечным товарным агрегатом и обеспечивают получение кондиционных фракций щебня.

Зависимость эффективности грохочения и извлечения классов -10 мм и -5 мм от производительности грохота по исходному питанию показана на рис. 4, где видно, что извлечение расчетных классов в подрешетный продукт сохраняет высокие значения (95–98%) при производительности грохота до 500 т/ч. Эффективность грохочения – в пределах 80–90%.

Отметим, что грохоты ГИС-54 и ГИТ-72 находятся в эксплуатации на этом предприятии уже несколько лет и

зарекомендовали себя как аппараты высокой надежности, обеспечивающие высокие технологические показатели. Достижение таких показателей стало возможным за счет технических решений, заложенных в конструкции грохотов, прежде всего за счет применения новых вибровозбудителей блочного типа, обеспечивающих устойчивый динамический режим работы грохотов с колеблющейся массой около 10 т и более, а также за счет увеличения жесткости конструкции.

Разработка, постановка на производство и длительная эксплуатация новых грохотов НПК «Механобр-техника», которые успешно заменили грохоты импортного производства, – один из примеров инновационного подхода к созданию востребованного оборудования для промышленности строительных материалов.

Список литературы

1. Вайсберг Л.А., Орлов С.Л., Спиридонов П.А., Коровников А.Н., Трофимов В.А. Инновационные технологии и оборудование производства высококачественного щебня // *Дорожная держава*. 2010. № 26. С. 72–75.
2. 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.
3. Вайсберг Л.А. Вибрационные грохоты: исследования, теория, методы расчета, новые конструкции // *Строительные и дорожные машины*. 2003. № 4. С. 24–32.
4. Вайсберг Л.А., Коровников А.Н., Трофимов В.А. Современные грохоты научно-производственной корпорации «Механобр-техника» для промышленности строительных материалов // *Строительные материалы*. 2006. № 12. С. 26–28.
5. Вайсберг Л.А., Коровников А.Н. Новые грохоты для подготовки минерального сырья // *Маркшейдерия и недропользование*. 2011. № 6. С. 26–27.

References

1. Vaysberg L.A., Orlov S.L., Spiridonov P.A., Korovnikov A.N., Trofimov V.A. Innovative technologies and equipment for the production of high-quality crushed stone. *Dorozhnaya derzhava*. 2010. No. 26, pp. 72–75. (In Russian).
2. 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).
3. Vaysberg L.A. Vibrating screens: research, theory, calculation methods, new constructions. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2003. No. 4, pp. 24–32. (In Russian).
4. Vaysberg L.A., Korovnikov A.N., Trofimov V.A. Modern screens of the Mekhanobr-Tekhnika research and production corporation for the building materials industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 12, pp. 26–28. (In Russian).
5. Vaysberg L.A., Korovnikov A.N. New screens for the preparation of mineral raw materials. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*. 2011. No. 6, pp. 26–27. (In Russian).



В России и в мире происходит переоценка роли фасадов зданий

12–14 сентября 2017 г. в Москве состоится одно из крупнейших научно-практических событий – IV Фасадный конгресс России Facades of Russia 2017. В работе конгресса примут участие ведущие ученые, эксперты и руководители компаний строительного рынка страны.

За три дня работы конгресса состоятся: День светопрозрачных конструкций (12 сентября), День навесных фасадных систем (13 сентября), День штукатурных систем и изоляции (14 сентября). С трибуны и на подиумных дискуссиях перед участниками выступят более 55 специалистов, которые представят основные тенденции, технологии и сегменты фасадного рынка.

Facades of Russia – одно из крупнейших научно-практических мероприятий по фасадостроению не только в России, но и в Восточной Европе. Здесь дискутируют, обмениваются актуальной информацией и передовым опытом ведущие эксперты, законодатели и практики. Оргкомитет конгресса не «лакирует» действительность, складывающуюся на строительном рынке и выносит на обсуждение наиболее острые вопросы с целью поиска эффективных путей их решений.

Проблем на фасадном рынке России не мало. Одна из них – несовершенная нормативная база в сегментах светопрозрачных фасадов и навесных фасадных систем. В связи с этим Минстроем РФ запланирована кардинальная актуализация нормативной базы. Эти долгожданные и дискуссионные нововведения станут одной из главных тем конгресса.

Другие две острые проблемы связаны между собой. Прежде всего это экономический спад, финансовое «обескровливание», которое наблюдается на протяжении трех лет в строительной ин-

дустрии. Как следствие, многие производители материалов и работ стали экономить на всем, в том числе на качестве и безопасности. Фасадный рынок накрыл поток фальсифицированной и контрафактной продукции. Необходимо понимать, что современные фасады зданий могут являться потенциально опасными конструкциями. Цена ошибок и фальсификаций здесь выражается в страшных пожарах и обрушениях фасадов, уносящих человеческие жизни. Обсуждение этих злободневных проблем и поиск решений – одна из тем конгресса.

На Facades of Russia 2017 будут обсуждаться фасады новых зданий, возводимых по программе сноса ветхих пятиэтажек в Москве. Результатом диалога на эту тему должно стать возросшее взаимопонимание между администрацией Москвы, производителями фасадных материалов и работ, а также более комфортные условия проживания будущих жильцов.

Фасад является внешней оболочкой здания от которой напрямую зависит комфорт, безопасность и энергоэффективность, а недооценка его роли приводит к печальным последствиям. Понимание этого факта стало общемировым трендом в строительной индустрии последнего десятилетия. Постепенно, переоценка значимости фасадов зданий приходит и в Россию.

Сайт конгресса: <http://fasad-rus.ru/for3/index.php>

О производстве высококачественного кубовидного щебня

Показано, что объем потребления щебня как основного компонента для дорожного строительства и производства строительных конструкций из бетона постоянно растет как в России, так и во всем мире. При этом повышаются требования к качеству продукции, экономичности и экологичности производства. Одним из новых требований к щебню является минимизация содержания зерен пластинчатой и игольчатой формы. Дан сравнительный анализ технических характеристик различных дробильных агрегатов и технологий на их основе для получения кубовидного щебня. Показано, что наиболее эффективными агрегатами для получения кубовидного щебня являются конусные инерционные дробилки, разработанные в НПК «Механобр-техника». Раскрыты научные основы технологии вибрационного дробления. Приведены примеры успешной работы конусных инерционных дробилок и вибрационных грохотов на предприятиях Казахстана, где были реализованы двух- и одностадийные схемы дробления.

Ключевые слова: кубовидный щебень, дробилка конусная инерционная, вибрационное дробление, одностадийное дробление, двухстадийное дробление, степень дробления, вибровозбудитель.

Для цитирования: Шуляков А.Д. О производстве высококачественного кубовидного щебня // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 56–59.

A.D. SHULOYAKOV, Candidate of Sciences (Engineering) (interstroyproekt@mail.ru)
ООО «Интерстройпроект» (128A, Nevsky Prospect, 191036, Saint-Petersburg, Russian Federation)

About Production of High-Quality Cubiform Crushed Stone

It is shown that the volume of crushed stone consumption as a main component for road construction and production of building structures made of concrete are constantly growing both in Russia and the whole world. At that, requirements for the quality of products, cost efficiency and sustainability of the production are increased. One of the new requirements for crushed stone is a minimal content of platelet-shaped and needle-shaped grains. A comparative analysis of technical characteristics of various crushing units and techniques on their basis for producing the cubiform crushed stone is presented. It is shown that the most efficient units for producing the cubiform crushed stone are cone inertial crushers developed at Research and Engineering Corporation "Mekhanobrtexnika". The scientific basis of vibration crushing technique is revealed. Examples of the successful operation of the cone inertial crushers and vibrating screens at the enterprises of Kazakhstan, where two-stage and one-stage crushing schemes were realized, are presented.

Keywords: cubiform crushed stone, cone inertial crusher, vibration crushing, one-stage crushing, two-stage crushing, reduction range, vibration exciter.

For citation: Shuloyakov A.D. About production of high-quality cubiform crushed stone. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 56–59. (In Russian).

Являясь основным компонентом для строительства транспортных коммуникаций и производства бетона, щебень, несомненно, относится к стратегическим промышленным материалам современности. Мировые объемы его производства превышают объемы добычи всех остальных твердых полезных ископаемых и продолжают расти, главным образом за счет стран Азиатско-Тихоокеанского региона (табл. 1) [1]. Объем потребления щебня лишь в Китае в десятки раз превосходит объем его производства в России.

Интенсивный рост объемов потребления щебня в развитых странах выдвигает новые требования к его качественным характеристикам. Ужесточение требований к качеству щебня обусловлено тем, что его потребительские свойства стали оцениваться не только стоимостью производства, но и конечными затратами на строительство и эксплуатацию сооружений как в гражданском и промышленном, так и дорожном строительстве.

Наряду с повышением требований к физико-механическим свойствам возникает настоятельная потребность в производстве узких фракций щебня, а одним из важнейших параметров качества щебня становится форма его частиц, которая максимально должна приближаться к кубовидной. Достижимое при этом повышение насыпной плотности значительно повышает эксплуатационные качества дорожных балластов, покрытий, строительных и промышленных бетонов.

Основными факторами, предопределяющими степень дробления и форму зерен дробленого материала, являются текстурно-структурные особенности исходной горной породы и тип используемого оборудования [2].

Опыт эксплуатации различных типов дробильных агрегатов для производства щебня показал, что стандартные шековые дробилки имеют относительно низкую (2,5–4) степень дробления, а содержание пластинчатых и игольчатых зерен в готовом продукте колеблется на уровне 30–60%. Эти машины широко используются на первой стадии дробления. Традиционные конусные дробилки среднего и мелкого дробления при степени дробления 3–5 выдают готовый продукт с содержанием зерен пластинчатой и игольчатой формы не ниже 25–35% [3].

Улучшение формы зерен при использовании эксцентриковых конусных дробилок, как правило, достигается применением замкнутого цикла дробления, что снижает производительность линии и увеличивает выход отсева, т. е. фракции 0–5 мм. Некоторого снижения содержания зерен пластинчатой и игольчатой формы можно добиться также при эксплуатации этих дробилок под завалом. Для реализации такого технологического

Таблица 1

Показатели	Потребность по годам, млн т			Рост за год, %, период	
	2007	2012	2017	2007–2012	2012–2017
Общемировая потребность	30300	40150	53200	5,8	5,8
В том числе:					
Северная Америка	3800	3050	3750	-4,3	4,2
Западная Европа	3275	2550	3000	-4,9	3,3
Азиатско-Тихоокеанский регион	17350	27000	36500	9,2	6,2
Другие регионы	5875	7550	9950	5,1	5,7

Таблица 2

Сравнительные характеристики различных технологий получения кубовидного щебня

Технология	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, %	Степень дробления	Диапазон крупности, мм		Выход отсева (-5 мм)	Удельная металлоемкость	Удельная энергоемкость	Примечание
			питание	готовый продукт				
Эксцентриковая конусная дробилка под завалом	25–40	2,5–4	80	25	Средний	Средняя	Малая	–
Эксцентриковая конусная дробилка под завалом в замкнутом цикле	15–30	3–5	80	20	Высокий	Высокая	Средняя	Резко возрастают транспортные потоки, снижение производительности дробилки в два раза
Роторная молотковая дробилка	10–20	4–6	100	20	Высокий	Низкая	Высокая	Применение только на малопрочных неабразивных материалах
Роторная центробежная дробилка	10–20	2–3	60	20	Средний	Низкая	Средняя	Требуется сравнительно мелкого питания
Конусная инерционная дробилка (КИД)	10–20	4–10	140	15	Низкий	Высокая	Низкая	Степень дробления может регулироваться без остановки машины

приема дробилка должна быть оборудована датчиком уровня материала в камере дробления, а также аккумуляющим бункером с питателем. При этом в камере дробления искусственно создаются стесненные условия, обеспечивающие разрушение материала не только между конусами дробилок, но и фрагментами дробимого материала в слое. Имеющиеся в исходном материале и образующиеся в процессе дробления зерна пластинчатой и игловатой формы при этом являются механически наиболее слабыми и разрушаются.

Достижение существенных результатов при дроблении материала в слое требует увеличения дробящей силы, что ограничено конструктивными особенностями эксцентриковых дробилок. Поэтому для получения щебня кубовидной формы обычно применяют дробилки ударного действия. Ударно-отражательные дробилки высокоэффективно работают при исходном куске не крупнее 60–70 мм, а лучше 40 мм, обеспечивая получение кубовидного щебня фракции 5–20 мм при выходе фракции отсева до 35–50%. На практике эти машины получили название «кубизаторы».

Использование роторных дробилок обычно рассматривается как дополнительная операция дробления, назначением которой является исправление формы зерен без существенного сокращения размеров дробимого материала. При таком технологическом приеме удается избежать форсированных режимов разрушения материала, но увеличение числа возвратных циклов отрицательно сказывается на производительности по конечному продукту, приводит к повышенному выходу отсева. Работа этих дробилок сопровождается накоплением «недробимого класса», окатыванием щебня и характеризуется значительными расходами на возобновление изнашиваемых деталей.

Роторные молотковые дробилки имеют высокую степень дробления (5–8) и обеспечивают содержание зерен пластинчатой и игловатой формы щебня на уровне 10–20%, но могут использоваться только для дробления малоабразивных пород низкой и средней прочности.

Сравнительная оценка различных технологий производства щебня (табл. 2) показала, что повышение его

потребительских качеств достигается за счет роста энергопотребления и потерь невозобновляемого минерального сырья в отсевах. С решением этих проблем связано дальнейшее развитие отрасли нерудных строительных материалов.

Значительные успехи в создании дезинтегрирующих систем были достигнуты в результате разработки технологии вибрационного дробления [4]. Построение аналитических и числовых моделей разрушения твердых материалов в камере дробления позволило теоретически обосновать метод принудительного самоизмельчения материалов внутри собственного слоя под воздействием виброимпульсного сжатия с одновременным сдвигом при дозировании силы воздействия на слой материала по величине предела прочности дефектных поверхностей его структуры. Конструктивная реализация такого метода разрушения базируется на достижениях в области теории колебаний, физики твердого тела и механики сплошных сред. Для этого в эксцентриковой дробилке жесткая связь между конусами заменена на динамическую. В этом случае привод подвижного конуса осуществляется регулируемым дебалансным возбудителем, обеспечивая дробилке ряд значительных преимуществ в сравнении со своим эксцентриковым прообразом.

К эксплуатационным преимуществам следует отнести возможность пуска дробилки под завалом, исключение поломки при попадании недробимых материалов, регулировку главных параметров воздействия на дробимый материал на ходу.

Главным технологическим преимуществом является возможность получения требуемого гранулометрического состава щебня за счет изменения частоты вращения и дробящей силы от вибровозбудителя прямо на ходу. Управление этими параметрами позволяет оптимизировать гранулометрический состав производимого щебня из любых горных пород без изменения разгрузочной щели и производительности дробилки. Степень дробления при этом возрастает до 10–20, а содержание зерен пластинчатой и игловатой формы и потери в отсевах при этом снижаются более чем в 1,5–2 раза [4]. Выпускаемая

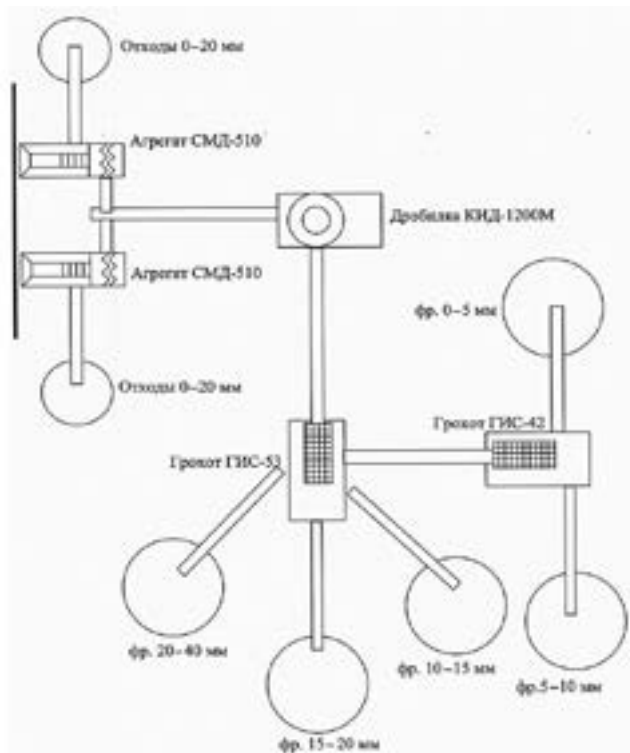


Рис. 1. Схема двухстадийной технологической линии Буландинского гранитного карьера

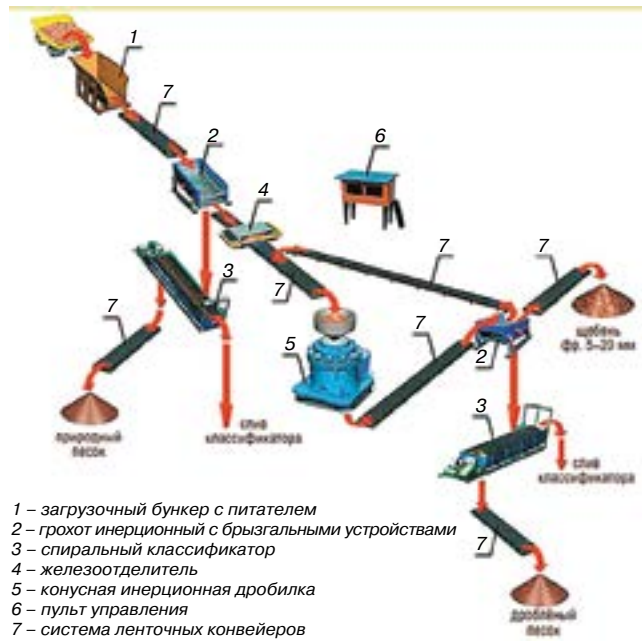
в широком типоразмерном и конструктивном диапазоне конусная инерционная дробилка КИД® (зарегистрированный товарный знак «НПК «Механобр-техника») эффективно используется в различных отраслях промышленности.

Создание такого дробильного агрегата явилось значительным шагом не только в развитии способов разрушения скальных материалов, но и стало отправной точкой в развитии теории построения инновационных технологических систем для производства щебня. Стало возможным заменить эмпирические основы проектирования на научно обоснованные аналитические методы расчета, причем как отдельных стадий дробления, так и всей технологической цепи в целом. Определение условий и требований к формированию отдельных стадий предопределило создание двух, и даже одностадийных систем [5].

Значительные успехи в этом направлении достигнуты в Республике Казахстан. Первоначально в действующую дробильно-сортировочную линию, перерабатывающую граниты Буландинского карьера, была встроена конусная инерционная дробилка КИД-1200М. Убедившись в ее высокой эффективности за счет резкого снижения количества отсеков и снижения содержания зерен пластинчатой и игловатой формы до 3–7%, в НПК «Механобр-техника» была обоснована возможность переработки буландинских гранитов в две стадии [6]. На предприятии было принято решение о строительстве отдельной двухстадийной линии, которая некоторое время спустя была введена в эксплуатацию (рис. 1).

Взорванная в карьере гранитная масса автосамосвалами доставляется на рабочую площадку и опрокидывается в накопительный бункер агрегата СМД-510 производства завода «Дробмаш» (г. Выкса), оборудованного двумя щековыми дробилками СМД-110А. Вторая стадия дробления осуществляется дробилкой КИД-1200М, которая работает в открытом цикле.

Классификация результатов дробления осуществляется грохотами ГИС-53 и ГИС-42. Получаемая в резуль-



1 – загрузочный бункер с питателем
2 – грохот инерционный с брызгальными устройствами
3 – спиральный классификатор
4 – железотделитель
5 – конусная инерционная дробилка
6 – пульт управления
7 – система ленточных конвейеров

Рис. 2. Схема цепи аппаратов одностадийной технологической линии переработки ПГС на предприятии «Нурлытас 2002» (Казахстан)

тате двухстадийного дробления продукция характеризуется широким выходом фракций 20–40; 15–20; 10–15; 5–10 мм с содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы менее 8%. Потери в отсевах высококачественного сырья не превысили 21%. Быстрое строительство линии, значительное сокращение капитальных и эксплуатационных затрат подтвердили высокую эффективность двухстадийного дробления. Внедрение упрощенных двухстадийных технологических схем щебеночных заводов позволяет снизить капитальные затраты на их строительство на 32%, энергозатраты – на 20%, уменьшить износ футеровочной стали почти в два раза и повысить производительность труда более чем на 20% [7].

Одностадийная схема на базе дробилки КИД-1200М была реализована также предприятием «Нурлытас 2002» (Казахстан). Песчано-гравийная смесь месторождения Бадам-2, перерабатываемая на этой установке, состоит из гравия -150 мм и песка, не превышающего 30% общего объема.

Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы получаемого на этой установке щебня не превышало 9%, а перевод отмытого песка и отсеков дробления в товарную продукцию значительно повысил эффективность эксплуатации установки.

Несмотря на значительный накопленный опыт производства щебня, все достижения в этой отрасли связаны с совершенствованием и созданием новых дробильных агрегатов и классифицирующих устройств.

В силу высокой энергоемкости разрушения горных пород для получения товарной продукции дробильные и классифицирующие элементы объединяются в технологические линии, характеризующиеся высокой степенью стадийности и многочисленными внутренними циклами. Такие линии должны рассматриваться как новая форма технологического агрегата, обладающего свойствами сложной системы.

Отсутствие теории оптимального синтеза такого рода технологических систем поставило важнейшую отрасль народного хозяйства в положение, зависимое от машиностроителей. Вместо обоснования и формулировки исходных требований на создание и производство необходимых промышленных агрегатов отрасль доволь-

ствуется поставляемой на рынок продукцией зарубежного и отечественного производства, которая лишь при большом опыте проектировщиков объединяется в оптимальные технологические линии. Такая стратегия привела к отставанию развития всей отрасли, снижению инновационных качеств выпускаемой продукции и огромным потерям минерального сырья в виде отсевов.

Список литературы

1. Буткевич Г.Р. Взгляд на будущее промышленности нерудных строительных материалов // *Строительные материалы*. 2014. № 9. С. 48–51.
2. Дубов В.А., Ларина В.Ф., Левченко И.П. Технология производства высококачественного мелкого щебня // *Строительные материалы*. 1984. № 3. С. 17–18.
3. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П. Новое оборудование для дробления и измельчения материалов // *Горный журнал*. 2000. № 3. С. 49–52.
4. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П. Новое поколение щековых и конусных дробилок // *Строительные и дорожные машины*. 2000. № 7. С. 16–21.
5. Арсентьев В.А., Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Шулюяков А.Д. Производство кубовидного щебня и строительного песка с использованием вибрационных дробилок. СПб.: Издательство ВСЕГЕИ, 2004. 112 с.
6. Вайсберг Л.А., Шулюяков А.Д., Орлов С.Л., Спиридонов П.А., Далатказин А.А. Новые технологии производства высококачественного щебня мелких фракций // *Горная промышленность*. 2010. № 3 (91). С. 10.
7. Вайсберг Л.А., Шулюяков А.Д., Спиридонов П.А. Сокращение стадийности дробления – оптимальный путь снижения себестоимости высококачественного щебня // *Строительные материалы*. 2002. № 11. С. 7–9.
8. Букаты Г.Б., Вайсберг Л.А., Гольдина Т.Ю., Леонов Б.П., Рейнеке К.Ф., Рыскин М.Я., Шелестов М.С. О применении арфовидных сеток на грохотах в замкнутоцикловых схемах дробления // *Цветные металлы*. 1984. № 8. С. 103–105.

Вместе с тем опыт показывает, что создание нового инновационного оборудования, обеспечивающего высокую эффективность дезинтеграции и классификации [8], способствует не только повышению эксплуатационных качеств, но и предопределяет развитие общесистемного подхода к оптимальному синтезу технологии производства щебня.

References

1. Butkevich G.R. View of the future of non-metallic building materials industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 9, pp. 48–51. (In Russian).
2. Dubov V.A., Larina V.F., Levchenko I.P. Technology of production of high-quality fine gravel. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. No. 3, pp. 17–18. (In Russian).
3. Vaysberg L.A., Zarogatskiy L.P. New equipment for crushing and grinding materials. *Gornyi zhurnal*. 2000. No. 3, pp. 49–52. (In Russian).
4. Vaysberg L.A., Zarogatskiy L.P. New generation of jaw and cone crushers. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2000. No. 7, pp. 16–21. (In Russian).
5. Arsent'ev V.A., Vaysberg L.A., Zarogatskiy L.P., Shuloyakov A.D. Proizvodstvo kubovidnogo shchebnya i stroitel'nogo peska s ispol'zovaniem vibratsionnykh drobilok [Production of cube-shaped crushed stone and building sand using vibrating crushers]. Saint Petersburg: VSEGEI Publishing house. 2004. 112 p.
6. Vaysberg L.A., Shuloyakov A.D., Orlov S.L., Spiridonov P.A., Dalatkazin A.A. New technologies for the production of high-quality crushed stone of fine fractions. *Gornaya promyshlennost'*. 2010. No. 3 (91), pp. 10. (In Russian).
7. Vaysberg L.A., Shuloyakov A.D., Spiridonov P.A. Reduction of the stage of crushing is the best way to reduce the cost of high-quality crushed stone. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2002. No. 11, pp. 7–9. (In Russian).
8. Bukaty G.B., Vaysberg L.A., Gol'dina T.Yu., Leonov B.P., Reineke K.F., Ryskin M.Ya., Shelestov M.S. On the use of a grid-like grids on screens in closed-cycle crushing schemes. *Tsvetnye metally*. 1984. No. 8, pp. 103–105. (In Russian).



Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий

Ю.З. Балакшин, В.А. Терехов
Справочное пособие
М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2012. 276 с.

Авторы многие годы отдали работе в промышленности строительных материалов и накопили значительный объем знаний и технических документов производстве стеновых материалов не только из опыта работы промышленности в СССР и России, но и многих предприятий Европы, Америки и Азии.

В книге описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Описаны сырьевые материалы для производства цементно-песчаных изделий. Сформулированы специфические требования к сырьевым материалам, а также рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования.

Книга предназначена для организации производственнотехнического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу.

Тел./факс: (499) 976-22-08; 976-20-36
www.rifsm.ru



Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента

А.П. Зубехин, Н.Д. Яценко, С.П. Голованова
М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2014. 152 с.

В книге представлены теоретические основы белизны и окрашивания керамических строительных материалов и белого портландцемента (БПЦ) с позиции теории цветности силикатных материалов в зависимости от их фазово-минерального состава, структуры, содержания хромофоров Fe, Mn и Ti, условий обжига и охлаждения (окислительных или восстановительных).

В результате исследований авторов и других ученых с применением комплекса физико-химических методов состояния окрашивающих примесей и ионов хромофоров в силикатах и алюминатах кальция, в алюмосиликатных минералах и подобных стеклофазах.

Установлены закономерности зависимости белизны, цвета и особенности окрашивания как пигментов, так и твердых растворов бесцветных фаз ионами-хромофорами от структуры, изовалентного или гетеровалентного изоморфизма, образования окрашивающих кластеров. Разработаны эффективные способы управления белизной и декоративными свойствами строительных керамических материалов (фарфора, фаянса, облицовочной плитки, кирпича) и белого портландцемента.

Книга предназначена для научных сотрудников, инженерно-технических работников промышленности, преподавателей, аспирантов, студентов.

Тел./факс: (499) 976-22-08; 976-20-36
www.rifsm.ru

А.И. ФОМЕНКО, д-р техн. наук (fomenko@chsu.ru), В.С. ГРЫЗЛОВ, д-р техн. наук,
Н.М. ФЕДОРЧУК, канд. техн. наук, А.Г. КАПТЮШИНА, канд. техн. наук

Череповецкий государственный университет (162600, г. Череповец, пр. Луначарского, 5)

Сухая строительная смесь на основе фосфополугидрата сульфата кальция

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по применению в качестве гипсового вяжущего в составе сухих строительных смесей фосфополугидрата сульфата кальция (ФПГ) – отхода производства экстракционной фосфорной кислоты из апатитового концентрата в полугидратном режиме. Исследовано влияние замены природного гипсового сырья техногенным ФПГ на кинетику твердения растворов и физико-технические характеристики образцов искусственного камня. Приведены результаты рентгенофазового анализа состава ФПГ. Показано, что фосфополугидрат сульфата кальция без предварительной подготовки можно использовать для производства сухих строительных смесей.

Ключевые слова: фосфополугидрат сульфата кальция, гидравлическая активность, примеси, сухая строительная смесь, штукатурный раствор.

Для цитирования: Фоменко А.И., Грызлов В.С., Федорчук Н.М., Каптюшина А.Г. Сухая строительная смесь на основе фосфополугидрата сульфата кальция // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 60–63.

A.I. FOMENKO, Doctor of Sciences (Engineering) (fomenko@chsu.ru), V.S. GRYZLOV, Doctor of Sciences (Engineering),
N.M. FEDORCHUK, Candidate of Sciences (Engineering), A.G. KAPTYUSHINA, Candidate of Sciences (Engineering)
Cherepovets State University (5, Lunacharsky prospect, Cherepovets, 162600, Russian Federation)

Dry Building Mix on the Basis of Phospho-Hemihydrate of Calcium Sulfate

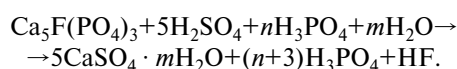
The results of theoretical and experimental studies of the application of phospho-hemihydrate of calcium sulfate (PHH), waste of production of wet-process phosphoric acid from apatite concentrate under the hemi-hydrate regime, in the composition of dry building mixes, as a gypsum binder, are presented. The influence of replacing natural gypsum raw materials with anthropogenic PHH on the kinetics of hardening of solutions and physical-technical characteristics of samples of an artificial stone has been studied. Results of the X-ray phase analysis of the PHH composition are presented. It is shown that the phospho-hemihydrate of calcium sulfate can be used for producing dry building mixes without preliminary preparation.

Keywords: phospho-hemihydrate of calcium sulfate, hydraulic activity, admixtures, dry building mix, finishing mortar.

For citation: Fomenko A.I., Gryzlov V.S., Fedorchuk N.M., Kaptyushina A.G. Dry building mix on the basis of phospho-hemihydrate of calcium sulfate. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 60–63. (In Russian).

Расширение сырьевой базы производства строительных материалов путем использования отходов различных отраслей промышленности является актуальным направлением ресурсосбережения для решения экономических задач и снижения техногенной нагрузки на окружающую природную среду. При этом для увеличения доли техногенного ресурса необходимо обеспечить конкурентоспособное качество производимой на его основе продукции. Многочисленными работами показана эффективность использования в производстве гипсовых вяжущих и изделий на их основе крупнотоннажного отхода производства экстракционной ортофосфорной кислоты – фосфогипса [1–11].

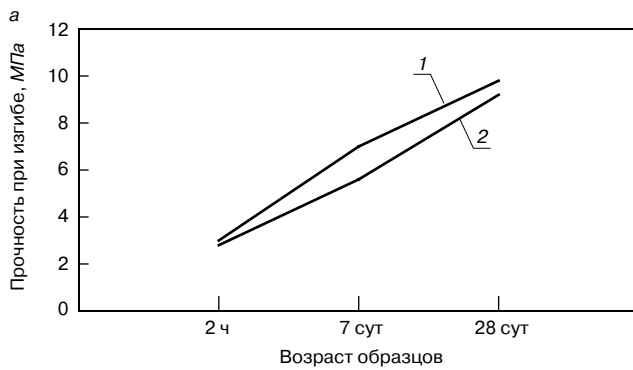
Производство экстракционной ортофосфорной кислоты включает два одновременно протекающих процесса: разложение фосфатного сырья в смеси кислот серной и фосфорной, образующейся в процессе, и кристаллизацию сульфата кальция. Реакция разложения апатитового концентрата в общем виде описывается схемой:



Кристаллический осадок сульфата кальция отделяют от фосфорной кислоты фильтрованием. Химический состав твердой фазы сульфата кальция в основном определяется составом фосфатного сырья и содержащихся в нем примесей, а также способом производства экстракционной фосфорной кислоты. В зависимости от температурно-концентрационных условий процесса твердая фаза сульфата кальция может быть представле-

на одной из трех форм: дигидратом $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, полугидратом $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ или ангидритом CaSO_4 . Модификация кристаллов сульфата кальция определяет в целом технологический процесс получения экстракционной фосфорной кислоты: дигидратный, полугидратный или ангидритный (одноступенчатые), дигидратно-полугидратный или полугидратно-дигидратный (двухступенчатые). Кристаллизация модификаций кристаллов сульфата кальция протекает в растворах с высокими концентрациями серной кислоты и фосфат-ионов (P_2O_5). Наряду с соединениями фосфора в растворе содержатся примеси соединений фтора, кремния, магния, железа, алюминия, редкоземельных элементов. Эти же химические соединения содержатся в различных количествах и в осадке твердой фазы сульфата кальция. В осадке могут содержаться неизоморфные примеси, изоморфные, входящие в состав кристаллической решетки гипса, и адсорбированные на поверхности кристаллов неорганические и органические примеси. Содержание этих примесей в осадке зависит от степени отмывки твердой фазы сульфата кальция на фильтре.

Известно, что потенциально фосфогипс является гипсовым вяжущим веществом. Однако содержащиеся в нем различные примеси, влияющие на технические свойства гипсовых вяжущих и изделий на их основе, ограничивают область его применения. Методы и необходимая степень очистки фосфогипса от примесей, применяемые на практике, широко освещены в научно-технической литературе [1, 4]. В работе [5] анализируется опыт разработки технологии переработки фосфополугидрата за последние 30 лет и обосновывается



Прочность растворов сухих строительных смесей на основе строительного гипса (1) и фосфополугидрата сульфата кальция (2): а – при изгибе; б – при сжатии

целесообразность замещения истощающегося природного гипсового сырья техногенным гипсовым сырьем. В настоящей работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по получению сухих строительных смесей на основе фосфополугидрата сульфата кальция (ФПГ) $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, отобранного с карусельных вакуум-фильтров с трехкратной промывкой осадка от фосфорной кислоты производства экстракционной ортофосфорной кислоты предприятия ОАО «ФосАгро-Череповец». ФПГ образуется на предприятии в количестве 3,7 т сухого вещества на 1 т P_2O_5 , является до настоящего времени отходом и направляется на хранение в шламонакопители фосфогипса.

Использованная в эксперименте проба ФПГ являлась «представительной», соответствующей требованиям технических условий ТУ 2141-677-00209438–2004 «Фосфогипс для производства строительных материалов» марки Б. ФПГ применяли без предварительной подготовки. Теоретические предпосылки получения гипсового вяжущего из ФПГ подтверждены рентгенофазовым анализом. В исследованных пробах ФПГ основным веществом является β -форма полуводного сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ($d = 0,599; 0,347; 0,272; 0,214; 0,185; 0,169$ нм); двухводного сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d = 0,758; 0,427; 0,305; 0,281; 0,272$ нм); следы примесных фаз кальцита и магнезита ($d = 0,305; 0,274; 0,249; 0,228; 0,185; 0,167$ нм).

Исходя из технологических и эксплуатационных характеристик штукатурных растворов по результатам проведения предварительных испытаний были подобраны оптимальные составы смеси. Из большого числа известных способов повышения водостойкости гипсовых вяжущих в работе выбран наиболее перспективный с практической точки зрения способ создания композиционных вяжущих, содержащих в своем составе кроме полугидрата сульфата кальция гидравлические компоненты. В таком качестве использовали портландцемент ПЦ 400-Д20 Пикалевского цементного завода (ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»). В качестве заполнителя применяли традиционно используемый в штукатурных растворах измельченный песок фракций, мм: менее 0,7; 0,7–1; 1–1,6. Использование измельченного песка повышает прочностные свойства и устойчивость к растрескиванию [6, 7].

Состав смеси: гипсовое вяжущее (Г), цемент (Ц), песок (П). Процентное содержание компонентов меняли в диапазоне, мас. %: Г:Ц:П = (50–70):(20–30):(10–20). В качестве химических добавок использовали пластификатор на основе лигносульфоната технического (ЛСТ) (ТУ 2455-0316-46289715–2000) и лимонную кислоту. Лимонная кислота использована как замедлитель схватывания гипсового вяжущего. Химические добавки вво-

дили с водой затворения в расчете на сухое вещество по мас. %: 0,03 лимонной кислоты и 0,25 ЛСТ.

Свойства строительной смеси, полученной на основе ФПГ, сравнивали со свойствами смеси аналогичного состава на основе строительного гипса (ГС) Г-6А1 по ГОСТ 125–79 «Вяжущие гипсовые. Технические условия» производства ООО «Аракчинский гипс».

Испытания смесей и растворов на их основе проводили в соответствии с методиками действующих стандартов. Определение фракционного состава песка проведено методом ситового анализа с использованием набора сит ручным способом. Влажность исследуемого материала определена гравиметрическим методом, основанным на определении потерь при высушивании навески средней пробы при температуре $105 \pm 2^\circ\text{C}$ до постоянной массы. Испытание на водопоглощение проведено путем насыщения образцов водой и последующего высушивания их до постоянной массы. При определении сроков схватывания теста использован прибор Вика с иглой. Образцы-балочки размерами $40 \times 40 \times 160$ мм формовали из растворной смеси нормальной плотности пластическим способом путем кратковременной виброобработки. Определение прочности при изгибе выполнено на приборе МИИ-100. Прочность при сжатии определяли путем испытания образцов на гидравлическом прессе с предельной нагрузкой 100 кН (МС-100).

Кинетику твердения растворов на основе сухой смеси изучали по изменению прочности. Прочность образцов и водостойкость определяли на образцах, изготовленных с использованием смесей компонентного состава, мас. %: Г:Ц:П = 57:29:14, твердевших в нормальных воздушно-сухих условиях и во влажных условиях.

Проведенные исследования подтверждают, что фосфополугидрат можно использовать для производства сухих строительных смесей. Результаты испытаний приведены в таблице и на рисунке. Значения определяемых показателей вычислены как среднее арифметическое результатов испытаний раствора из трех одинаковых составов строительных смесей на основе ФПГ и аналогичного состава на основе строительного гипса, приготовленного для каждой фракции песка. Общее количество образцов-балочек для каждого состава при проведении испытаний составляло девять.

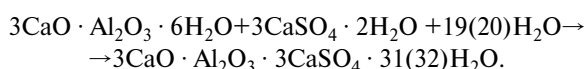
Изучение влияния зернового состава песка на физико-механические характеристики образцов растворной смеси показало, что с уменьшением класса крупности для фракций менее 1,6 мм показатели свойств изменяются незначительно. Отклонение от среднего значения показателей прочности при изгибе и при сжатии образцов в возрасте 28 сут твердения в исследованном диапазоне класса крупности зернового состава песка не превышало пределов относительной погрешности измерения. Значения определяемых показателей вычис-

Результаты испытаний

Показатели	Состав смеси	
	ГС:Ц:П	ФПГ:Ц:П
Сроки схватывания, ч-мин:		
начало	0–9	0–20
конец	0–12	1–25
Прочность при изгибе, МПа, в возрасте:		
2 ч	3,07	7,96
7 сут	7,04	27,89
28 сут твердения в воздушно-сухих условиях	9,74	28,69
28 сут твердения во влажных условиях	5,61	19,38
Прочность при сжатии, МПа, в возрасте:		
2 ч	10,13	2,74
7 сут	26,29	5,59
28 сут твердения в воздушно-сухих условиях	28,05	9,24
28 сут твердения во влажных условиях	22,2	5,09
Плотность образцов, кг/м ³ , в возрасте:		
2 ч	1830	1850
7 сут	1715	1732
28 сут	1674	1694
Влажность ω, мас. %	12,78	13,53
Водопоглощение W, мас. %	12,33	12,57
Коэффициент водостойкости K _{гидр} , отн. ед.	0,8	0,55

ляли как среднее арифметическое результатов испытаний раствора из трех одинакового состава строительных смесей на основе ФПГ и трех аналогичного состава на основе строительного гипса образцов, изготовленных с использованием песка фракций 0,7–1 и 1–1,6 мм. Общее количество образцов-балочек для каждого состава при проведении испытаний составляло девять.

Известно, что в растворах смеси гипсовых вяжущих с портландцементом протекает разрушение твердеющей структуры со временем вследствие образования трехсульфатной формы гидросульфалюмината кальция (эттрингита) при взаимодействии высокоосновных гидралоуминатов кальция, образующихся при гидратации портландцемента, и сульфата кальция по реакции:



Введение в состав композиционного вяжущего песка в измельченном состоянии предотвращает образование эттрингита, проявляя свойство пуццолановой добавки. Действие песка как активной минеральной добавки в составе композиционного вяжущего основано на способности содержащегося в нем аморфного кремнезема связывать гидроксид кальция, являющийся продуктом гидратации силикатных фаз портландцемента, в низкоосновные гидросиликаты кальция переменного состава типа $(0,8–1,5)\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot (1–2,5)\text{H}_2\text{O}$, повышая прочность и водостойкость камня во времени.

Подтверждением стабильности сформировавшихся структур затвердевшего раствора являются результаты рентгенофазового анализа образцов в возрасте 120 сут. Дифрактограммы получены по данным порошковой рентгенографии с использованием дифрактометра

Список литературы

1. Иваницкий В.В., Классен П.В., Новиков А.А. Фосфогипс и его использование. М.: Химия, 1990. 224 с.
2. Гриневич А.В., Киселев А.А., Кузнецов Е.М., Бурьянов А.Ф., Ряжко А.И. Гипсовое вяжущее из $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ – отхода производства экстрак-

ДРОН-3М образцов в возрасте 120 сут, изготовленных с использованием песка фракции 1–1,6 мм, состава на основе ФПГ и состава на основе строительного гипса твердевших в нормальных воздушно-сухих условиях и во влажных условиях. Дифракционные отражения эттрингита ($d = 0,973; 0,561; 0,388; 0,2584; 0,2209$ нм) на рентгенограммах как образцов, твердевших в нормальных воздушно-сухих условиях, так и образцов, твердевших во влажных условиях, не обнаружены. На рентгенограммах исследованных образцов присутствует в основном одинаковый набор дифракционных максимумов. Основным цементирующим веществом исследованных образцов является двухводный сульфат кальция. Рентгенограммы содержат дифракционные отражения частично закристаллизованного тоберморитоподобного гидросиликата кальция ($d = 0,3069; 0,2873; 0,2783$ нм), следы портландита ($d = 0,263$ нм). Рентгенограммы образцов, твердевших в воздушно-сухих условиях, содержат дифракционные отражения карбоната кальция. Кварц ($d = 0,3345$ нм) на рентгенограммах обнаружен у образцов на основе строительного гипса, твердевших в нормальных воздушно-сухих условиях; у образцов, твердевших во влажных условиях, имеются лишь следы кварца.

На рисунке приведены зависимости, характеризующие изменение прочности при изгибе и сжатии исследуемых образцов. Характер нарастания прочности при твердении остается практически неизменным. Снижение водостойкости искусственного камня на основе композиционного гипсового вяжущего из ФПГ в возрасте 28 сут по коэффициенту гидравличности $K_{гидр}$, определяемого как отношение предела прочности при сжатии образцов, твердевших во влажных условиях, к пределу прочности при сжатии образцов, твердевших в нормальных воздушно-сухих условиях, составляет до 30% (см. таблицу).

Очевидно, что гидроксид кальция, образующийся в процессе гидратации клинкерных минералов, в начальные сроки твердения расходуется на нейтрализацию содержащихся в составе ФПГ примесей серной и ортофосфорной кислот, которые являются замедлителями процессов гидратации полугидрата, схватывания и твердения. Основанием для подтверждения этого предположения можно считать значительное изменение сроков схватывания (по сравнению с гипсом строительным) (см. таблицу). Подобный факт был отмечен в [5].

Средняя плотность, водопоглощение и влажность растворов сухих строительных смесей в возрасте 28 сут при замене гипса строительного на ФПГ изменяются незначительно (см. таблицу). При визуальном осмотре образцов обоих составов существенного различия не отмечено.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают, что фосфополугидрат сульфата кальция (ФПГ), образующийся как побочный продукт процесса получения экстракционной фосфорной кислоты из апатитового концентрата в полугидратном режиме, можно использовать для производства сухих строительных смесей. Сухие строительные смеси содержат в своем составе ФПГ, портландцемент ПЦ 400-Д20, измельченный песок фракции менее 1,6 мм, с общим содержанием техногенного гипсового сырья от 50 до 70 мас. %.

References

1. Ivanitsky V.V., Klassen P.V., Novikov A.A. Fosfogips i ego ispol'zovanie [Fosfogips and his use]. Moscow: Khimiya, 1990. 224 p.
2. Grinevich A.V., Kiselev A.A., Kuznetsov E.M., Buryanov A.F., Ryazhko A.I. Gipsovoye $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ knitting from α -withdrawal of production of extraction

- ционной фосфорной кислоты // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 4–8.
3. Манкеевич Я.В., Сычева Л.И. Влияние механоактивации фосфогипсовой сырьевой смеси на гидратацию и твердение ангидритового вяжущего // *Успехи в химии и химической технологии*. 2014. Т. 28. № 8 (157). С. 61–64.
 4. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Промышленная переработка фосфогипса. СПб.: Издательство «Стройиздат СПб», 2007. 104 с.
 5. Федоров С.В., Мещеряков Ю.Г. Производство гранул и строительных изделий из фосфополугидрата // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 32–33.
 6. Сухие строительные смеси: Справочник. М.: Стройинформ, 2007. 828 с.
 7. Козлов В.В. Сухие строительные смеси. М.: АСВ, 2000. 96 с.
 8. Коровяков В.Ф., Бурьянов А.Ф. Научно-технические предпосылки эффективного использования гипсовых материалов в строительстве // *Жилищное строительство*. 2015. № 12. С. 38–40.
 9. Голова Т.А., Давтян А.Р. Исследование композиционных вяжущих на основе фосфогипса для производства малых архитектурных форм // *Вестник Кыргызско-Российского славянского университета*. 2016. Т. 16. № 9. С. 97–100.
 10. Кобанова Т.Н. Российский и зарубежный опыт утилизации фосфогипса // *Наука вчера, сегодня, завтра*. 2016. № 11 (33). С. 63–71.
 11. Сорокина Ю.А., Сычёва Л.И. Исследование свойств ангидритового вяжущего из техногенных продуктов // *Успехи в химии и химической технологии*. 2014. Т. 28. № 8 (157). С. 86–89.
- phosphoric acid. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 4–8. (In Russian).
3. Mankeevich Ya. V., Sycheva L. I. Influence of mechanoactivation of phosphoplaster raw mix on hydration and curing of ангидритовый knitting. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2014. Vol. 28. No. 8 (157), pp. 61–64. (In Russian).
 4. Meshcheryakov Yu. G., Fedorov S. V. Industrial processing of a phosphite. Sankt-Peterburg: Stroyizdat SPb., 2007. 104 p.
 5. Fedorov S.V., Meshcheryakov Yu.G. Production of granules and construction products from phosphosemihydrate. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 32–33. (In Russian).
 6. Sukhie stroitel'nye smesi [Dry construction mixes]. Moscow: Stroyinform. 2007. 828 p.
 7. Kozlov V.V. Sukhie stroitel'nye smesi [Dry construction mixes]. Moscow: ASV. 2000. 96 p.
 8. Korovyakov V.F., Buryanov A. F. Scientific and technical prerequisites of effective use of plaster materials in construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 12, pp. 38–40. (In Russian).
 9. Golova T.A., Davtyan A.R. Issledovaniye of the composite small architectural forms knitting on the basis of a phosphite for production. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo slavyanskogo universiteta*. 2016. Vol. 16. No. 9, pp. 97–100. (In Russian).
 10. Korobanova T.N. Russian and foreign experience of utilization of a phosphite. *Nauka vchera, segodnya, zavtra*. 2016. No. 11 (33), pp. 63–71. (In Russian).
 11. Sorokina Yu. A., Sychyova of L.I. Issledovaniye of properties of ангидритовый knitting from technogen products. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2014. Vol. 28. No. 8 (157), pp. 86–89. (In Russian).

СТРОЙ ЭКСПО КРЫМ | VIII ВЫСТАВКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО АРХИТЕКТУРА ТЕХНОЛОГИИ

20–22 ОКТЯБРЯ

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ:

- Строительство и проектирование
- Строительные материалы и оборудование
- Фасады, кровля и изоляция
- Двери, окна, автоматика
- Климатические технологии
- Интерьер, декор, свет
- Альтернативные источники энергии

Организатор выставки:
 м/т: +7(978) 900 90 90
 т/ф: +7(3652) 620 670
 www.expocrym.com

Место проведения:
 РФ, Республика Крым,
 г.Ялта, ул. Дражинского 50,
 ГК «ЯЛТА-ИНТУРИСТ»

Официальная поддержка:

Л.И. ХУДЯКОВА, канд. техн. наук (lkhud@binm.bsnet.ru), О.В. ВОЙЛОШНИКОВ, канд. техн. наук

Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук
(670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)

Влияние способов активации на свойства композиционных вяжущих материалов

Изучено влияние методов активации на свойства композиционных вяжущих материалов с добавкой базальта. Установлено, что механическое смешивание компонентов не способствует получению цементного камня с высокими прочностными показателями. При механоактивации сырьевой шихты образуется высокоразвитая химически активная поверхность обрабатываемого материала, ускоряется процесс его гидратации. Физико-механические характеристики полученных материалов достигают наивысших значений. Лучшие показатели имеют образцы вяжущих, механоактивированные в течение 15 мин и содержащие 30% базальта. Процесс гидромеханоактивации зависит от количества жидкой фазы и содержания добавки, оптимальные значения которых составляют 30 и 20% соответственно. Ультразвуковая обработка сырьевой шихты приводит к неустойчивости формируемой пространственной структуры вяжущего. Это подтверждается низкой гидратационной активностью и, как следствие, невысокими прочностными показателями.

Ключевые слова: механоактивация, гидромеханоактивация, композиционные вяжущие материалы, базальт.

Для цитирования: Худякова Л.И., Войлошников О.В. Влияние способов активации на свойства композиционных вяжущих материалов. *Строительные материалы*. 2017. № 4. С. 64–67.

L.I. KHUDYAKOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (lkhud@binm.bsnet.ru), O.V. VOILOSHNIKOV, Candidate of Sciences (Engineering)
Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of sciences (BINM SB RAS)
(6, Sakhyanovoy Street, 670047, Ulan-Ude, Russian Federation)

Influence of Activation Methods on Properties of Composite Binding Materials

The influence of activation methods on the properties of composite binders with the addition of basalt has been studied. It is established that the mechanical mixing of components doesn't contribute to obtaining the cement stone with high strength properties. When the raw charge is mechanically activated, the high developed chemically active surface of the treated material is formed and the process of its hydration is accelerated. Physical-mechanical characteristics of materials obtained reach the highest values. The samples of binders mechanically activated during 15 minutes and containing 30% of basalt have the best indexes. The process of hydro-mechanical activation depends on the amount of the liquid phase and content of the additive, optimum values of which are 30% and 20% respectively. Ultrasound treatment of the raw charge leads to the instability of the formed spatial structure of the binder. It is confirmed by the low hydration activity and, consequently, low strength values.

Keywords: mechanical activation, hydro-mechanical activation, composite binding materials, basalt.

For citation: Khudyakova L.I., Voiloshnikov O.V. Influence of activation methods on properties of composite binding materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 4, pp. 64–67. (In Russian).

Производство цемента является не только ресурсоемкой отраслью стройиндустрии, но и одной из самых энергоемких в мировой экономике. Для уменьшения данных показателей в состав цемента вводят минеральные добавки, одним из перспективных видов которых являются базальты, считающиеся нетрадиционным сырьем для данной промышленности. Главное направление их использования – производство базальтового волокна [1–7]. В свою очередь, базальтовое волокно добавляется в цемент с целью получения высококачественных фибробетонов, пенофибробетонов и фиброцементных плит [8–12]. Проводятся работы по применению базальтов в качестве флюсующей и отошающей добавки в керамические массы при производстве строительной керамики [13]. Перспективным направлением использования базальтов является получение композиционных вяжущих материалов, что позволяет сократить применение портландцементного клинкера, решая тем самым вопросы ресурсосбережения и снижения себестоимости готовой продукции.

В целях повышения качества получаемых материалов используют различные способы активации их сырьевых материалов [14–18], в числе которых механическая, механохимическая, гидромеханохимическая, гидромеханическая, вибрационная, кавитационная, ультразвуковая и т. д. Целесообразность использования данных методов зависит, в частности, от вида применя-

емой добавки. Поэтому целью настоящих исследований явилось изучение влияния методов активации на физико-механические показатели цементных вяжущих материалов с добавкой базальтов.

Для выявления наиболее эффективного способа активации применяли следующие методы: механоактивацию, гидромеханоактивацию, ультразвуковое диспергирование. Вяжущие также готовились простым смешиванием компонентов.

В качестве сырьевых материалов использовали портландцементный клинкер Тимлюйского цементного завода, гипс Нукутского гипсового карьера, базальт Селендумского месторождения, Республики Бурятия, следующего химического состава, мас. %: SiO₂–48,6; Al₂O₃–16,7; Fe₂O₃+FeO–11,69; MgO–4,47; CaO–6,25; TiO₂–2,12; MnO–0,14; Na₂O+K₂O–7,4.

При проведении исследований содержание базальтов в вяжущем не превышало 50 мас. %. Содержание гипса оставалось постоянным – 3% от массы клинкера и добавки. Полученные смеси затворяли водой при В/Г = 0,3. Образцы хранили в нормально-влажностных условиях в течение 7 и 28 сут. Испытания проводили по ГОСТ 310.4–81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии».

Наиболее простым и экономически выгодным способом получения композиционных вяжущих материалов считается смешивание составных мелкодисперсных

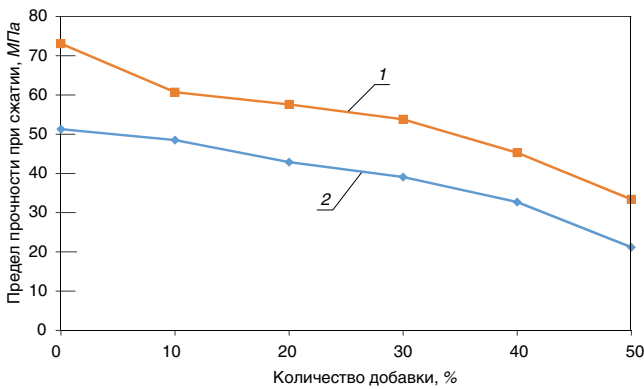


Рис. 1. Зависимость прочности образцов из вяжущего после механического смешивания сырьевых компонентов от количества добавки базальта: 1 – 7 сут твердения, 2 – 28 сут твердения

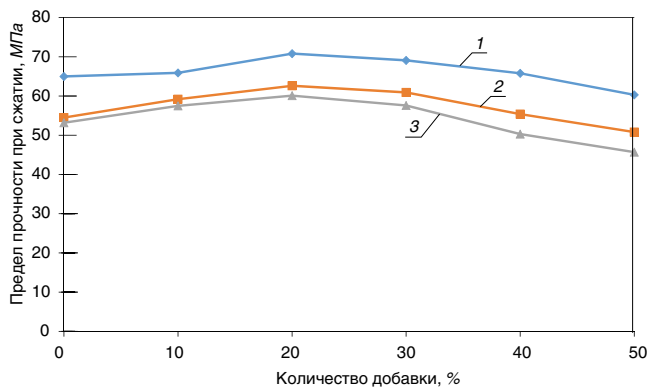


Рис. 2. Зависимость прочности образцов из вяжущего после гидромеханоактивации от количества добавки базальта и водотвердого соотношения: 1 – В/Т=0,3; 2 – В/Т=0,35, 3 – В/Т=0,4

компонентов шихты. Однако данный метод не позволяет получить высокие показатели прочности затвердевшего цементного камня (рис. 1).

Введение базальта в состав сырьевой смеси приводит к снижению предела прочности при сжатии образцов цемента. Этот показатель уменьшается с увеличением количества добавки в составе шихты.

Применение метода механоактивации позволяет целенаправленно изменять структуру измельчаемых материалов, влияя тем самым на их реакционную способность. Механическую активацию проводили в стержневом вибрационном измельчителе типа 75ТДр-М, для которого характерна высокая инерционная энергия ударно-сдвигового воздействия мелющих тел на измельчаемую поверхность [19]. Были определены оптимальные параметры: соотношение компонентов сырьевой смеси (табл. 1) и продолжительность активации (табл. 2), позволяющие получить материалы с высокими прочностными показателями.

Как видно из представленных данных, к 7 сут твердения вяжущие композиции набирают более 50% прочности, в дальнейшем ее рост замедляется и к 28 сут твердения достигает наивысших значений. Оптимальным является количество базальта в вяжущем 30%, при котором прочностные показатели образцов максимальны. С дальнейшим увеличением количества базальта предел прочности при сжатии падает.

Известно, что за счет измельчения сырьевых компонентов образуется химически активная поверхность и ускоряется процесс гидратации материала, что приводит к увеличению его прочностных характеристик. Данные табл. 2 показывают, что лучшие показатели имеют образцы вяжущих, подвергнутые механоактивации в течение 15 мин. Этого времени достаточно, чтобы

Таблица 1

Количество добавки базальта, мас. %	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте		Средняя плотность, кг/м ³
	7 сут	28 сут	
0	51,3	73,1	2095
10	55,9	76,6	2127
20	62,8	80	2170
30	69	86,5	2204
40	63,7	81,3	2292
50	54,1	75,8	2343

Таблица 2

Время измельчения, мин	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте		Средняя плотность, кг/м ³
	7 сут	28 сут	
5	42,4	62,3	2195
10	58,9	75,8	2212
15	69	86,5	2204
20	65,1	78,7	2209

получить высокоразвитую поверхность, позволяющую измельченной композиции в полном объеме провзаимодействовать с водой. Более продолжительная механоактивация приводит к флокуляции частиц вяжущего, что сокращает реакционную площадь его поверхности, замедляет процесс гидратации и способствует снижению прочности образцов.

Использование гидромеханоактивации позволяет производить активацию вяжущего в жидкой среде. На качество данного процесса значительное влияние оказывает водотвердое отношение. Исследования, проведенные в данном направлении, позволили установить, что оптимальное количество воды затворения составляет 30% от массы шихты (рис. 2).

Меньшее количество жидкой фазы приводит к затруднению формования образцов. Увеличение содержания воды в измельчаемой системе обуславливает снижение механических показателей вяжущих композиций за счет повышения пористости материала и образования рыхлой структуры. Наибольшую прочность при сжатии имеют образцы, содержащие 20% базальта и 80% портландцементного клинкера.

В последнее время в научных исследованиях для подготовки сырья и диспергирования компонентов применяют ультразвуковую обработку, воздействие ко-

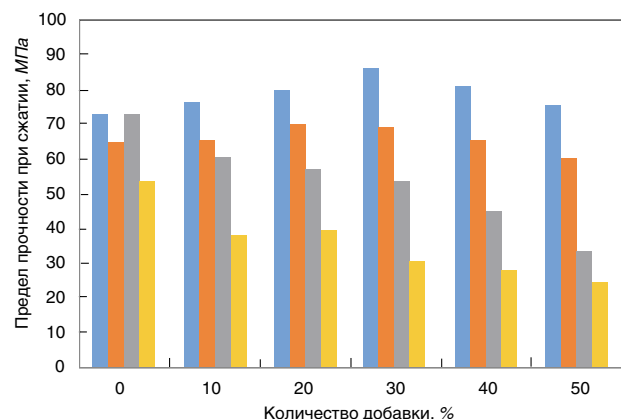


Рис. 3. Зависимость прочности вяжущих материалов от количества добавки базальта и способа их приготовления: ■ – механоактивация; ■ – гидромеханоактивация; ■ – механическое смешивание; ■ – ультразвук

торой создает переменные звуковые давления, позволяющие разрушать структурные элементы. Поэтому были проведены исследования по установлению влияния ультразвуковой обработки водной системы вяжущих материалов на процесс их гидратации и твердения. Для создания акустических колебаний использовали ультразвуковой диспергатор УЗДН-2. Сырьевую шихту разных составов, затворенную водой, подвергали воздействию ультразвуковых волн частотой 22 кГц в течение 5 мин, затем формовали образцы, хранили в нормально-влажностных условиях и испытывали.

Как показали полученные результаты, воздействие ультразвуковой обработки не оказывает положительно-го влияния на цементное тесто с добавкой базальта. Затвердевшие образцы имеют низкую прочность при сжатии, которая снижается с увеличением количества добавки базальта. Возможно, объяснением данного процесса является то, что под воздействием ультразвука в изучаемой системе образуются кавитационные пузырьки, приводящие к неустойчивости формируемой пространственной структуры, обуславливающей ее низкую гидратационную активность.

В целом влияние способов активации композиционных вяжущих материалов с добавкой базальта на их прочностные показатели представлено на рис. 3.

Список литературы

1. Сарайкина К.А., Голубев В.А., Семкова Е.Н. Щелочестойкость базальтового волокна и способы ее повышения // *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*. 2012. № 1. С. 185–191.
2. Ходакова Н.Н., Углова Т.К., Фирсов В.В., Татаринцева О.С. Минеральное сырье Кавказа для производства базальтовых волокон // *Ползуновский вестник*. 2013. № 1. С. 138–142.
3. Khudyakova L.I., Buyantuev S.L., Voiloshnikov O.V. Mineral fiber obtained using low-temperature plasma // *Glass and Ceramics*. 2013. Vol. 70. No. 7, pp. 297–299.
4. Kumbhar V.P. An overview: basalt rock fibers – new construction material // *Acta Engineering International*. 2014. No. 2 (1), pp. 11–18.
5. Kunal S. A short review on basalt fiber // *International Journal of Textile Science*. 2012. Vol. 1 (4), pp. 19–28.
6. Siddiqui R., Naseer S., Uddin B. Basalt: unconventional uses of a conventional rock // *International Journal of Science and Engineering*. 2015. Vol. 3. Special Number ICRAESM, pp. 116–123.
7. De Fazio P. Basalt fibra: from earth an ancient material for innovative and modern application // *Energia, Ambiente e Innovazione*. 2011. No. 3, pp. 89–96.
8. Бабаев В.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В. Базальтовое волокно как компонент для микроармирования цементных композитов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2012. № 4. С. 58–61.
9. Borhan T.M. Thermal and mechanical properties of basalt fibre reinforced concrete // *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*. 2013. Vol. 7. No. 4, pp. 334–337.
10. High C., Seliem H.M., El-Safty A., Rizkalla S.H. Use of basalt fibers for concrete structures // *Construction and Building Materials*. 2015. No. 96, pp. 37–46.
11. Бозылев В.В., Драгель А.А. К вопросу о повышении прочностных показателей изделий из пенобетона неавтоклавного твердения // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки*. 2013. № 16. С. 77–83.
12. Жуков А.Д., Рудницкая В.А. Пенобетон, армированный базальтовой фиброй // *Вестник МГСУ*. 2012. № 6. С. 83–87.

Экспериментальные данные показывают, что наибольшую прочность имеют вяжущие, полученные методом механоактивации сырьевых материалов. Максимум прочности достигается при содержании базальта в шихте в количестве 30%. Воздействие гидромеханоактивации снижает прочность при сжатии вяжущих композиций, максимум которой достигается в составе, содержащем 20% базальта. Худшие показатели имеют образцы, полученные воздействием ультразвука на затворенную водой шихту.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что при получении цементных вяжущих материалов с добавлением базальтов наиболее эффективным и экономически выгодным является применение механоактивации сырьевых материалов. Прочность гидратированных продуктов зависит от времени активации и от количества базальта, вводимого в сырьевую шихту. Наилучшие прочностные показатели имеют составы с содержанием базальта в количестве 30% для механоактивации и 20% для гидромеханоактивации при их продолжительности в течение 15 мин. При этом вяжущие композиции обладают хорошей водостойкостью. Использование метода механоактивации позволяет получать товарную продукцию на предприятии и поставлять ее на дальние расстояния.

References

1. Saraykina K.A., Golubev V.A., Semkova E.N. Basalt fiber alkali-resistance and methods of its increase. *Vestnik PNIPIU. Stroitel'stvo i Arhitektura*. 2012. No. 1, pp. 185–191. (In Russian).
2. Khodakova N.N., Uglova T.K., Firsov V.V., Tatarintseva O.S. Minerals Caucasus for production of basalt fiber. *Polzunovskii Vestnik*. 2013. No. 1, pp. 138–142. (In Russian).
3. Khudyakova L.I., Buyantuev S.L., Voiloshnikov O.V. Mineral fiber obtained using low-temperature plasma. *Glass and Ceramics*. 2013. Vol. 70. No. 7, pp. 297–299.
4. Kumbhar V.P. An overview: basalt rock fibers – new construction material. *Acta Engineering International*. 2014. No. 2 (1), pp. 11–18.
5. Kunal S. A short review on basalt fiber. *International Journal of Textile Science*. 2012. Vol. 1(4), pp. 19–28.
6. Siddiqui R., Naseer S., Uddin B. Basalt: unconventional uses of a conventional rock. *International Journal of Science and Engineering*. 2015. Vol. 3. Special Number ICRAESM, pp. 116–123.
7. De Fazio P. Basalt fibra: from earth an ancient material for innovative and modern application. *Energia, Ambiente e Innovazione*. 2011. No. 3, pp. 89–96.
8. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelubova V.V. Basalt fiber as a component for the micro-reinforcement composites. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2012. No. 4, pp. 58–61. (In Russian).
9. Borhan T.M. Thermal and mechanical properties of basalt fibre reinforced concrete. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*. 2013. Vol. 7. No. 4, pp. 334–337.
10. High C., Seliem H.M., El-Safty A., Rizkalla S.H. Use of basalt fibers for concrete structures. *Construction and Building Materials*. 2015. No. 96, pp. 37–46.
11. Bozylev V.V., Dragel A.A. To the question of the strength indicators of products from non-autoclaved foamed concrete increasing. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria F: Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*. 2013. No. 16, pp. 77–83. (In Russian).
12. Zhukov A.D., Rudnitskaya V.A. Foam concrete reinforcement by basalt fibres. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 6, pp. 83–87. (In Russian).
13. Barantseva S.E., Levitskiy I.A., Poznyak A.I. Opportunities and prospects of using of the Republic of

13. Баранцева С.Е., Левицкий И.А., Позняк А.И. Возможности и перспективы использования базальтов и туфов Республики Беларусь для производства строительной керамики // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2015. № 5 (31). С. 505–508.
14. Гурьянов Г.А., Клименко Е.А., Васильева О.Ю. Улучшение процесса приготовления и качества бетона на основе анализа способов активации цемента // *Вестник ПНИПУ*. 2015. № 1. С. 23–41.
15. Ибрагимов Р.А., Пименов С.И. Влияние механохимической активации на особенности процессов гидратации цемента // *Инженерно-строительный журнал*. 2016. № 2 (62). С. 3–12.
16. Kumar S., Kumar R, Bandopadhyay A. et al. Mechanical activation of granulated blast furnace slag and its effect on the properties and structure of Portland slag cement // *Cement and Concrete Composites*. 2008. Vol. 30. No. 8, pp. 679–685.
17. Sajedi F., Abdul Razak H. Thermal activation of ordinary Portland cement-slag mortars // *Materials and Design*. 2010. Vol. 31. No. 9, pp. 4522–4527.
18. Пятко Ю.Н., Ахметова Р.Т., Хацринов А.И. и др. Влияние ультразвуковой обработки на свойства трепела // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 12. С. 320–324.
19. Худякова Л.И., Войлошников О.В., Котова И.Ю. Влияние механической активации на процесс образования и свойства композиционных вяжущих материалов // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 37–41.
- Belarus basalts and tuffs for production of building ceramics. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*. 2015. No. 5 (31), pp. 505–508. (In Russian).
14. Gur'ianov G.A., Klimenko E.A., Vasil'eva O.Yu. Improving the concrete preparation process and its quality on the basis of activation methods analysis of cement. *Vestnik PNIPU*. 2015. No. 1, pp. 23–41. (In Russian).
15. Ibragimov R.A., Pimenov S.I. Influence of mechanochemical activation on the feayures in the of hydration of cement. *Inzhenerno-stroitel'nyi Zhurnal*. 2016. No. 2, pp. 3–12. (In Russian).
16. Kumar S., Kumar R, Bandopadhyay A. et al. Mechanical activation of granulated blast furnace slag and its effect on the properties and structure of Portland slag cement. *Cement and Concrete Composites*. 2008. Vol. 30. No. 8, pp. 679–685.
17. Sajedi F., Abdul Razak H. Thermal activation of ordinary Portland cement-slag mortars. *Materials and Design*. 2010. Vol. 31. No. 9, pp. 4522–4527.
18. Pyatko Y.N., Akhmetova R.T., Khatsrinov A.I. et al. Effect of ultrasonic treatment on the properties of tripoli. *Fundamental'nye Issledovaniya*. 2015. No. 12, pp. 320–324. (In Russian).
19. Khudyakova L.I., Voiloshnikov O.V. Influence of mechanical activation on process of formation and properties of composite binding materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 3, pp. 37–41. (In Russian).

II Международный симпозиум по долговечности и устойчивому развитию конструкционного бетона DSCS 2018



Москва, 6–7 июня 2018 г.

Организаторы:

Итальянское отделение американского института бетона (ACI IC) и Российская инженерная академия (РИА) При участии Российской академии наук (РАН) и Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН)

Спонсоры конференции:

Американский институт бетона (ACI) и его комитеты: C130 (Sustainability of Concrete), C201 (Durability of Concrete), C544 (Fiber Reinforced Concrete), C549 (Thin Reinforced Cementitious Products and Ferrocement); Международная федерация по конструкционному бетону (fib); Международный союз экспертов и лабораторий в области испытаний строительных материалов, систем и конструкций (RILEM)



Тематика симпозиума

- Сокращение парниковых газов в цементной и бетонной промышленности
- Рециклирование и организация удаления отходов в производстве бетонов и растворов
- Сульфоалюминатные цементы как альтернатива портландцементу и смешанным цементам
- Щелочеактивированные материалы и геополимеры для устойчивого строительства
- Долговечность железобетонных конструкций
- Оценка жизненного цикла в строительстве из бетона
- Повторное использование и восстановление функциональности железобетонных конструкций
- Ремонт и эксплуатация
- Контроль, инспектирование и мониторинг
- Примеры из практики

Место проведения конференции: Российская академия наук, Москва, Россия

<http://www.aciitaly.com/events/dscs2018>

Секретариат симпозиума: ACI Italy Chapter Secretary (aciitalychapter@gmail.com)

Российский секретариат: Леонид Иванов, региональная группа РИЛЕМ (l.a.ivanov@mail.ru);

Сергей Бронин, Национальная группа ФИБ (bronin@list.ru).

М.А. ФРОЛОВА, канд. хим. наук, М.В. МОРОЗОВА, инженер (m.morozova@narfu.ru),
А.М. АЙЗЕНШТАДТ, д-р хим. наук, А.С. ТУТЫГИН, канд. техн. наук (tutygin@narfu.ru)

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова (163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17)

Алюмосиликатное вяжущее на основе сапонитсодержащих отходов алмазодобывающей промышленности

Приведены результаты экспериментальных исследований продуктов реакции гидратации сапонитсодержащего отхода, выделенного из суспензии оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд. Предварительно сапонитсодержащий материал подвергся механоактивации до удельной поверхности более 35000 м²/кг на планетарной шаровой мельнице. Методами ИК-спектроскопии и растровой электронной микроскопии установлено, что в опытных образцах вяжущего с минеральной добавкой высокодисперсного сапонитсодержащего материала присутствуют субмикрорекристаллы гидросиликатов группы тоберморита. Доказано, что механоактивированный сапонитсодержащий материал способен образовывать в процессе твердения бетона гидросиликаты дополнительной генерации. Полученные данные позволяют рассматривать сапонитсодержащий материал не только как сорбент, оптимизирующий путем сорбции водной фазы структурообразование в процессе твердения бетона, но и как активный минеральный компонент в вяжущих композициях гидратационного типа твердения.

Ключевые слова: сапонитсодержащий материал, механоактивация, удельная поверхность, растровая электронная микроскопия, инфракрасная спектроскопия, гидросиликаты дополнительной генерации.

Для цитирования: Фролова М.А., Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Тутыгин А.С. Алюмосиликатное вяжущее на основе сапонитсодержащих отходов алмазодобывающей промышленности // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 68–70.

M.A. FROLOVA, Candidate of Sciences (Chemistry), M.V. MOROZOVA, Engineer (m.morozova@narfu.ru),
A.M. AIZENSHTADT, Doctor of Sciences (Chemistry), A.S. TUTYGIN, Candidate of Sciences (Engineering) (tutygin@narfu.ru)
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (17, Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation)

An Aluminum-Silicate Binder on the Basis of Saponite-Containing Waste of Diamond Industry

Results of the experimental study of products of the hydration reaction of saponite-containing wastes separated from the circulating water suspension of the kimberlite ore enrichment process are presented. Preliminary the saponite-containing material was subjected to mechanical activation till the specific surface of over 35000 m²/kg at the planetary ball mill. It is established by the methods of IR-spectroscopy and scanning electronic microscopy that sub-microcrystals of hydrosilicates of tobermorite group are present in the experimental samples of the binder with a mineral additive of high-disperse saponite-containing material. It is proved that the mechanical activated saponite-containing material is able to form hydrosilicates of additional generation in the process of concrete hardening. The data obtained make it possible to consider the saponite-containing material not only as a sorbent optimizing the structure formation by means of sorption of the water phase in the process of concrete hardening but also as an active mineral component in binder compositions of a hydration type of hardening.

Keywords: saponite-containing material, mechanical activation, specific surface, scanning electronic microscopy, IR-spectroscopy, hydro-silicates of additional generation.

For citation: Frolova M.A., Morozova M.V., Aizenshtadt A.M., Tutygin A.S. An aluminum-silicate binder on the basis of saponite-containing waste of diamond industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 68–70. (In Russian).

В настоящее время развитым и широко распространенным направлением отрасли производства строительных материалов является получение вяжущих веществ на основе композиций различных минеральных составляющих. В качестве весьма перспективного сырья в этом плане рассматриваются алюмосиликатные материалы природного и техногенного происхождения [1, 2]. Не исключение в ряду активных добавок, способствующих уменьшению расхода портландцемента на единицу продукции без ухудшения вяжущих свойств последнего, по мнению авторов, и сапонитсодержащий отход (ССО), получаемый в процессе обогащения кимберлитовых руд при промышленной добыче алмазов месторождения М.В. Ломоносова (Архангельская обл.). Песчано-глинистые пустые породы в обводненном состоянии направляются в хвостохранилище, где складировается до 1 млн т отходов в год. При этом в твердой фазе ССО содержание сапонита достигает 60–70% [3]. Известно, что сапонит – слоистая гетеропористая горная порода с хорошей водоудерживающей способностью. Химический анализ состава образцов сапонитсодержащего материала (ССМ), проведенный с использованием энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра Shimadzu EDX-800, показал, что основными элементами исследуемых образцов (в пересчете на оксиды) являются

(97,4%): SiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO и K₂O [4]. Поэтому использование высокодисперсных отходов обогащения кимберлитовых руд для получения алюмосиликатных вяжущих является новым направлением их утилизации.

Ранее в исследованиях [5] была показана эффективность добавки ССМ при получении мелкозернистого бетона, управляющей структурообразованием в процессе твердения бетонной смеси за счет стабилизации степени пересыщения системы водной фазой (оптимизация В/Ц), при этом сапонитсодержащий материал предварительно подвергался механоактивации на планетарной шаровой мельнице до величины удельной поверхности не ниже 35000 м²/кг. Необходимость данной операции связана с синтезом приповерхностной аморфной фазы, способствующей активации поверхности опытных образцов для возможной химической трансформации соединений, входящих в состав минералов исследуемой горной породы [6–9]. В работе [10] установлено, что процесс сорбции влаги высокодисперсным сапонитсодержащим материалом протекает самопроизвольно, причем последующее удаление сорбированной влаги сопровождается адсорбционно-десорбционным гистерезисом. Кроме того, высказано

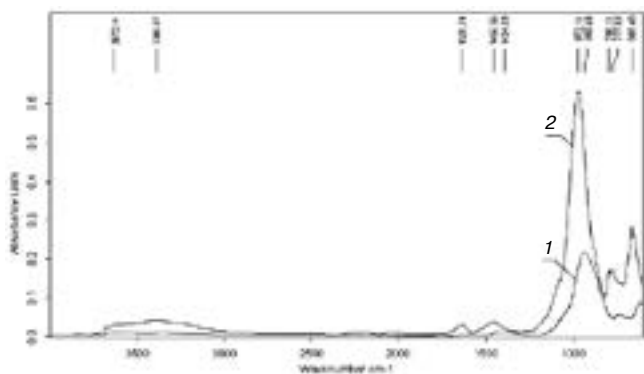


Рис. 1. ИК-спектр образца ССМ: 1 – исходного; 2 – механоактивированного

предположение, что химические соединения, присутствующие в механоактивированном ССМ, способны образовывать гидросиликаты разной основности [4, 10]. Для подтверждения данной гипотезы, по мнению авторов, целесообразно провести сравнительное изучение микроструктуры продуктов реакции гидратации цементного клинкера и его композиции с ССМ методами растровой электронной микроскопии и ИК-спектроскопии. Идентификация продуктов взаимодействия активированного высокодисперсного материала с водой по результатам исследований данными методами основана на следующих литературных сведениях. В инфракрасной спектральной области характеристические полосы поглощения гидросиликатов имеют следующие значения волновых чисел в области валентных колебаний: $970\text{--}1000\text{ см}^{-1}$. Наличие максимума поглощения при $1400\text{--}1650\text{ см}^{-1}$, а также широкая полоса спектра в области $3300\text{--}3600\text{ см}^{-1}$ свидетельствуют о наличии субмикроструктур гидросиликатов группы тоберморита [11]. Исследования микроструктуры образцов методом электронной микроскопии должны подтвердить присутствие специфических кристаллических образований [12]. Анализ экспериментальных результатов, полученных этими методами, и является целью исследований, представленных в работе.

Сапонитсодержащий материал выделяли из суспензии оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд. Полученную твердую фазу обезвоживали и доводили до постоянной массы при температуре 105°C . Экспериментальным путем была установлена оптимальная продолжительность диспергирования материала (90 мин) на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100. При этом скорость вращения ротора составила 420 об/мин (20 шт. карбид-вольфрамовых стальных тел). Высокодисперсные образцы охарактеризовали методом сорбции азота на анализаторе

Autosorb-iQ-MP по величине удельной поверхности $S_{\text{уд}}$ (теория БЭТ). Размерные характеристики частиц определяли методом фотонно-корреляционной спектроскопии на анализаторе Delsa Nano.

С целью подтверждения образования гидросиликатов дополнительной генерации за счет взаимодействия высокодисперсной минеральной добавки ССМ с водой были изготовлены образцы вяжущего (портландцемент ЦЕМ II/A-Ш ОАО «Мордовцемент») без добавки и с добавкой (20%) предварительно подготовленного сапонитсодержащего материала.

Исследование микроструктуры образцов методом растровой электронной микроскопии проводили на электронном микроскопе Zeiss Sigma VP (ЦКП САФУ «Арктика»). Запись ИК-спектров нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) проводили с использованием ИК-Фурье-спектрометра Vertex 70v (спектральный диапазон $4000\text{--}600\text{ см}^{-1}$).

Используемый режим механического диспергирования позволил получить устойчивые и воспроизводимые результаты размерных характеристик ССМ. Так, средний размер частиц и измеренная величина удельной поверхности составили $445\pm 40\text{ нм}$ и $50670\pm 20\text{ м}^2/\text{кг}$.

На рис. 1 приведены ИК-спектры поглощения продуктов реакции гидратации исходного сапонитсодержащего материала, выделенного из суспензии оборотной воды и его высокодисперсного образца, прошедшего стадию механоактивации (спектры записаны после полного удаления влаги при 105°C из исследуемых проб). Данные спектроскопии показывают наличие силикатных групп (колебания при 975 см^{-1}). При этом форма пика имеет сложный характер, что может свидетельствовать о присутствии различных типов таких групп (силикаты, гидросиликаты и пр.) В областях волновых чисел $3600\text{--}3200$ и 1635 см^{-1} присутствуют характерные полосы колебаний ОН-групп, что также подтверждает наличие гидросиликатов. Следует отметить факт значительного усиления интенсивности колебаний при 975 см^{-1} механоактивированных образцов ССМ, что может свидетельствовать о присутствии субмикроструктур гидросиликатов группы тоберморита и, следовательно, перспективности использования процесса механического диспергирования исходного сырья для усиления связующих свойств сапонитсодержащей добавки.

С целью подтверждения образования гидросиликатов дополнительной генерации за счет взаимодействия минеральной добавки с водой были получены микрофотографии изготовленных образцов вяжущего (портландцемента) без добавки и с добавкой сапонитсодержащего материала (рис. 2).

Согласно данным РЭМ образовавшиеся гидросиликаты представляют собой конгломераты частиц, размер зерен которых колеблется от 2 до 20 мкм. Частицы имеют различную форму, но в основном можно выделить два

типа частиц: губчатые (рис. 2, а) с развитой микропористой поверхностью, имеющие размеры от 5 до 10 мкм; игольчатые (рис. 2, б) с длиной от 2 до 5 мкм (диаметр иголок примерно 0,5 мкм). Причем в контрольном образце присутствуют только частицы первого типа, а в опытном с добавкой сапонитсодержащего материала наблюдается образование двух типов частиц. Полученные данные по формам и размерам частиц гидросиликатов хорошо согласуются с литературными источниками.

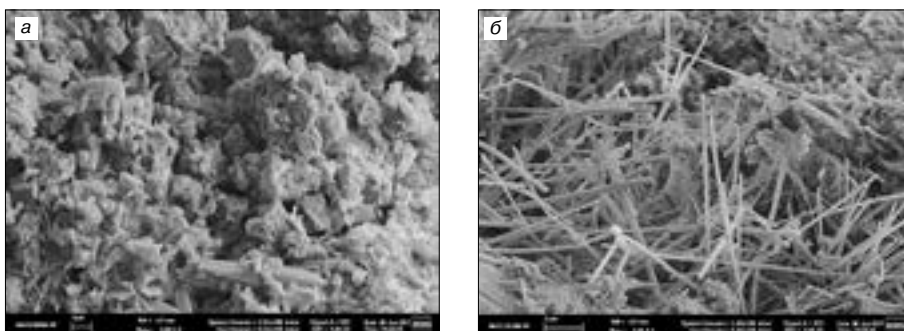


Рис. 2. Микрофотографии цементных образцов: а – исходный состав; б – опытный состав с высокодисперсной добавкой ССМ

Необходимо отметить, что с точки зрения целесообразности практического применения сапонитсодержащего материала в качестве минеральной добавки для получения морозостойкого мелкозернистого бетона был рассчитан ожидаемый экономический эффект при производстве композита класса В55 (морозостойкость F300) с учетом энергозатрат на проведение механоактивации сырья, который составил 1610 р. на 1 м³ бетона. Это обусловлено сокращением расхода портландцемента, исключением из состава дорогостоящих химических добавок-пластификаторов и использованием местных доступных сырьевых компонентов. Проведенная при этом оценка массового производства бетонных изделий с использованием высокодисперсной добавки показала, что запасов сапонитсодержащих отходов в хвостохранилище горноперерабатывающего производства достаточ-

но для ежегодного получения свыше 6 млн м³ смеси бетона класса В55.

Выводы.

На основе имеющихся результатов исследований и их обобщений можно считать установленным, что механоактивированный сапонитсодержащий материал, выделенный из суспензии оборотной воды алмазодобывающей промышленности, способен образовывать в процессе твердения бетона гидросиликаты дополнительной генерации за счет гидратации химических соединений.

Таким образом, полученные данные позволяют рассматривать ССМ не только как сорбент, оптимизирующий путем сорбции водной фазы структурообразование в процессе твердения бетона, но и как активный минеральный компонент в вяжущих композициях гидратационного типа твердения.

Список литературы

1. Чижов Р.В., Кожухова Н.И., Строкова В.В., Жерновский И.В. Алумосиликатные бесклинкерные вяжущие и области их применения // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. № 4. С. 6–10.
2. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса. М.: АСВ, 2006. 526 с.
3. Архангельская алмазонасная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под ред. О.А. Богатикова. М.: Изд-во МГУ, 1999. 524 с.
4. Дроздук Т.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Носуля А.А. Оценка активности минерального связующего на основе сапонитсодержащего материала // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 76–78.
5. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Махова Т.А. Применение сапонитсодержащего материала для получения морозостойких бетонов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 1. С. 28–31.
6. Глезер А.М. Аморфные и нанокристаллические структуры: сходство, различия, взаимные переходы // *Российский химический журнал*. 2002. Т. XLVI. № 5. С. 57–63.
7. Строкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Войтович Е.В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 9–12.
8. Вешнякова Л.А., Айзенштадт А.М. Оптимизация гранулометрического состава смесей для получения мелкозернистых бетонов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2012. № 10. С. 19–22.
9. Вешнякова Л.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А. Оценка поверхностной активности высокодисперсного сырья для композиционных строительных материалов // *Физика и химия обработки материалов*. 2015. № 2. С. 68–72.
10. Морозова М.В., Фролова М.А., Махова Т.А. Сорбционно-десорбционные свойства сапонитсодержащего материала. *Физика. СПб.: Тезисы докладов международной молодежной конференции*. СПб., 2016. С. 118.
11. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Особенности процесса гидратации цемента с комплексной добавкой // *Известия КазГАСУ*. 2010. № 2 (4). С. 229–233.
12. Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Буланова С.Б., Колзунов В.А., Супонина А.П., Галкин К.Н. Моносиликаты кальция как компоненты композиционных материалов // *Химическая технология*. 2009. Т. 10. № 3. С. 143–149.

References

1. Chizhov R.V., Kozhuhova N.I., Strokov V.V., Zhernovskiy I.V. Aluminosilicate non-clinker binders and their applications. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*. 2016. No. 4, pp. 6–10. (In Russian).
2. Lesovik V.S. Povyishenie effektivnosti proizvodstva stroitelnykh materialov s uchetom genezisa [Increase in production efficiency of construction materials taking into account genesis]. Moscow: ACB. 2006. 526 p.
3. Arhangel'skaya almazonosnaya provintsiya (geologiya, petrografiya, geohimiya i mineralogiya). Pod red. O.A. Bogatikova. [Arkhangelsk diamondiferous province (geology, petrography, geochemistry and mineralogy). Ed. by Bogatikova]. Moscow: MGU. 1999. 524 p.
4. Drozdyyuk T.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Nosulya A.A. Assessment of activity of a mineral binder on the basis of saponite-containing material. *Stroitel'nie Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 76–78. (In Russian).
5. Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Mahova T.A. Use of the saponite-containing material for receiving frost-resistant concrete. *Promyishlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 1, pp. 28–31. (In Russian).
6. Glezer A.M. Amorphous and nanocrystal structures: similarity, distinctions, mutual transitions. *Rossiyskiy himicheskii zhurnal*. 2002. Vol. XLVI. No. 5, pp. 57–63. (In Russian).
7. Strokov V.V., Cherevatova A.V., Zhernovskiy I.V., Voytovich E.V. Peculiarities of phase formation in a composite nanostructured gypsum binder. *Stroitel'nie Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 9–12. (In Russian).
8. Veshnyakova L.A., Ayzenshtadt A.M. Optimization of particle size distribution of mixes for receiving fine-grained concrete. *Promyishlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2012. No. 10, pp. 19–22. (In Russian).
9. Veshnyakova L.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A. Assessment of superficial activity of high-disperse raw materials for composite construction materials. *Fizika i himiya obrabotki materialov*. 2015. No. 2, pp. 68–72. (In Russian).
10. Morozova M.V., Frolova M.A., Makhova T.A. Sorption and stripping properties of the saponite-containing material. *Physics. SPb: Theses of reports of the international youth conference*. St. Petersburg. 2016, p. 118. (In Russian).
11. Izotov V.S., Ibragimov R.A. Features of process of hydration of cement with complex additive. *Izvestiya KazGASU*. 2010. No. 2 (4), pp. 229–233. (In Russian).
12. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Bulanova S.B., Kolzunov V.A., Suponina A.P., Galkin K.N. Calcium monosilicates as components of composite materials. *Himicheskaya tehnologiya*. 2009. Vol. 10. No. 3, pp. 143–149. (In Russian).

С.Ю. АНДРОНОВ, канд. техн. наук (atomic08@yandex.ru), А.А. АРТЕМЕНКО, д-р техн. наук, А.В. КОЧЕТКОВ, д-р техн. наук, А.А. ЗАДИРАКА, инженер

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

Влияние способа введения базальтовых волокон на физико-механические показатели композиционных асфальтобетонных смесей

Способом повышения устойчивости асфальтобетона к внешним нагрузкам является введение в состав композиционных асфальтобетонных смесей волокон и нитей. Введение в смесь длинных (протяженных) элементов – нитей, волокон или проволоки при удовлетворении и постоянстве качественных показателей, а также удобства ее использования в настоящее время является трудноразрешимой проблемой. Введение в смесь небольших по размеру (дискретных) элементов позволяет добиться их равномерного распределения (дисперсии) и получить «композитный» материал с более высокими физико-механическими показателями в готовом конструктивном элементе. В ходе работы подобраны опытные составы композиционных дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей и определено влияние на их свойства способа введения базальтовой фибры, проведены эксперименты по отработке режимов приготовления и введения фибры в композиционные асфальтобетонные составы. Выполненные исследования позволили установить эффективность способа введения предварительно приготовленной базальтовой фибры с минеральным порошком в асфальтобетонную смесь для улучшения показателей физико-механических свойств асфальтобетона в покрытиях автомобильных дорог.

Ключевые слова: композиционный материал, технология производства дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей, базальтовая фибра, отработанная базальтовая фибра, волокна.

Для цитирования: Андронов С.Ю., Артеменко А.А., Кочетков А.В., Задирака А.А. Влияние способа введения базальтовых волокон на физико-механические показатели композиционных асфальтобетонных смесей // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 71–73.

S.Yu. ANDRONOV, Candidate of Sciences (Engineering) (atomic08@yandex.ru), A.A. ARTEMENKO, Doctor of Sciences (Engineering), A.V. KOCHETKOV, Doctor of Sciences (Engineering), A.A. ZADIRAKA, Engineer
Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin (77, Politekhnikeskaya Street, 410044, Saratov, Russian Federation)

Influence of Method for Basalt Fibers Introduction on Physical-Mechanical Indicators of Composite Asphalt Concrete Mixes

The introduction of fibers and threads into the composition of composite asphalt concrete mixes is a method for improving the stability of asphalt concrete to external loads according to domestic and foreign sources. The introduction of long length elements – threads, fibers or wire – at fulfillment and consistency of quality indicators as well the convenience of its use is an insolvable problem at present. The introduction of small size (discrete) elements makes it possible to achieve their uniform distribution (dispersion) in the mixture and to obtain a “composite” material with higher physical-mechanical properties in the finished structural element. In the course of work, experimental compositions of composite disperse-reinforced asphalt concrete mixes were selected, the influence of the method of introducing the basalt fiber into the mix on their properties was determined; experiments on fine-tuning of conditions of preparation and introduction of the fiber into composite asphalt concrete compositions were conducted. The study conducted makes it possible to determine the efficiency of the method for introducing the preliminary prepared basalt fiber into the asphalt concrete mix for improving indicators of physical-mechanical properties of asphalt concrete in pavements of highways.

Keywords: composite material, technology of production of disperse-reinforced asphalt concrete mixes, basalt fiber, waste basalt fiber, fibers.

For citation: Andronov S.Yu., Artemenko A.A., Kochetkov A.V., Zadiraka A.A. Influence of method for basalt fibers introduction on physical-mechanical indicators of composite asphalt concrete mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 7, pp. 71–73. (In Russian).

В транспортном строительстве широко используется асфальтобетон, который работает в сложных климатических условиях под воздействием динамической и статической нагрузки, деформаций и т. д. Асфальтобетоны подвержены трещинообразованию, шелушению, выкрашиванию, образованию колеи, волн и впадин [1]. Для повышения устойчивости асфальтобетона к внешним нагрузкам, по данным отечественных и зарубежных источников, в состав асфальтобетонных смесей вводят волокна и нити различных видов и размеров [2–6]. Введение в асфальтобетонную смесь длинных (протяженных) элементов – нитей, волокон или проволоки при удовлетворении и постоянстве качественных показателей в настоящее время является нерешенной задачей по причине образования сгустков и комков из волокон. Это обстоятельство существенно препятствует развитию технологии производства композиционных фибросодержащих асфальтобетонных смесей и применения их в асфальтобетонных дорожных покрытиях.

Выполнялись исследования способов введения в состав дисперсно-армированных асфальтобетонных ком-

позиций предварительно приготовленных навесок из отработанной базальтовой ваты с минеральным порошком, а также предварительно приготовленных навесок из базальтовой ваты с песком.

Для установления влияния температуры и оптимального соотношения минерального порошка и базальтового волокна изготавливали опытные замесы. Использовали следующие компоненты: отработанная базальтовая вата длиной нарезки 15 мм, распушенная до отдельных волокон; минеральный порошок МП-1. Смешивание осуществляли в керамической цилиндрической емкости объемом 3 л с диаметром дна 150 мм. Емкость с минеральным порошком и базальтовыми волокнами нагревали со скоростью 10–12°С/мин. Контроль температуры выполняли ртутным термометром. Перемешивание выполняли вручную металлическим шпателем (одно круговое движение в секунду). Фиксировали температуру, когда смесь становилась однородной.

По результатам исследований было установлено, что отработанная базальтовая вата (отработанное ба-

Таблица 1

Соотношение базальтовой фибры и минерального порошка, мас. %	Температура смешивания, °С		Визуальная оценка однородности смеси
	хорошее качество	ухудшение качества	
Базальтовое волокно 1 Минеральный порошок 99	100	200	Хорошая
Базальтовое волокно 2 Минеральный порошок 98	95	205	Хорошая
Базальтовое волокно 4 Минеральный порошок 96	95	200	Хорошая
Базальтовое волокно 6 Минеральный порошок 94	100	205	Неудовлетворительная с образованием сгустков
Базальтовое волокно 8 Минеральный порошок 92	100	205	Неудовлетворительная с образованием сгустков



Лабораторная мешалка, моделирующая работу смесителя асфальтобетонного завода:
а – общий вид; б – рабочая камера мешалки

зальтовое волокно) с минеральным порошком смешивается до однородной массы при соотношении не более 4% базальтового волокна и 96% минерального порошка. Большая доля базальтового волокна не позволяет соединиться с минеральным порошком до однородного состояния. Было определено, что нагрев и интенсивность перемешивания положительно влияют на качество и однородность. Интервал 100–200°С при этом является оптимальным. В данном случае компоненты быстро перемешиваются между собой, для этого требуется 7–8 круговых движений. Выше 200°С смесь базальтового волокна и минерального порошка расслаивается. Температура ниже 100°С также приводит к образованию комков базальтового волокна и ухудшению качества полученной композиции. Оценка ее однородности при перемешивании с нагревом отработанного базальтового волокна и минерального порошка представлена в табл. 1.

На основании выполненных исследований рекомендуется использование предварительно подготовленной смеси из минерального порошка с базальтовым волокном в количестве не более 4 мас. %. Также было установлено, что температура применения приготовленной композиции должна быть не ниже 95–100°С [7].

Авторы выполнили исследование возможности качественного смешивания отработанного базальтового волокна с песком. Для этого использовали мелкий речной песок. Применяли методику, аналогичную исследованиям возможности предварительного смешивания с минеральным порошком. Установлено, что достигнуть равномерного смешивания отработанного базальтового волокна с песком не представляется возможным из-за образования сгустков и комков отработанной базальтовой фибры.

По технологии, при которой компоненты соединяют с предварительно подготовленным отработанным базальтовым волокном и минеральным порошком, были изготовлены три варианта смеси при температуре не ниже 100°С.

Для сопоставления результатов исследований в качестве исходных использовали смеси марки I типа Б с вяжущим БНД 60/90. Их физико-механические показатели приведены в табл. 2.

Было исследовано три способа введения отработанного базальтового волокна и минерального порошка в состав асфальтобетонных композиций.

1. Смесь отработанного базальтового волокна и минерального порошка вносили постепенно в разогретую минеральную составляющую композиции с одновременным перемешиванием и последующим добавлением вяжущего, окончательно перемешивая до однородного состояния.

2. Смесь отработанного базальтового волокна и минерального порошка вносили сразу всей навеской в разогретую минеральную часть, перемешивали, затем добавляли вяжущее и доводили до однородного состояния.

3. Смесь отработанного базальтового волокна и минерального порошка вносили сразу всей навеской в работающую лабораторную мешалку, затем вносили разогретые компоненты минеральной части; компоненты перемешивали, затем добавляли вяжущее и все доводили до однородного состояния.

Материал для исследований готовили в лабораторной мешалке объемом 6 л, сконструированной по типу смесителей асфальтобетонного завода [7] и моделирующей их работу (см. риунок).

Из композиционных смесей изготавливали, а затем испытывали контрольные образцы по ГОСТ 12801–98. Физико-механические показатели таких асфальтобетонов при введении отработанного базальтового волокна с минеральным порошком, нагретых до 100°С приведены в табл. 2.

Для этих асфальтобетонов определяли плотность, водонасыщение, прочность при 0, 20 и 50°С, сдвигустойчивость по коэффициенту внутреннего трения и сцепления при сдвиге при 50°С, трещиностойкость. Выбор показателей физико-механических свойств производили с целью обеспечения долговечности исследованных асфальтобетонов [8].

Постепенное внесение отработанного базальтового волокна с минеральным порошком в разогретую минеральную часть асфальтобетонной смеси с одновременным перемешиванием, последующим введением вяжущего и перемешиванием всей композиции до однородного состояния обеспечивает наиболее высокое качество композиционного дисперсно-армированного асфальтобетона. Все основные показатели стали выше, чем у исходной асфальтобетонной смеси без добавления отработанного базальтового волокна. Улучшение показателей обусловливается равномерным распределением отработанного базальтового волокна во всем объеме асфальтобетона.

Выводы. Установлено, что введение в состав дисперсно-армированных асфальтобетонных композиций предварительно перемешанного базальтового волокна с минеральным порошком позволяет получить положительные результаты при условии обеспечения их равномерной подачи в мешалку при постоянном перемешивании компонентов асфальтобетонной смеси и использовании ее при температуре не ниже 95–100°С.

Таблица 2

Физико-механические показатели композиционных дисперсно-армированных асфальтобетонов при введении отработанного базальтового волокна в виде смеси с минеральным порошком, нагретой до 100°C

Наименование показателя	Ед. изм.	Требования ГОСТ 9128–2013 к смеси марка I тип Б	Физико-механические показатели экспериментальной смеси			
			Асфальтобетон типа Б, марка I	Асфальтобетон типа Б марки I с постепенным введением волокон с минеральным порошком	Асфальтобетон типа Б марки I с введением сразу всей навеской волокон с минеральным порошком	Асфальтобетон типа Б марки I с введением в 1 мешалку смеси волокон с минеральным порошком, затем всех остальных компонентов
Средняя плотность уплотненного материала из смеси	г/см ³	–	2,46	2,44	2,44	2,45
Водонасыщение смесей	%	1,5–4	1,57	1,4	1,8	2
Предел прочности при сжатии при 20°C	МПа	От 2,5	4,5	5,6	5,1	5,1
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов при 20°C	МПа	–	4	5,3	4,6	4,6
Предел прочности при сжатии при 0°C	МПа	До 13	7,4	7,6	7,6	7
Предел прочности при сжатии при 50°C	МПа	От 1,3	2	2,7	2,2	2,1
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения	б/р	От 0,83	0,83	0,87	0,84	0,78
Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при 50°C	МПа	От 0,38	0,6	0,64	0,6	0,53
Трещиностойкость по пределу прочности при растяжении при расколе при 0°C и скорости деформирования 50 мм/мин	МПа	4–6,5	4,2	5,6	5,6	4,2

Исследования позволили установить эффективность способа введения предварительно смешанного отработанного базальтового волокна с минеральным порошком в асфальтобетонную композицию для улучшения показателей физико-механических свойств асфальтобетона в покрытиях автомобильных дорог.

Список литературы

1. Справочная энциклопедия дорожника. Т. 2. Ремонт и содержание автомобильных дорог / Ред. А.П. Васильев. М.: Росавтодор, 2004. 1129 с.
2. Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий. Методические рекомендации. Омск: Омский дом печати. 2004. 356 с.
3. Методические рекомендации по технологии армирования асфальтобетонных покрытий добавками базальтовых волокон (фиброй) при строительстве и ремонте автомобильных дорог. (утв. Росавтодор № ОС-12-р, 11.01.2002). Москва. 2002.
4. Cleven M. Aren. Investigation of the properties of carbon fiber modified asphalt mixtures. Michigan Technological University. 2000. 84 p.
5. Fitzgerald R.L. Novel applications of carbon fiber for hot mix asphalt reinforcement and carbon-carbon. Michigan technological university. 2000.
6. Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V., Chelpanov I.B. Installing composite surface treatment and thin wearing courses using different types of fibre // *Fibre Chemistry*. 2015. Vol. 47. No. 1, pp. 66–72.
7. Горнаев Н.А., Никишин В.Е. Технология холодной регенерации асфальтобетона // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2005. № 3. С. 43–44.
8. Сюньи Г.К., Усманов К.Х., Файнберг Э.С. Регенерированной дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1984. 118 с.

References

1. Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika. Tom 2. Remont i sodержanie avtomobil'nykh dorog. Pod red. Vasil'eva A.P. [A reference encyclopedia of a road worker. Vol. 2. Repair and maintenance of highways. Ed. by Vasilyev A.P.]. Moscow: Rosavtodor, 2004. 1129 p.
2. Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva stroitel'stva asfal'tobetonykh pokrytiy. Metodicheskie rekomendatsii [Technological support of the quality of construction of asphalt concrete pavements. Guidelines.]. Omsk: Omskiy dom pečati. 2004. 356 p.
3. Methodical recommendations on the technology of reinforcing asphalt-concrete coatings with basalt fiber (fiber) additives for the construction and repair of highways. (Approved by Rosavtodor No. OS-12-r, 11.01.2002). Moscow. 2002. (In Russian).
4. Cleven M. Aren. Investigation of the properties of carbon fiber modified asphalt mixtures. Michigan Technological University. 2000. 84 p.
5. Fitzgerald R.L. Novel applications of carbon fiber for hot mix asphalt reinforcement and carbon-carbon. Michigan technological university. 2000.
6. Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V., Chelpanov I.B. Installing composite surface treatment and thin wearing courses using different types of fibre. *Fibre Chemistry*. 2015. Vol. 47. No. 1, pp. 66–72.
7. Gornaev N.A., Nikishin V.E. Technology of cold regeneration of asphaltic concrete. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli*. 2005. No. 3, pp. 43–44. (In Russian).
8. Syun'i G.K., Usmanov K.Kh., Fainberg E.S. Regenerirovannoi dorozhnyi asfal'tobeton [Reclaimed road asphalt concrete]. Moscow: Transport. 1984. 118 p.

ОЧЕНЬ ПРОСИМ ПАП И МАМ ПРИХОДИТЬ ДОМОЙ БЕЗ ТРАВМ



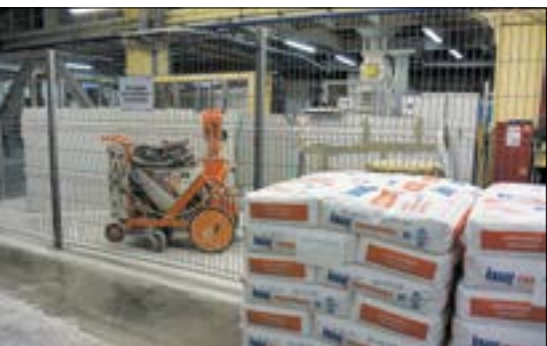
Стандарт безопасности КНАУФ – инвестиции в человеческий капитал

Компания «КНАУФ» известна как производитель широкого ассортимента высококачественных строительных и отделочных материалов на основе гипса, как поставщик комплектов систем для отделки помещений, как разработчик ряда профессиональных стандартов и соавтор нормативных документов... Но едва ли не важнейшим вкладом фирмы «КНАУФ» в развитие российской промышленности строительных материалов является принятие, утверждение и постоянное развитие высокой культуры производства и бизнеса. Одной из главных составляющих корпоративной культуры КНАУФ является безопасность производства. Ведь человеческий капитал бесценен. Успех компании в значительной степени определяют ее сотрудники. Их энтузиазм, компетентность и мотивация являются реализацией таких традиционных ценностей КНАУФ, как дух предпринимательства, ответственность, партнерство и гуманность в повседневной деятельности.

Передовым заводом в плане безопасности производства и охраны труда в группе КНАУФ является ООО «КНАУФ ГИПС Новомосковск», что вполне закономерно, ведь в структуре этого предприятия шахта, где добыча гипсового камня производится подземным способом на глубине 130 м. Генеральный директор предприятия А.В. Макеев – бывший шахтер – не понаслышке знает, какие опасности могут подстерегать работников и не только под землей. Именно он был одним из инициаторов разработки и внедрения стандарта КНАУФ в области безопасности, который представляет собой документально оформленные и обязательные для всего руководства компании указания по охране труда и здоровья. Основными составляющими стандарта являются формализованные должностные обязанности и сферы ответственности, предписания по анализу опасностей, оценке действенности мер по охране труда, перечень необходимых действий в экстренных ситуациях, а также учебные программы для сотрудников. Стандарт безопасности КНАУФ соответствует OHSAS 18001 (Occupational Health and Safety Assessment Series), признанному стандарту в области безопасности и охраны труда на предприятиях более чем в 80 странах. Пройдя успешную апробацию на «КНАУФ ГИПС Новомосковск», стандарт безопасности постепенно вводится на всех предприятиях группы.

Рассказ о Новомосковском предприятии группы КНАУФ будет неполным, если охарактеризовать его место в промышленной структуре Тульской области. Наличие ряда крупных химических и металлургических предприятий обуславливают высокую экологическую напряженность в регионе. Например, в 2016 г. только в атмосферу было выброшено 10,16 тыс. т загрязняющих веществ. Доля выбросов предприятия КНАУФ составила всего около 2%, однако на природоохранные мероприятия постоянно тратятся значительные средства с целью дальнейшей минимизации нагрузки на окружающую среду.

Трижды в год в пяти сигнальных точках на территории завода делаются замеры чистоты воздуха. С 2005 г. превышения ПДК не наблюдается. Значения фактической концентрации диоксида азота и оксида углерода фиксируется ниже предельно допустимых.



Пылеулавливающие установки с эффективностью очистки до 99,8% ежегодно возвращают в производство до 25 т гипсовой пыли. Это 96% всех пылевых выбросов. И хотя затраты на обслуживание природоохранного оборудования составляют более 20 млн р в год, но при этом снижается плата за выбросы в атмосферу. Благодаря установке звукопоглощающих пластин на главной вентиляторной установке шахты уровень звукового давления удалось снизить почти вдвое – со 105 до 55 дБА. Монтаж ливневой канализации с установкой очистных сооружений дождевых и талых сточных вод позволил существенно сократить загрязненность сбросов в Любовское водохранилище.

Другим важным результатом внедрения на предприятии природоохранных мероприятий является существенное улучшение качества жизни в поселке (микрорайоне) «Гипсовый» – традиционном месте жительства большинства работников предприятия. Если раньше природоохранная зона предприятия составляла 300–650 м, то в настоящее время она официально сокращена всего до 50 м.

Активное внедрение стандарт безопасности КНАУФ на ООО «КНАУФ ГИПС Новомосковск» началось с 2012 г. За прошедшие годы на заводе сложилась стройная система, позволяющая практически исключить травмы на рабочем месте. Это результат длительной совместной работы службы охраны труда и промышленной безопасности, которой руководит также бывший шахтер С.И. Овчинников и работников всех уровней. Были объективно оценены профессиональные риски на каждом рабочем месте. На основании анализа рисков сформулированы правила и выбраны средства безопасности.

Поскольку на предприятии эксплуатируется гипсовая шахта, завод «КНАУФ ГИПС Новомосковск» взял на себя содержание и оснащение двух горноспасательных команд. Заводские спасатели прошли специальную подготовку, регулярно участвуют в учениях. План учений предусматривает не только ликвидацию аварий, но и оказание помощи пострадавшим: обследование выработок и доставку «условно травмированных» к клетки подъемника.

В настоящее время в шахте ведется монтаж уникальной системы связи, позиционирования и аварийного оповещения, которая позволяет мониторить каждого человека в реальном времени, а также поддерживать с ним связь.

Весь транспорт, который работает в выработках, снабжен фильтрующими устройствами, оснащён двигателями класса «евро-5». Это крайне важно для подземного пространства.

На заводе действует система профилактики и предупреждения заболеваний. Все работники на регулярной основе, а шахтеры ежедневно проходят медицинские осмотры. Предусмотрены выдача витаминных коктейлей, средств по укреплению иммунитета, при необходимости – проведение физиотерапевтических процедур.

По данным А.В. Макеева, затраты компании на охрану труда составляют до 44 млн р. в год. Сумма немалая, но окупается с лихвой за счет сокращения оплаты временной нетрудоспособности работников, выплат по производственному травматизму, оптимизации рабочих графиков, сокращения рабочих мест с вредными условиями труда и т. д.

В каждом из цехов нанесена сигнальная разметка, указывающая наиболее безопасный путь передвижения по заводской территории. Специальные ограждения с «умными» запирающими устройствами, реагирующими на команды ограниченного круга сотрудников, перекрывают свободный доступ ко всем опасным участкам технологической линии: лентам конвейеров, места погрузки продукции в железнодорожные вагоны и др.

Незатейливое приспособление на карах-погрузчиках – фонарь синего света – предупреждает работников о приближении или работе транспорта в «слепых» зонах.

Как и все предприятия группы КНАУФ, «КНАУФ ГИПС Новомосковск» активно участвует и в общем благоустройстве своего района. За счет предприятия оборудованы сквер и стадион, были выделены деньги на реконструкцию местной школы и воинского мемориала.

А.В. Макеев отмечает, что безопасные условия труда, его достойная оплата, улучшение качества жизни в поселке благотворно влияют на кадровую ситуацию. Молодые люди все реже уезжают искать лучшей доли, все чаще приходят на завод, многие – пополняя рабочие династии. Стало престижно работать на гипсовом комбинате, производить продукцию по-настоящему европейского качества.

Безопасность поставлена во главу всех аспектов деятельности компании. Продукция КНАУФ имеет все возможные сертификаты безопасности. Как отмечает руководитель Юго-Западной сбытовой дирекции ООО «КНАУФ ГИПС» (г. Новомосковск) И.Е. Ковалева, компания быстро реагирует на изменение нормативно-технических документов и обеспечивает строителей продукцией, полностью отвечающей требованиям безопасности строительства. Например, в соответствии с новой классификацией строительных материалов по классам пожарной опасности, учитывающим сразу четыре показателя опасности (горючесть, воспламеняемость, токсичность и дымообразующую способность), КНАУФ-суперлисты (гипсоволокнистые листы) относятся к классу КМ1, а Аквапанель и КНАУФ-Файерборд – к классу КМ0. Эти материалы обеспечивают высокие требования безопасности на путях эвакуации людей, а также в зальных помещениях.

Развитие предприятия продолжается. Руководство и сотрудники охотно делятся с коллегами своими достижениями в области безопасности, планируют новые мероприятия по повышению безопасности производства и охраны труда. Есть необходимость оснастить дополнительных оборудование главную диспетчерскую, оптимизировать логистические схему на территории предприятия.

Безопасность остается приоритетом компании, свидетельством ее уважительного отношения к человеку труда.



26-29 СЕНТЯБРЯ

УФА 2017

ОРГАНИЗАТОР:



ПОДДЕРЖКА:



ПОДДЕРЖКА КОМИТЕТА
РЕСПУБЛИКАНСКОЙ
КОЛЛЕГИИ ЭКСПЕРТОВ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ



МИНИСТЕРСТВО
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ТОРГОВЛИ РЕСПУБЛИКИ
БАШКОРТОСТАН



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ И
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



АССОЦИАЦИЯ
ПРЕДПРИЯТИЙ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

СОДЕЙСТВИЕ:



РЕСПУБЛИКА
БАШКОРТОСТАН



ГОРОД УФА

ФОРУМ УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ



СТРОИТЕЛЬСТВО

XXVII специализированная выставка

ДЕРЕВООБРАБОТКА

III специализированная выставка

НЕДВИЖИМОСТЬ

XI специализированная выставка



(347) 246-42-38, 246-42-37

e-mail: stroy@bvkexpo.ru

www.stroybvk.ru

Место проведения

ВДНХ ЭКСПО

ул. Менделеева, 158



#БВК #стройБВК

УДК 692.23

А.Я. ЮН, менеджер департамента маркетинга

ООО «Сен-Гобен Строительная Продукция Рус» (107061, г. Москва, Преображенская пл., 8)

Анализ эффективности двухслойного и однослойного утепления вентилируемых фасадов

Сравниваются два варианта утепления одного из наиболее эффективных строительных решений утепления ограждающей конструкции – навесных вентилируемых фасадов. Рассматриваются два варианта устройства теплоизоляционного контура: однослойное, при котором неизбежны потери тепла через стыки примыкания теплоизоляционных плит, и двухслойное, при котором верхний слой плит перекрывает места сопряжения плит нижнего слоя. Расчетным методом с использованием специализированного программного комплекса HEAT 3D показано на примере объекта, расположенного в Новосибирске, что с точки зрения тепловой защиты зданий двухслойное утепление вентилируемых фасадов является более эффективным решением, нежели однослойное, так как позволяет повысить теплотехническую однородность конструкции на 37%, а утечки тепла через стыки плит сокращаются в десять раз.

Ключевые слова: энергосбережение, утепление, навесной вентилируемый фасад, энергоэффективное решение, теплотехническая однородность.

Для цитирования: Юн А.Я. Анализ эффективности двухслойного и однослойного утепления вентилируемых фасадов // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 77–79.

A.Ya. YUN, Manager, Marketing Department

ООО «Saint-Gobain Building Products Rus» (8, Preobrazhenskaya Square, 107061, Moscow, Russian Federation)

Analysis of Efficiency of Two-Layer and One-Layer Heat Insulation of Ventilated Facades

Two variants of the heat insulation of one of the most efficient solutions of heat insulation of an enclosing structure, suspended ventilated facades, are compared. Two variants of the arrangement of a heat insulation contour, a mono-layer, when the heat losses through the junction joints of heat insulation slabs are unavoidable, and a two-layer where the upper layer of slabs overlaps the junction place of the lower layer slabs, are considered. The calculation method with the use of the specialized software HEAT 3D shows, on the example of an objects located in the city of Novosibirsk, that from the point of view of heat insulation of buildings, the two-layer heat insulation of ventilated facades is more efficient than the one-layer as makes it possible to improve the thermal-technical homogeneity by 37% and reduce the heat losses through the slab joints by 10 times.

Keywords: energy saving, heat insulation, suspended ventilated facade, energy efficient solution, thermal-technical homogeneity.

For citation: Yun A.Ya. Analysis of efficiency of two-layer and one-layer heat insulation of ventilated facades. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 77–79. (In Russian).

В настоящее время одним из самых эффективных способов теплоизоляции наружных стен зданий являются системы навесных вентилируемых фасадов (НВФ) [1].

Принято считать, что двухслойное утепление стен при применении НВФ является более предпочтительным с теплотехнической точки зрения по сравнению с однослойным решением.

Как правило, данный аргумент объясняется тем, что верхний слой плит теплоизоляции перекрывает швы (стыки) нижележащего слоя, тем самым конструкция становится более теплотехнически однородной [2, 3, 4].

Данное исследование направлено на то, чтобы сформировать научную базу с использованием современных вычислительных программ для определения

Таблица 1

Состав стены

	Материал	Толщина слоя,	Коэффициент
		мм	теплопроводности, Вт/(м·°С)
		δ	λ_A
Решение 1 (однослойное)	Штукатурный слой $\gamma=1800$ кг/м ³	20	0,76
	Ячеисто-бетонные блоки $\gamma=600$ кг/м ³	300	0,19
	Утеплитель ISOVER Венти $\gamma=85$ кг/м ³	130	0,038
	Вентилируемый воздушный зазор	40	*
	Облицовка НВФ	*	*
Решение 2 (двухслойное)	Штукатурный слой $\gamma=1800$ кг/м ³	20	0,76
	Ячеисто-бетонные блоки $\gamma=600$ кг/м ³	300	0,19
	Утеплитель ISOVER Венти $\gamma=85$ кг/м ³	30	0,038
	Утеплитель ISOVER ВентФасад-Низ $\gamma=19$ кг/м ³	100	0,038
	Вентилируемый воздушный зазор	40	*
	Облицовка НВФ	*	*

* В расчете не учитывается.

Таблица 2

Результаты расчетов моделей

Тепловой поток	
Однослойное утепление	Двухслойное утепление
$q_{1\text{слой}}=15,864 \text{ Вт/м}^2$	$q_{2\text{слой}}=11,458 \text{ Вт/м}^2$
Температура на внутренней поверхности стены	
Однослойное утепление	Двухслойное утепление
$T_{\text{min } 1\text{слой}}=18,543^\circ\text{C}$	$T_{\text{min } 2\text{слой}}=19,567^\circ\text{C}$

ющих размеров с максимально допустимой шириной швов между плитами, равной 2 мм.

Результаты проведенного расчета представлены в табл. 2.

Для оценки эффективности каждого из рассматриваемых типов утепления сравним полученные параметры с аналогичными параметрами для однородного участка стены.

Определим условное сопротивление теплопередаче однородной конструкции (по глади):

$$R_{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{8,7} + \left(\frac{0,02}{0,76} + \frac{0,3}{0,19} + \frac{0,13}{0,038} \right) + \frac{1}{10,7} = 5,23 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт},$$

где $\alpha_{\text{н}}$, $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициенты теплоотдачи; δ_i – толщина i -го слоя стены; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя стены.

Потери теплоты через однородный участок стены.

$$q_{\text{гладь}} = \frac{1}{R_{\text{усл}}} (t_{\text{в}} - t_{\text{пр}}) = \frac{1}{5,23} (21 + 36,1) = 10,91 \text{ Вт/м}^2$$

$$T_{\text{min}} = t_{\text{в}} - \Delta t_{\text{п}}, \text{ где}$$

$$\Delta t_{\text{п}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{пр}}}{R_{\text{усл}} \cdot \alpha_{\text{в}}} = \frac{21 + 36,1}{5,233 \cdot 8,7} = 1,155^\circ\text{C}$$

Список литературы

- Есаулов Г.В. История России в градостроительстве: традиции и новации // *Academia. Архитектура и строительство*. 2012. № 4. С. 130–133.
- Самарин О.Д., Лушин К.И. Энергетический баланс жилых зданий и его экспериментальные исследования // *Вестник МГСУ*. 2009. № 2. С. 423–430.
- Гагарин В.Г., Козлов В.В., Лушин К.И., Пастушков П.П. О применении ветрогидрозащитных мембран в навесных фасадных системах с вентилируемой воздушной прослойкой // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2012. № 5. С. 128–131.
- Гагарин В.Г., Козлов В.В., Лушин К.И., Пастушков П.П. К вопросу о применении ветрогидрозащитных мембран в навесных фасадных системах с вентилируемой воздушной прослойкой // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2013. № 3. С. 120–122.
- Гагарин В.Г., Гувернюк С.В., Лушин К.И. Моделирование эмиссии волокон из минераловатного утеплителя навесной фасадной системы с вентилируемой прослойкой // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 9. С. 27–29.
- Гагарин В.Г., Гувернюк С.В., Лушин К.И. Определение эмиссии волокон из минераловатного утеплителя навесной фасадной системы с вентилируемой прослойкой. *Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: Материалы XI Международной научной конференции*. Ханой, 2013. С. 278–283.
- Гагарин В.Г., Козлов В.В., Лушин К.И. Скорость движения воздуха в прослойке навесной фасадной системы при естественной вентиляции // *Жилищное строительство*. 2013. № 10. С. 14–17.

Таблица 3

Результаты расчетов

	$T_{\text{min}}, ^\circ\text{C}$	$q, \text{ Вт/м}^2$	r
Решение 1 (однослойное)	18,54	15,86	0,69
Решение 2 (двухслойное)	19,56	11,45	0,95
Однородная стена	19,84	10,91	1

Таким образом, получаем, что минимальная температура на внутренней поверхности однородного участка стены будет равна $19,84^\circ\text{C}$.

Рассчитаем коэффициенты теплотехнической однородности для двух рассматриваемых случаев:

$$r_{1\text{слой}} = \frac{q_{\text{гладь}}}{q_{1\text{слой}}} = 0,69$$

$$r_{2\text{слой}} = \frac{q_{\text{гладь}}}{q_{2\text{слой}}} = 0,95$$

Результаты всех расчетов сведены в табл. 3.

В проведенном расчете трехмерных моделей стен, утепленных одним и двумя слоями минеральной ваты, в качестве теплотехнических неоднородностей между плитами теплоизоляции моделировались швы шириной 2 мм. По результатам можно сделать следующие выводы:

– тепловые потери через стену при однослойном утеплении в 10 раз выше, чем для стены, утепленной двумя слоями минеральной ваты, и составляют соответственно 5 и $0,5 \text{ Вт/м}^2$;

– теплотехническая однородность конструкции с использованием двухслойной системы утепления в сравнении с однослойной выше на 37%.

Таким образом, с точки зрения тепловой защиты зданий двухслойное утепление вентилируемых фасадов является более эффективным решением, поскольку верхний слой перекрывает швы между плитами нижнего слоя и значительно увеличивает теплотехническую однородность конструкции.

References

- Esaulov G.V. History of Russia in town planning: traditions and innovations. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2012. No. 4, pp. 130–133. (In Russian).
- Samarin O.D., Lushin K.I. Energy balance of residential buildings and its pilot studies. *Vestnik MGSU*. 2009. No. 2, pp. 423–430. (In Russian).
- Gagarin V.G., Kozlov V.V., Lushin K.I., Pastushkov P.P. About application the vetrogidrozashchitnykh of membranes in hinged front systems with the ventilated air gap. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2012. No. 5, pp. 128–131. (In Russian).
- Gagarin V.G., Kozlov V.V., Lushin K.I., Pastushkov P.P. To a question of application the vetrogidrozashchitnykh of membranes in hinged front systems with the ventilated air gap. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2013. No. 3, pp. 120–122. (In Russian).
- Gagarin V.G., Guvernyuk S.V., Lushin K.I. Model operation of an emission of fibers from a mineral-cotton heater of hinged front system with the ventilated layer. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 9, pp. 27–29. (In Russian).
- Gagarin V.G., Guvernyuk S.V., Lushin K.I. Definition of an emission of fibers from a mineral-cotton heater of hinged front system with the ventilated layer. Quality of internal air and surrounding medium. *Materials XI of the International scientific conference*. Hanoi. 2013, pp. 278–283.
- Gagarin V.G., Kozlov V.V., Lushin K.I. Air Velocity in Air Cavity of Curtain Wall System at Free Ventilation. *Zhiliщное Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2013. No. 10, pp. 14–17. (In Russian).

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера, что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации (ссылки на авторефераты диссертаций не допускаются).

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc, *.docx или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/aytoru.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/88>

ALL FOR TILES

IDEAS • TECHNOLOGY • SUPPLIES • CULTURE
FOR CERAMIC INDUSTRY

27.28.29
september
2017

*The new meeting Place of the main players of the supply and ceramic industry
that will be held in September 2017 in Bologna, during the Cersaie Fair.*

With cultural spaces where to deepen major topical issues.



Villa Zarri

Via Ronco, 1 - 40013 Castel Maggiore (Bo) Italy

by



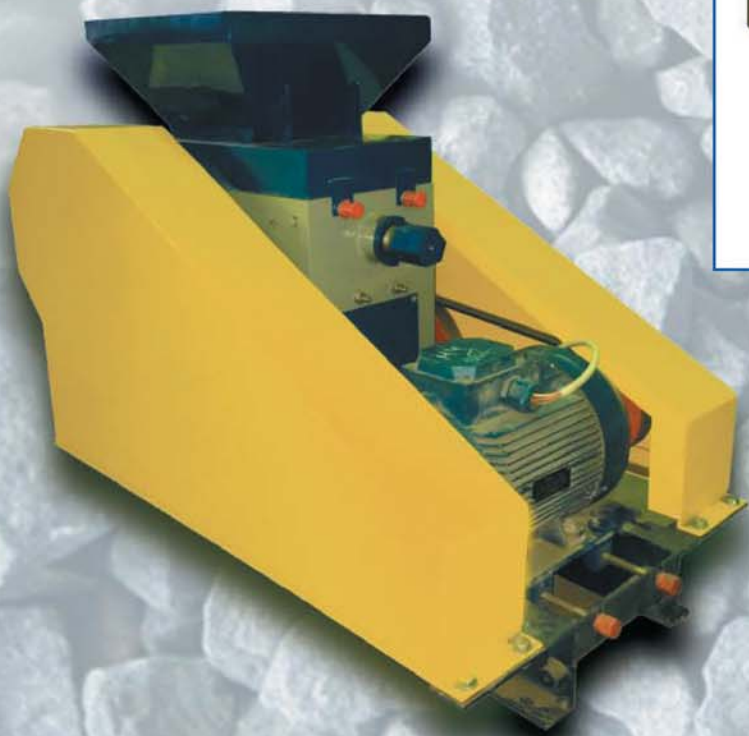
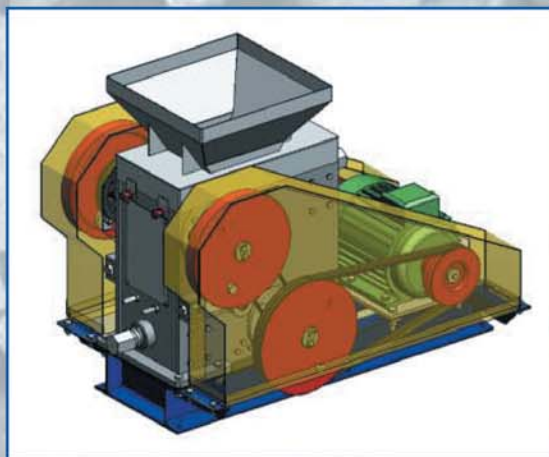
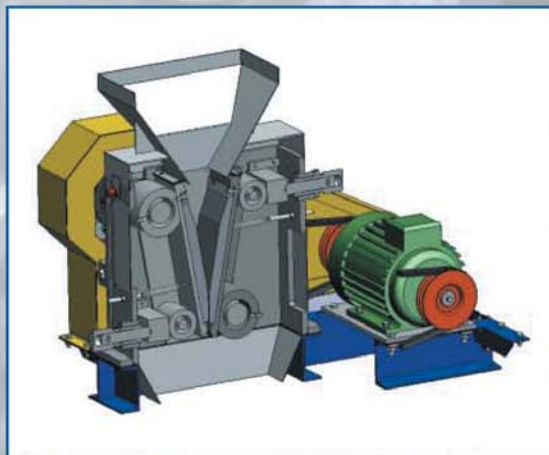
Ceramicanda

Via De Amicis, 4 - 42010 Veggia di Casalgrande (RE)

Tel.: +39 0536.990323 fax: +39 0536.990402

E-Mail: redazione@ceramicanda.com

ЭФФЕКТИВНОЕ ДРОБЛЕНИЕ В 2ЩДС



Превосходя все ожидания...