

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

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

№5

Основан в 1955 г.

(748) май 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

Премия имени И.А. Гришманова учреждена Российской инженерной академией (Информация)..... 4

Крупнопанельное домостроение

VII Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2017: от КПД к каркасно-панельному домостроению» состоялась в столице Чувашской Республики (Информация)..... 6

Ирландский строительный концерн CRH инвестирует в экструдер с новой технологией уплотнения (Информация)..... 14

**Н.С. СОКОЛОВ, С.Н. СОКОЛОВ, А.Н. СОКОЛОВ
 Мелкозернистый бетон как конструкционный строительный материал буронаблюдательных свай ЭРТ..... 16**

**Б.А. БОНДАРЕВ, Н.Н. ЧЕРНОУСОВ, Р.Н. ЧЕРНОУСОВ, В.А. СТУРОВА
 Исследование прочностных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом его возраста..... 20**

Материалы с ячеистой структурой

**П.П. ПАСТУШКОВ, В.Г. ГАГАРИН
 Исследования зависимости теплопроводности от плотности и коэффициента теплотехнического качества автоклавного газобетона..... 26**

**В.Н. ДЕРКАЧ
 Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах
 Часть 1. Прочность и деформативность при сжатии..... 29**

**Н.И. КОЖУХОВА, Д.Н. ДАНАКИН
 Стабилизирующая добавка как способ оптимизации поровой структуры легковесных композитов на основе геополимерного вяжущего..... 33**

**Г.В. КУЗНЕЦОВА, Н.Н. МОРОЗОВА, Л.И. ПОТАПОВА, В.В. КЛОКОВ
 Комплексная добавка для автоклавного газобетона..... 36**

От идеи к воплощению. Российские газообразователи для производства газобетона (Информация)..... 40

Оптимизация матричной структуры при производстве газобетона с пониженным содержанием цемента благодаря методу двухступенчатого перемешивания (Информация)..... 42

Технология производства U-образных перемычек и просверливания ячеистого бетона компании WKB Systems GmbH (Информация)..... 46

**Н.В. ЛЮБОМИРСКИЙ, Е.Ю. НИКОЛАЕНКО, В.В. НИКОЛАЕНКО, А.С. БАХТИН, Т.А. БАХТИНА
 Влияние принудительной карбонизации на формирование структуры газобетона на основе известково-цементного вяжущего и карбонаткальцевого заполнителя..... 48**

**Е.Э. КАДОМЦЕВА, Л.В. МОРГУН, Н.И. БЕСКОПЫЛЬНАЯ, В.Н. МОРГУН, Я.А. БЕРДНИК
 Исследование влияния бимодальности фибропенбетона на прочность армированных балок..... 52**

**Я.И. ВАЙСМАН, А.А. КЕТОВ, П.А. КЕТОВ
 Вторичное использование пеностекла при производстве пеностеклокристаллических плит..... 56**

Технологии и оборудование

**В.Г. КУЗНЕЦОВ, И.П. КУЗНЕЦОВ
 Уплотнительные устройства из ППФП-Астики приемных бункеров ленточных конвейеров..... 60**

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

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

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

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

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROITEL'NYE MATERIALY®

№5

Founded in 1955

(748) May 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)

Award Named After I.A. Grishmanov was Founded by the Russian Engineering Academy (Information)

4

Large-panel housing construction

The VII International Scientific-Practical Conference

«InterConPan-2017: from LPC to Frame-Panel Construction» was held in the capital of the Chuvash Republic (Information)

6

Irish Construction Concern CRH Invests in the New Extruder with New Sealing Technology (Information)

14

N.S. SOKOLOV, S.N. SOKOLOV, A.N. SOKOLOV

Fine Concrete as a Structural Building Material of Bored-Injection Piles EDT

16

B.A. BONDAREV, N.N. CHERNOUSOV, R.N. CHERNOUSOV, V.A. STUROVA

Research in Strength Properties of Steel-Fiber-Slag Concrete in the Course of Axial Tension and Compression with Due Regard for Its Age

20

Materials with Cellular Structure

P.P. PASTUSHKOV, V.G. GAGARIN

Research in Dependence of Heat Conductivity on Density and Coefficient of Thermo-Technical Quality of Autoclaved Concrete

26

V.N. DERKACH

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

Part 1. Strength and Deformability under Compression

29

N.I. KOZHUKHOVA, D.N. DANAKIN

A Stabilizing Additive as a Method for Optimization of Porous Structure of Lightweight Composites on the Basis of Geopolymeric Binder

33

G.N. KUZNETSOVA, N.N. MOROZOVA, L.I. POTAPOVA, V.V. KLOKOV

A Complex Additive for Autoclaved Concrete

36

From Idea to Implementation. Russian Gasifiers for Production (Information)

40

Optimization of a Matrix Structure When Producing Gas Concrete with Reduced Content of Cement Due to the Method of Two-Stage Mixing (Information)

41

Automated Line for Production of U-shaped Jumpers

and Drilling of Cellular Concrete Blocks of WKB Systems GmbH (Information)

46

N.V. LYUBOMIRSKY, E.Yu. NIKOLAENKO, V.V. NIKOLAENKO, A.S. BAKHTIN, T.A. BAKHTINA

Impact of Forced Carbonation on Formation of Gas Concrete Structure on the Basis of a Lime-Cement Binder and Carbonate-Calcium Filler

48

E.E. KADOMTSEVA, L.V. MORGUN, N.I. BESKOPYLNAYA, V.N. MORGUN, Ya.A. BERDNIK

Research in Influence of Bi-Modularity of Fiber Foam Concrete on Strength of Reinforced Beams

52

Ya.I. VAYSMAN, A.A. KETOV, P.A. KETOV

Secondary Application of Foam Glass when Producing Foam-Glass-Crystal Slabs

56

Technologies and equipment

V.G. KUZNETSOV, I.P. KUZNETSOV

Sealing Arrangement Made of PFP-Astiki for Receiving Hoppers of Belt Conveyers ..

60

Review of Russian Market of Crushed Stone and Gravel (Information)

64

I.D. USTINOV, A.D. SHULOYAKOV

Production of Cubiform Crushed Stone is an Innovative Stage of Development of Building Materials Industry

66

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 № 5

Обзор состояния российского рынка щебня и гравия (Информация)..... 64

И.Д. УСТИНОВ, А.Д. ШУЛОЯКОВ

Производство кубовидного щебня – инновационный этап развития промышленности строительных материалов ... 66

В.Н. АМИНОВ, Е.Е. КАМЕНЕВА, И.Д. УСТИНОВ

Инновационные разработки для повышения точности оценки физико-механических свойств строительных горных пород при геологической разведке 69

Результаты научных исследований

В.Г. ХОЗИН, А.А. АБДУЛХАКОВА, И.А. СТАРОВОЙТОВА, Е.С. ЗЫКОВА

Цементные композиции, модифицированные водной эмульсией эпоксидного олигомера 73

Опыт применения поликарбоксилатных пластификаторов в производстве ССС (Информация) 78

Состояние российской экономики и ее влияние на строительный комплекс России (Информация)..... 80

Г.И. БЕРДОВ, С.А. ВИНОГРАДОВ, А.Ф. БЕРНАЦКИЙ

Влияние тепловлажностной обработки на структуру и свойства цементного камня 81

Г.Ф. АВЕРИНА, Т.Н. ЧЕРНЫХ, А.А. ОРЛОВ, Л.Я. КРАМАР

Выявление возможности использования магнезиальных отходов ГОК для производства вяжущих 86

Нанотехнологии в строительстве

IX Международная конференция «Нанотехнологии в строительстве: NTC-2017» (Информация) 90

М.И. КОЖУХОВА, И.Л. ЧУЛКОВА, А.Н. ХАРХАРДИН, К.Г. СОБОЛЕВ

Оценка эффективности применения гидрофобных водных эмульсий с содержанием нано- и микро-размерных частиц для модификации мелкозернистого бетона 92

О.В. АРТАМОНОВА

Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов.

Часть 6. Получение наномодифицированных термально-синтезных систем отверждения для конструкционной и функциональной керамики специального назначения 98

Stroitel'nye Materialy No. 5

V.N. AMINOV, E.E. KAMENEVA, I.D. USTINOV

Innovative Developments for Improving the Accuracy of Assessment of Physical-Mechanical Properties of Construction Rocks at Geological Exploration 69

Results of scientific research

V.G. KHOZIN, A.A. ABDULKHAKOVA, I.A. STAROVOITOVA, E.S. ZYKOVA

Cement compositions modified with an aqueous emulsion of an epoxy oligomer..... 73

Experience in the Use of Polycarboxylate Plasticizers in Production of SSS (Information) 78

The State of the Russian Economy and its Influence on the Russian Construction Industry (Information) 80

G.I. BERDOV, S.A. VINOGRADOV, A.F. BERNATSKY

Effect of Thermal-Humidity Treatment on Structure and Properties of Cement Stone 81

G.F. AVERINA, T.N. CHERNYKH, A.A. ORLOV, L.Ya. KRAMAR

Revealing Possibilities to Use Magnesite Wastes of Mineral Processing Plant for Manufacturing Binders 86

Nanotechnologies in construction

The IX International Conference «Nanotechnologies in Construction: NTC-2017» (Information)..... 90

M.I. KOZHUKHOVA, I.L. CHULKOVA, A.N. KHARKHARDIN, K.G. SOBOLEV

Estimation of Application Efficiency of Hydrophobic Water-Based Emulsions Containing Nano- and Micro-Sized Particles for Modification of Fine Grained Concrete 92

O.V. ARTAMONOVA

Concepts and Bases of Technologies of Nano-Modified Structures of Building Composites.

Part 6. Obtaining of Nano-Modified Thermal-Synthesis Systems of Hardening for Structural and Functional Ceramic of a Special Purpose 98

Премия имени И.А. Гришманова

учреждена Российской инженерной академией

в память выдающегося государственного и хозяйственного деятеля,
Героя социалистического труда
первого Министра промышленности строительных материалов СССР
Ивана Александровича Гришманова



Иван Александрович Гришманов родился 4 (17) октября 1906 г. в д. Татариново Тверской губернии. Как многие крестьянские юноши послереволюционного времени, трудовую деятельность начал рабочим в небольшом городе Осташкове в 1924 г. Затем была работа на заводе, вступление в ВКП(б), учеба в Ленинградском институте инженеров коммунального хозяйства. Работая в строительных организациях, Иван Александрович последовательно прошел путь от прораба до главного инженера. В 1944 г. он был назначен управляющим трестом «Псковстрой», затем руководил ленинградскими трестами «Ленкирово-тракторострой» и «Кировстрой». В 1951 г. опытного хозяйственника и организатора производства И.А. Гришманова призвали на партийную работу – он был избран председателем Кировского райисполкома.

В 1955 г. И.А. Гришманов перевели на работу в Москву на должность заместителя, а затем заведующего Отделом строительства ЦК КПСС. В январе 1962 г. он возглавил Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства (Госстрой СССР). С января 1963 по 1965 г. – председатель Государственного комитета по промышленности строительных материалов при Госстрое СССР.

В 1965 г. после очередной реорганизации структуры исполнительной власти было создано Министерство промышленности строительных материалов СССР. Первым министром Минпромстройматериалов СССР был назначен Иван Александрович Гришманов.

Большое внимание он уделял развитию цементной промышленности, добиваясь ускоренного расширения отрасли, повышения ее технического уровня, создания условий для полного удовлетворения потребности народного хозяйства в цементе.

Именно И.А. Гришманову высшая школа в области строительного образования для промышленности строительных материалов обязана качественно новым этапом развития, когда в 1970 г. был создан первый и единственный не только в СССР, но и в Европе технологический вуз данного профиля – Белгородский технологический институт строительных материалов, которому в 1979 г. было присвоено имя Ивана Александровича Гришманова (в настоящее время БГТУ им. В.Г. Шухова).

Заслуги И.А. Гришманова высоко оценены. Он Герой Социалистического Труда, награжден тремя орденами Ленина, орденами Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, «Знак Почета», медалями.

Премия имени А.И. Гришманова в области науки, техники и организации производства промышленности строительных материалов, конструкций и строительной индустрии учреждена Постановлением Президиума Российской инженерной академии 22 сентября 2016 г. с целью поощрения ученых и специалистов, внесших существенный вклад в науку, технику, организацию производства строительных материалов и конструкций.

Премия присуждается работникам предприятий, объединений, организаций и учреждений промышленности строительных материалов и конструкций, строительной индустрии, проектных, научных и учебных заведений отрасли, имеющим стаж работы в отрасли не менее 10 лет, а также другим лицам, внесшим значительный вклад в развитие отрасли

Лауреатов 2016 г. определила конкурсная комиссия Всероссийского профессионального конкурса по присуждению премии имени И.А. Гришманова в феврале 2017 г.



| Номинация | Лауреат Премии имени И.А. Гришманова 2016 г. |
|--|---|
| За подготовку высококвалифицированных кадров для промышленности строительных материалов и конструкций | Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) |
| За разработку и внедрение новых строительных технологий и материалов, позволяющих существенно повысить качество и долговечность | НИЦ «Строительство» |
| За создание на территории России инновационных производств, способствующих удовлетворению спроса населения и организаций, и существенному импорту замещению | Группа компаний «ТехноНИКОЛЬ» |
| За разработку и внедрение современных методов исследования, совершенствование системы нормативных документов по строительным материалам и конструкциям | Фирма ООО «Цемискон» |
| За разработку государственных программ и перспектив развития промышленности строительных материалов России | Аналитическое агентство ООО «СМПро» |
| За пропаганду современных методов исследования, новейшей техники и технологий производства строительных материалов и конструкций | Научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы»® |
| За многолетний труд и заслуги в области промышленности строительных материалов и строительной индустрии | БАЖЕНОВ Юрий Михайлович , д-р техн. наук, академик РААСН, зав. кафедрой «Технологии вяжущих веществ и бетонов» МГСУ. Заслуженный деятель науки Российской Федерации, Президент Ассоциации ученых и специалистов в области строительного материаловедения |
| | БАРИНОВА Лариса Степановна , канд. хим. наук, Лауреат премии Правительства РФ 2003г. в области науки и техники, заслуженный экономист РФ, почетный строитель России |
| | БУТКЕВИЧ Георгий Романович , канд. техн. наук, почетный член Академии горных наук, почетный строитель России, научный руководитель ассоциации «Недра», ученый секретарь ФГУП «ВНИПИИстромсырье» |
| | ГУСЕВ Борис Владимирович , д-р техн. наук, член-корреспондент Российской академии наук, президент Российской и Международной инженерных академий, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ) |
| | КРЫЛОВ Борис Александрович , д-р техн. наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, Лауреат премии Совета министров СССР, почетный строитель России, почетный транспортный строитель, академик Международной и Российской инженерной академии, главный научный сотрудник НИИ бетона и железобетона (НИИЖБ) |
| ФУРМАНОВ Борис Александрович , заслуженный строитель РФ, почетный строитель России, Лауреат премии Совета Министров СССР, действительный член Академии транспортного строительства России | |
| За развитие международного сотрудничества в области строительных материалов | ФАЛИКМАН Вячеслав Рувимович , доктор материаловедения, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, почетный строитель России, заведующий сектором долговечности железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева НИЦ «Строительство», профессор кафедры вяжущих веществ и бетонов Московского государственного строительного университета, 1-й вице-президент ассоциации «Железобетон». Представитель Международного союза экспертов и лабораторий в области строительных материалов, систем и конструкций – РИЛЕМ в странах Восточной Европы и Средней Азии, Заслуженный член РИЛЕМ (Fellow Member). Глава Национальной делегации России в Международной федерации по конструкционному бетону – ФИБ. Член Американского института бетона и Технических комитетов ACI «Материаловедение» и ACI 241 по нанотехнологиям в бетоне. |
| Разработка и внедрение современных методов исследования, новейшей техники и технологий производства строительных материалов и конструкций | УШЕРОВ-МАРШАК Александр Владимирович , д-р техн. наук, профессор кафедры «Физико-химической механики и технологии строительных материалов» Харьковского национального университета строительства и архитектуры, лауреат премии им. акад. Н.С. Курнакова АН СССР, государственной премии Украины в области науки и техники, заслуженный деятель науки и техники Украины, заслуженный инженер России (2007 г.) |

Торжественное вручение медалей и дипломов лауреатам Премии им. И.А. Гришманова состоялась 19 мая 2017 г. в рамках общего собрания Международной инженерной академии в Москве.

Подробнее читайте на сайте <http://grishmanov.ru>

InterConPan-2017

International Conference of Large-panel Construction

VII Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2017: от КПД к каркасно-панельному домостроению» состоялась в столице Чувашской Республики

4–6 апреля 2017 г. в Чебоксарах состоялась VII Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2017: от КПД к каркасно-панельному домостроению». Организаторами конференции выступили АО «ЦНИИЭП жилища» и объединенная редакция журналов «Строительные материалы»® и «Жилищное строительство» при поддержке Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова. Более 160 профессионалов из 30 регионов Российской Федерации и четырех зарубежных стран приняли участие в конференции. Основные участники мероприятия — руководители и ведущие специалисты строительно-инвестиционных компаний, домостроительных предприятий и проектных организаций, представители машиностроительных и инжиниринговых компаний, поставщики программного обеспечения из России, стран СНГ, Германии, Италии, Бельгии, ученые российских вузов и научно-исследовательских институтов.

С 2011 г. конференция «InterConPan» проходит в разных городах. Коллеги познакомились с предприятиями Москвы, Ростова-на-Дону, Казани, Санкт-Петербурга, Краснодара. В 2017 г. местом проведения была выбрана столица Чувашской Республики Чебоксары. Город, где крупнопанельное и каркасно-панельное домостроение всегда занимало ведущие позиции на строительном рынке. В VII Международной научно-практической конференции «InterConPan: от КПД к каркасно-панельному домостроению» активное участие приняли ученые Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, проектировщики, технические специалисты, технологи предприятий Чувашской Республики: ООО «АКБ «Полиспроект», ОАО «ЖБК № 1», ЗАО «Рекон», Волжского ДСК, ООО «Экоклинкер», ССК «Чебоксарский», ООО «Еврокаркас». Спонсором конференции стала итальянская компания Nordimpianti — производитель оборудования для заводов ЖБК. Поддержку мероприятию оказали постоянные партнеры — ЗАО «ПАТРИОТ-Инжиниринг» (Москва), PROGRESS GROUP (Германия) и Allbau Software GmbH (Германия). В 2017 г. партнером конференции впервые выступило ООО «Гален» (Чебоксары).

На пленарном и секционных заседаниях 4–5 апреля 2017 г. заслушано 28 докладов, посвященных проектированию крупнопанельных и каркасно-панельных домов в условиях изменяемого рыночного спроса; конкретным вопросам технического перевооружения действующих домостроительных предприятий; проектированию для удовлетворения требований всех участников бизнес-цепочки: девелоперов — проектировщиков — производителей; выбору технологического оборудования; снижению энергоемкости производства; технологии легких бетонов; использованию композитных связей; применению новых и традиционных материалов и конструктивных решений при выпуске сборных железобетонных изделий.

По оценке Минстроя РФ, объем ввода жилья в России в 2016 г. составил 81 млн м². При этом доля индустриального домостроения — 60,5%.

В докладе научного руководителя АО «ЦНИИЭП жилища» д-ра техн. наук С.В. Николаева предложена инновационная система панельного домостроения многоквартирных жилых домов с гибкой планировкой квартир. Воплощение принципа гибкости планировочных решений в панельных домах возможно только при использовании многопустотных плит перекрытий длиной 7 м и более. Переход с «узкого» шага несущих поперечных стен (до 3,6 м) на «широкий» шаг (от 4 до 7,2 м и больше) позволяет создавать комнаты площадью 50–60 м². Переход на продольный шаг несущих стен обеспечивает гибкую планировку жилых помещений, создавая пространства на 80–100 м² и более. Введение в эту систему ряда поперечных внутренних несущих стен позволяет создавать смешанную систему опирания плит перекрытий. Возникает абсолютно гибкая планировка помещений с возможностью создавать балконные части зданий по всему контуру, увеличивая общую площадь зданий относительно первого этажа. Система опирания плит перекрытий на продольно расположенные несущие стены является основой системы нового поколения панельных многоквартирных домов с гибкой планировкой квартир и возможностью создания больших семейных комнат. За счет минимизации несущих элементов возможна организация не только гибкой планировки квартир, но и гибкий подход к выбору ассортимента квартирографии. Станислав Васильевич отметил, что уже созданы цифровые технологии, которые позволяют создавать сложные по конфигурации панели без потери конструктивных качеств. Теперь есть и цифровые основы, которые используются при создании домов, в том числе BIM-технологии. Использование BIM позволяет на 22% быстрее проектировать и строить; количество ошибок сокращается на 52%; стоимость эксплуатации снижается на 10%. Таким образом, с помощью панелей можно создавать уникальные разработки. Причем это не перестает быть индустриальным, т. е. массовым домостроением!





В Чувашии за счет всех источников финансирования в 2016 г. введено в эксплуатацию жилья 629,8 тыс. м² общей площади. Из них 249,5 тыс. м² – жилье экономического класса, что составляет 40% в общем объеме введенного жилья. На 2017 г. запланировано ввести в эксплуатацию 630 тыс. м² общей площади жилья, в том числе по стандартам экономического класса 285 тыс. м². За январь–март 2017 г. уже введено в эксплуатацию 68,9 тыс. м² общей площади жилья, что составило 108,7% к первому кварталу 2016 г.

(http://gov.cap.ru/info.aspx?gov_id=21&iid=3561960&type=news&size=20/ Дата обращения 12.05.2017)





В 2016 г. в ОАО «ЖБК-1» (Чебоксары) построен комплекс зданий и сооружений, обеспечивающий изготовление многпустотных плит перекрытия стендовым способом методом экструзии на оборудовании итальянской фирмы Nordimpianti. Инвестиции в масштабную модернизацию производства составили более 400 млн р. Совместно со специалистами Nordimpianti на предприятии установлено современное оборудование – технологические линии, которые открывают новые возможности для строительной сферы как в Чувашии, так и за ее пределами. Генеральный директор ОАО «ЖБК-1» **А.В. Королев** рассказал об этапах модернизации завода и отметил, что в настоящее время предприятие обладает уникальными возможностями по производству многпустотных плит перекрытия толщиной 220 мм, шириной 1,5; 1,2 и 1 м и пролетом до 10,5 м различных типов нагрузок. Данная технология позволяет также при необходимости производить плиты различной толщины (высотой сечения до 500 мм) и пролетом до 18 м. В цеху разместили семь формовочных дорожек. При полной загрузке завод может производить в год 270 тыс. м² перекрытий. Коллеги выразили благодарность А.В. Королеву за возможность познакомиться с современным предприятием.

Представитель спонсора конференции – итальянской компании Nordimpianti **А. Борисенков** сделал акцент на автоматизации процессов производства пустотных плит безопалубочным способом. В презентации он показал особенности подготовки станда, автоматической подачи бетонной смеси, формовки, разметки и ТВО изделий, порезки готовых плит. На выездной сессии на ОАО «ЖБК-1» к представителям компании Nordimpianti обращались коллеги с интересующими их вопросами и получали исчерпывающие ответы о тонкостях проектирования и монтажа оборудования Nordimpianti.

Современное оборудование с компьютерным управлением и дозаторными устройствами позволяет выпускать бетонные смеси любого состава с гарантией их высокого качества. Оптимизация производственных бизнес-процессов и снижение себестоимости выпускаемой продукции без потери качества изделий – задача, которую необходимо решать каждому предприятию в современных рыночных условиях. В докладе **И.В. Анисимова** – директора компании «Тензотехсервис» (Казань) представлены ключевые направления, за счет которых снижается себестоимость бетонной смеси: снижение фонда оплаты труда и сокращение обслуживающего персонала; повышение энергоэффективности БСУ; применение современного оборудования; автоматизация производственных бизнес-процессов. В презентационном выступлении, а затем и на выездной сессии участникам конференции было представлено множество нюансов, с внедрением которых можно снизить потребление энергии, продлить срок службы вибрационного оборудования, сократить потребление сжатого воздуха, улучшить точность приемки, транспортировки, дозирования цемента, заполнителей, химических добавок.





О возможности проектирования с использованием Allplan Precast рассказал **В.П. Шкатов** – директор Allbau Software GmbH (Германия). Он отметил, что скорость проектирования может быть еще больше увеличена за счет автоматического моделирования основных параметров всех изделий этажа, автоматизированного выбора узлов стыков, генерирования чертежей изделий со всего этажа одной кнопкой. Максимальная скорость достигается при донастройке бизнес-процессов: оптимизации проектных решений и диалоге с производством. Безошибочность обеспечивается, в частности тем, что интеллект соответствующей строительной системы уже заложен в Allplan Precast, использующем для проектирования данные архитектуры, расчета, производства и стройплощадки. Успех гарантируется за счет интеграции процессов, привязки оборудования любой степени и взаимодействия проектирования, производства, логистики.

О применении текстурных полиуретановых матриц как способе достижения архитектурной выразительности сборных железобетонных изделий рассказал начальник развития и производства ЗАО «ПАТРИОТ-Инжиниринг» (Москва) **С.А. Кукса**. Он подчеркнул, что в России налаживается производство матриц с более привлекательными ценовыми параметрами, чем те, которые предлагают западные компании. Задача состоит в сохранении технических и эксплуатационных характеристик текстурных матриц после максимального количества циклов использования.

Новые разработки оборудования для модернизации существующих и строительства новых заводов представил **В.А. Лихтнер** – представитель партнера конференции PROGRESS GROUP (Германия).

Об интересном опыте проектирования 25-этажных крупнопанельных жилых домов в Чувашии с наружными панелями, облицованными клинкерным кирпичом, рассказал генеральный директор ООО «АКБ «ПОЛИСПРОЕКТ» **А.А. Смирнов**.

Об использовании плитки «кабанчик» широкой цветовой гаммы в качестве облицовки стеновых панелей рассказал **А.А. Демин** (ЗАО «Керама Центр», Москва). Он отметил, что облицованные плиткой «кабанчик» в заводских условиях наружные стеновые панели имеют безупречную поверхность за счет наличия дополнительного крепления типа «ласточкин хвост».

Как всегда эмоционально выступил ген. директор ЗАО «Рекон» **В.А. Шембаков**, который отметил актуальность проведения конференции в Чувашии и высокий уровень организации мероприятия. Он рассказал о специальном предложении – универсальной технологической линии «Мини-ДСК» мощностью 15 тыс. м² общей площади в год. Данное направление впервые предлагается строительным компаниям, выполняющим строительную программу от 15 до 50 тыс. м² ввода объектов в год, с целью существенного снижения себестоимости строительства, так как собственное производство строительных конструкций обеспечит снижение расходов при возведении объектов.

В докладе канд. техн. наук **А.Н. Плотникова** (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова) показаны результаты испытаний несущей способности наружных стеновых панелей из конструкционного керамзитобетона со стальной и композитной арматурой, где показано, что перемычечная и простеночные части трехслойной стеновой панели при выполнении несущих слоев из конструкционного керамзитобетона, в том числе со стеклопластиковой арматурой, обладают достаточной прочностью, жесткостью и трещиностойкостью. При использовании стеклопластиковой арматуры несущая способность панели снижается не более чем на 20%. Однако это снижение при достаточном запасе несущей способности и жесткости собранного крупнопанельного здания не оказывает существенного влияния на результат.

В 2017 г. на конференции большой интерес был проявлен к BIM-моделированию. Представитель компании Trimble Solutions, Россия





А.Ю. Емельянов рассказал об оптимизации моделирования, выпуска чертежей и производства железобетонных изделий. Он отметил быструю и надежную передачу данных между участниками, использующими различное программное обеспечение и оборудование в единой информационной модели. Была представлена Tekla Warehouse – библиотека данных, приложений и расширений, в которой все участники процесса: проектировщики, производители и др. обмениваются ценной информацией для моделирования и для воплощения проектов в жизнь.

В ПК ЛИРА САПР 2017 появился специальный инструмент для эффективного моделирования и расчета стыков крупнопанельных зданий. Главный инженер **Р.Ю. Водопьянов** рассказал, что разработан специальный класс информационных объектов – «стык панелей», который позволяет существенно упростить и автоматизировать процесс моделирования стыков панельных зданий с последующей триангуляцией и получением конечно-элементной расчетной схемы. В библиотеке конечных элементов появились новые типы пластинчатых элементов специально для моделирования горизонтального стыка панелей в линейной и физически нелинейной постановке. Нелинейные эффекты таких стыков учитываются как в упрощенной постановке с итерационным уточнением жесткостей стыка, так и с использованием шагового метода, который позволяет довести конструкцию до разрушения, т. е. позволяет моделировать такие воздействия как прогрессирующее разрушение.



Новинки компании Weckenmann представил **Д.Е. Нырковский**, который выступил с докладом «Линия с центрально-перемещающейся тележкой – гибкая, как поворотный стол, эффективная, как линия циркуляции». Компания поставляет как комплексные линии для производства железобетонных изделий, так и отдельные комплектующие: бетонораздатчики, заглаживатели поверхности, бортоснастку со встроенными магнитами, опалубочные роботы, столы-кантователи, различные стационарные опалубки и многое другое.





Большой интерес участников конференции вызвал *круглый стол* «Рынок диктует правила работы специалистов в области каркасно-панельного и крупнопанельного домостроения». Одним из самых злободневных вопросов, поставленных на круглом столе заместителем генерального директора по техническому развитию ООО «ДОМКОР» **Т.В. Фатыховой** (Набережные Челны), стала периодичность внесения изменений в нормативную документацию. Производителям и проектировщикам приходится срочно консолидировать усилия для выполнения вносимых в нормативную документацию изменений. А в условиях падающего покупательского спроса это приводит к еще большему увеличению себестоимости. Директор по науке АО «ЦНИИЭП жилища» **А.А. Магай** призвал участников обращаться с подобными вопросами. Дело в том, что институт участвует в разработке нормативных документов, поэтому обладает актуальной информацией о новых изменениях, планируемых в ближайшее время. Исполнительный директор Ассоциации «Железобетон» **С.В. Бронин** напомнил, что в целях совершенствования и развития работ по стандартизации в области строительных материалов, конструкций и изделий, в соответствии с Федеральным законом от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», Приказом Росстандарта от 30 декабря 2016 г. № 2034 создан технический комитет по стандартизации № 144 «Строительные материалы (изделия) и конструкции» (ТК 144)». На базе Ассоциации «Железобетон» создается подкомитет по бетону и железобетону. В настоящее время необходимость актуализации нормативной базы под современные требования назрела. Было отмечено, что предложения по гармонизации российских стандартов с международными нормативными документами необходимо направлять в Ассоциацию.

Обсуждались вопросы инсоляции. Мнения участников разделились: одни специалисты призывали вообще перестать учитывать требования по инсоляции при проектировании, другие обращали внимание на возможность соблюдения требований по инсоляции при грамотном профессиональном подходе: устройство эркера вместо лоджии, замена линейной блокировки на блокировку уступами, разворот дома, изменение квартирографии. Эти и другие приемы известны – необходимо своевременно применять их на практике.

Отмечалась актуальность строительства крупнопанельных домов в городах РФ. За последние годы в городах возводилось множество новостроек в монолитном исполнении, однако это не сделало города красивее и гармоничнее. Необходимо проектировать функциональные, красивые дома с оптимальными планировками. В настоящее время при строительстве крупнопанельных или каркасно-панельных домов практически нет пределов совершенству. Можно возвращаться к классике: использовать архитектурный бетон, имитировать колонны, портики, балконы. Выступление генерального директора АО «ДСК-1» **Д.А. Капырина** (Москва) обобщило представление о современном состоянии индустриального железобетонного домостроения. Он отметил, что в ближайшее время необходимо активно работать над внедрением и совершенствованием методов промышленного изготовления и монтажа домов из сборных железобетонных конструкций. Колористику фасадов можно разнообразить за счет сочетания использования различных отделочных материалов, применять стекло, металл; обеспечить сменяемость фасадов.

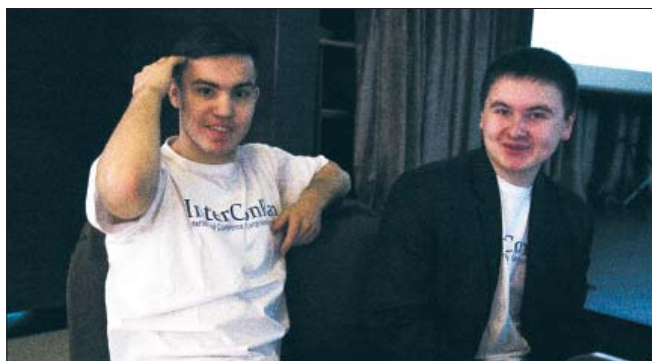
Д-ром техн. наук **В.Г. Хозиним** (Казанский государственный архитектурно-строительный университет) был затронут вопрос использования высокопрочного бетона для увеличения шага колонн. Он сделал акцент на современном состоянии технологии бетона: современный технолог может решить почти любое задание конструктора. Однако заменять металлическую арматуру в несущих конструкциях на композитную нельзя. Заместитель директора ООО «Бийский завод стеклопластиков» (Алтайский край) **А.А. Вальд** обратил внимание коллег на невозможность замены стальной арматуры на композитную с заменой диаметра. Его коллега, руководитель группы технической поддержки ООО «БЗС» **А.Г. Ковригин** показал, что для надежной и длительной эксплуатации конструкций с композитными гибкими связями последние должны обладать необходимыми физико-механическими показателями, высокой щелочестойкостью и теплостойкостью. Для этого специалисты проводят испытания в аккредитованных лабораториях и гарантируют надежность производимых композитных связей.





Традиционно участникам конференции InterConPan-2017 была предоставлена возможность познакомиться с историей и архитектурой г. Чебоксары, национальным фольклором и традициями чувашей.

Участники конференции и организаторы выражают благодарность ректору Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова А.Ю. Александрову, заведующему кафедрой «Строительные технологии, геотехника и экономика строительства» Н.С. Соколову. Большую помощь в организации мероприятия оказали студенты строительного факультета университета по руководством студента Вячеслава Шогулина, который является членом Молодежного правительства Чувашской Республики, закрепленным за Министерством строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Чувашской Республики. Два дня техническую поддержку мероприятию оказывал Иван Тихонов. В обзоре использованы фото Д. Абрамова и Д. Шурчакова.



Завершила работу конференции выездная сессия на ООО «Гален» (Чебоксары), которое является разработчиком и производителем современных композитных материалов из базальтопластика и стеклопластика для промышленно-гражданского, дорожного строительства, горнодобывающей промышленности и электроэнергетики. В 2017 г. ООО «Гален» выступило партнером конференции InterConPan. На пленарном заседании заместитель генерального директора **Е.А. Литвинов** выступил с докладом, где акцент был сделан на представлении всей линейки выпускаемой предприятием продукции. Композитная арматура и сетка выпускаются в соответствии с ТУ. В июне 2016 г. компания «Гален» запустила полный цикл производства композитных оконных систем. Было предложено осуществить переход на панорамное остекление высотой до 2300 мм в крупнопанельном домостроении: расход бетона по площади одной панели можно уменьшить на 20,5%. При этом выразительность фасада можно будет подчеркнуть разнообразным чередованием остекления. Участники конференции познакомились с производством и методами испытания продукции.

Посещение новых микрорайонов в Чебоксарах и Новочебоксарске позволило познакомиться с новшествами, применяемыми в Чувашии. Например, в домах эконом-класса применены проходные лифты. Первая остановка для удобного доступа маломобильных групп населения выполняется на отметке площадки входа в здание. Колористика построенных микрорайонов очень яркая.

Участники конференции смогли посетить выставочную площадку ООО «Экоклинкер» в г. Новочебоксарск и Волжский ДСК, где познакомились с процессом производства клинкерной плитки и использованием ее в трехслойных стеновых панелях. На Волжском ДСК коллегам продемонстрировали преимущества использования полиуретановой матрицы. При заливке бетона в матрицу с зафиксированными плитками бетонное молочко затекает только в стык между плитками, а под плитку нет, так как поверхность матрицы пирамидальная там, где укладывается плитка. Поэтому плитка прижимается к матрице по периметру. После распалубки не требуется смывки бетонного молочка.

Общение на конференции обогащает новыми знаниями, дарит интересные знакомства, позволяет делиться опытом, а главное, становится местом встречи профессионалов. За семь лет многие стали друзьями. Надеемся, что наши коллеги, участвовавшие в конференции, получили необходимый объем интересующей их информации.

До встречи в 2018 г., друзья!





В крытых цехах компании Ergon общей площадью 49 тыс. м² производятся конструктивные железобетонные элементы, стеновые элементы и преднапряженные перекрытия. Общая площадь предприятия, основанного в 1963 г., составляет 240 тыс. м².

PROGRESS GROUP

Ирландский строительный концерн CRH инвестирует в экструдер с новой технологией уплотнения

Компания Ergon — известный бельгийский производитель преднапряженных железобетонных элементов — обладает более чем десятилетним опытом производства преднапряженных перекрытий. Являясь одной из ведущих компаний в отрасли, она недавно закупила два новых экструдера производства Echo Precast Engineering. Это позволило не только поднять производство преднапряженных перекрытий на самый современный технологический уровень, но и расширить ассортимент продукции. Руководство компании Ergon уверено в дальнейшем росте спроса на данный тип сборных перекрытий. В компании полагают, что преимущества таких конструкций невозможно игнорировать.

Бельгийский производитель сборных железобетонных конструкций компания Ergon хорошо известна в отрасли. Основанная в 1963 г. в городе Лир недалеко от Антверпена, она является поставщиком комплексных решений в сфере строительства из сборных железобетонных элементов. От планирования до производства и непосредственного строительства — компания Ergon способна выполнить все этапы любого проекта. Не случайно именно этому предприятию, входящему с 2004 г. в состав ирландского строительного концерна CRH, была доверена реализация многочисленных крупных проектов не только в Бельгии, но и в Люксембурге, Нидерландах, Франции, Германии и Великобритании.

Соответственно широк и ассортимент предлагаемой продукции: в крытых цехах общей площадью 49 тыс. м² произ-

водятся разнообразные конструктивные железобетонные элементы, такие как опоры и несущие балки, стеновые элементы и преднапряженные перекрытия. Особую важность для предприятия имеет производство преднапряженных конструкций перекрытий, что доказывает недавняя инвестиция в приобретение двух экструдеров X-Liner FC производства Echo Pre-cast Engineering.

Высокий спрос заказчиков на преднапряженные железобетонные перекрытия

Бельгийская компания Ergon далеко не новичок в области производства преднапряженных перекрытий: изготовление первых преднапряженных элементов было начато еще в 1970-е гг. «Уже тогда на рынке сформировался спрос на бо-



Для компании Ergon преднапряженные железобетонные перекрытия «являются важнейшим направлением в сфере производства сборных железобетонных элементов». Благодаря многочисленным преимуществам они пользуются высоким спросом в строительной отрасли



Наряду с большой длиной пролетов, малой массой и хорошей огнестойкостью низкие расходы и быстрое время монтажа также обуславливают привлекательность преднапряженных железобетонных перекрытий



Благодаря двум экструдерам X-Liner FC компания Ergon не только модернизировала свое производство, но и расширила ассортимент выпускаемой продукции

лее гибкие и тонкие решения для сборных перекрытий», – объясняет П. Кампс, менеджер по маркетингу подразделения CRH Structural Concrete Belgium NV/SA. С тех пор популярность преднапряженных перекрытий значительно выросла. По его мнению, преднапряженные железобетонные перекрытия являются важнейшим направлением в сфере производства сборных железобетонных элементов. Благодаря высокой степени автоматизации производства и меньшему объему требуемого сырьевого материала такие перекрытия являются чрезвычайно экологичными. Кроме того, преднапряженные перекрытия обладают высокой несущей способностью и высокой конструктивной эффективностью благодаря своей небольшой толщине. Репутация таких элементов на целевых рынках предприятия очень высока. Они прежде всего предназначены для строительства многоэтажных зданий, однако также подходят для офисных и школьных строений, зданий автостоянок и других сооружений. Низкие расходы и быстрое время монтажа также обуславливают привлекательность этих перекрытий.

Модернизация и расширение производства как логичное следствие

Для компании Ergon логичным следствием такого повышения спроса стала модернизация и расширение производства преднапряженных перекрытий. «Опыт предшествующей работы с предприятиями концерна PROGRESS GROUP был исключительно положительным, что не в последнюю очередь повлияло на наше решение сотрудничать с компанией Echo Precast Engineering», – рассказывает Т. Смеетс, руководитель подразделения CRH Structural Concrete Belgium NV/SA.

Оба экструдера X-Liner FC будут использоваться для производства преднапряженных железобетонных перекрытий шириной 1200 мм и толщиной 265, 400 и 500 мм. Ранее в ассортименте перекрытий толщиной 500 мм не было. Используемый для этого экструдер поставляется с дополнительным комплектом для переоборудования на 400-миллиметровые перекрытия. Требуемое для переоборудования время незначительно. Другой экструдер X-Liner FC заменит собой старую машину.



Наряду с производством преднапряженных железобетонных перекрытий толщиной 265 и 400 мм, также будут выпускаться перекрытия толщиной 500 мм



В обоих экструдерах используется технология уплотнения Flow Compaction (поточное уплотнение): она позволяет улучшить качество уплотнения, повысить гибкость и скорость производственного процесса, а также снизить износ оборудования. Кроме того, экструдеры серии X-Liner отличаются удобством в эксплуатации и техническом обслуживании

Инновационная технология уплотнения

В обоих полностью автоматизированных экструдерах для компании Ergon используется технология уплотнения Flow Compaction. Эта технология и специальная конструкция шнека позволяют увеличить скорость заливки свежего бетона. Таким образом не только улучшается качество самого уплотнения, но и повышается скорость производственного процесса с одновременным снижением износа оборудования. Кроме того, открывается возможность производства более толстых преднапряженных перекрытий и более гибкого формирования полостей. В дополнение к такой гибкости экструдеры серии X-Liner отличаются удобством в эксплуатации и техническом обслуживании.

Партнерство, а не отношения продавец-покупатель

Руководитель предприятия Т. Смеетс доволен сотрудничеством с компанией Echo Precast Engineering. Он отмечает, что целью проведенной работы стала разработка машины, которая как по цене, так и по своим характеристикам смогла идеально удовлетворить запросы специалистов.



PROGRESS GROUP GmbH | The Squire 15 Am Flughafen | DE-60549 Frankfurt am Main
www.progress-group.info | +49 6977 044 044

УДК 624.154.5

Н.С. СОКОЛОВ^{1,2}, канд. техн. наук, директор (forstnpf@mail.ru);
С.Н. СОКОЛОВ¹, инженер, зам. директора по науке,
А.Н. СОКОЛОВ¹, инженер, зам. директора по производству

¹ ООО НПФ «ФОРСТ» (428000, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Калинина, 109а)

² Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (428015, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15)

Мелкозернистый бетон как конструкционный строительный материал буронабъекционных свай ЭРТ

Прочность бетона поперечного сечения буронабъекционных свай ЭРТ является основополагающим показателем для определения ее несущей способности по грунту и по телу. Электроразрядная технология позволяет увеличить прочность мелкозернистого бетона. При этом она может превысить прочность необработанного бетона электрогидравлическим способом на 40–50%. Важную роль в процессе набора прочности бетона играет соблюдение технологического регламента изготовления свай ЭРТ. В геотехническом строительстве очень часты случаи несоответствия прочности бетона готовых свай проектным значениям. В статье приводится случай из геотехнической практики.

Ключевые слова: прочность мелкозернистого бетона, буровые сваи, электроразрядная технология, сваи ЭРТ, мелкозернистая бетонная смесь (БСМ), удобоукладываемость.

Для цитирования: Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Мелкозернистый бетон как конструкционный строительный материал буронабъекционных свай ЭРТ // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 16–19.

N.S. SOKOLOV^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering), Director(forstnpf@mail.ru); S.N. SOKOLOV¹, Engineer, Deputy Director for Science, A.N. SOKOLOV¹, Engineer, Deputy Director for Production

¹ ООО ППФ "FORST" (109a, Kalinina Street, Cheboksary, 428000, Chuvash Republic, Russian Federation)

² I.N. Ulianov Chuvash State University (15, Moskovsky Avenue, Cheboksary, Chuvash Republic, Russian Federation)

Fine Concrete as a Structural Building Material of Bored-Injection Piles EDT

The concrete strength of cross-section of bored-injection EDT-piles is a fundamental index for determination of bearing capacity by soil and by shaft. Electric discharge technology makes it possible to increase the strength of fine concrete. Also it can exceed the strength of untreated concrete by 40–50% by using the electro-hydraulic method. An important role in the process of development of strength in concrete plays a compliance with technological regulations of EDT-piles manufacturing. Cases of the inconsistency of concrete strength with design values are very frequent in geotechnical construction. In the article below a case of geotechnical practice is given.

Keywords: strength of fine concrete, boring piles, electric discharge technology, EDT-piles, fine concrete mixture, workability.

For citation: Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Fine Concrete as a Structural Building Material of Bored-Injection Piles EDT. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 16–19. (In Russian).

Возведение любого сооружения предполагает пооперационный технический контроль качества строительства, позволяющий обеспечить безопасную эксплуатацию возводимого объекта. Особое беспокойство вызывает качество изготовления буровых свай. Известно, что технология изготовления буровых свай представляет сложную технологическую цепь, состоящую из бурения, бетонирования и армирования ствола. Если рассмотреть буронабъекционную сваю, изготавливаемую по электрогидравлическому методу (сваи ЭРТ), то к технологии ее изготовления добавляется еще электрогидравлическая обработка стенок скважины в теле свежесушеного бетона. Для свай ЭРТ технологическая цепь выглядит: бурение скважины – бетонирование – электрогидравлическая обработка – армирование ствола.

В настоящей статье рассмотрено влияние качества выполнения бетонирования ствола на несущую способность сваи.

Ниже приводится пример алгоритма подбора состава мелкозернистой бетонной смеси (БСМ) для изготовления свай ЭРТ.

Одной из стадий строительного проектирования конструкций железобетонного ствола буронабъекционной сваи ЭРТ является подбор состава мелкозернистой бетонной смеси (БСМ) по ГОСТ 7423–2010 «Смеси бетонные. Технические условия».

Алгоритм подбора состава БСМ представляется в следующей последовательности:

1. По величинам проектной несущей способности свай ЭРТ F_d по грунту назначается класс (марка) бетона

по прочности на сжатие. При этом согласно ГОСТ 26633–91 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые» средняя прочность бетона закладывается при коэффициенте вариации $V=13,5\%$, обеспеченности не менее 95% от назначенного значения. Например, при проектной марке мелкозернистого бетона М400 величина кубиковой прочности должна составлять $R=38,5$ МПа.

2. По ГОСТ 7473–2010 «Смеси бетонные. Технические условия» подбирается марка по удобоукладываемости бетонной смеси П и показатель подвижности (осадка конуса). К примеру, символ П4 означает осадку конуса 20 см.

3. Назначаются условия твердения. В основании ниже глубины промерзания условия твердения естественные. При осуществлении геотехнических работ в условиях отрицательных температур применяются или химическое твердение с применением формиата натрия, или электрический метод прогрева с помощью греющих проводов. Следует отметить, что электропрогрев из опыта производства работ нежелателен. Возможно возникновение усадочных трещин в теле бетона в результате быстрого набора прочности и, как результат, отрыв части сваи ЭРТ прогреваемой от части твердеющей естественным путем.

4. Подбираются компоненты к мелкозернистому бетону – цемент, мелкий заполнитель, добавки к бетону и вода.

4.1. Портландцемент, как правило, на объект поставляется с ближайшего цементного завода. В Средневолжском регионе используется цемент производства ОАО «Мордовцемент». Согласно ГОСТ 31108–2003 «Цементы общестроительные» контролируемые пара-

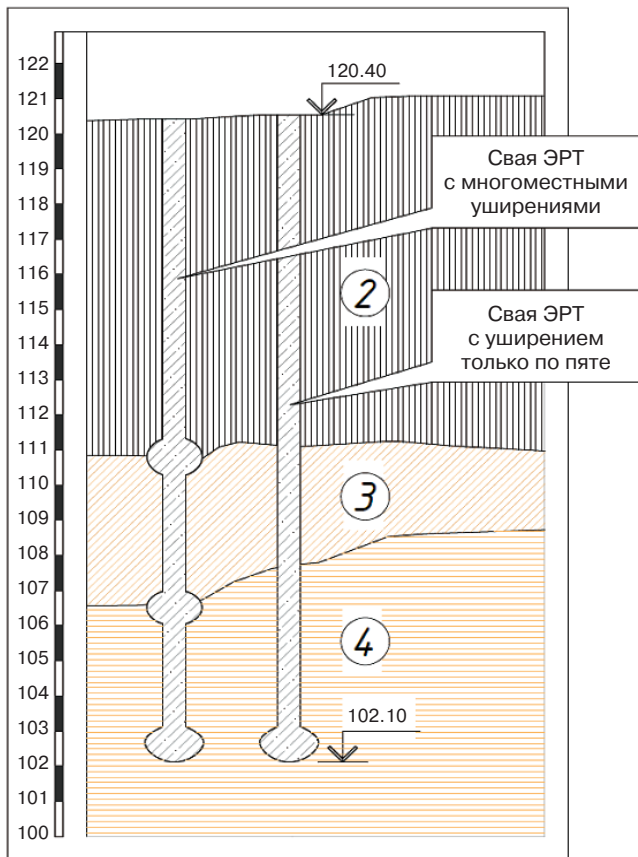


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез испытательного полигона и свай, выполненных по электроразрядной технологии, с многоместными уширениями (слева) и только с уширенной пятой (справа); вертикальная ось – высотные отметки, м

метрами являются: *прочность на сжатие* в возрасте 28 сут $R=50$ МПа; *нормальная густота* цементного теста 27%; *сроки схватывания*: начало – 2 ч 35 мин, конец – 4 ч 25 мин; *истинная плотность* $\rho=2,63$ г/см³.

4.2. В качестве мелкого заполнителя принимается природный речной песок по ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия (с Поправкой)» с модулем крупности не более $M_k=2$. Определяется процентное содержание фракций крупнее $M_k \geq 2$ мм и плотность минеральных частиц ρ_s .

4.3. Для увеличения прочности бетона и увеличения подвижности используются добавки. Например, добавка ЭМБЭЛИТ 8-100 – модификатор бетона по ТУ 5870-176-46854090-04 (ООО «Предприятие Мастер Бетон», Москва) одновременно является пластификатором и модификатором.

4.4. К воде также предъявляются особые требования согласно ГОСТ 23732–79 «Вода для бетонов и растворов».

5. В строительной лаборатории под назначенные прочность, подвижность, удобоукладываемость, условия твердения согласно ГОСТ 27006–86 «Бетоны. Правила подбора состава бетона» проектируются:

5.1. *Водоцементное отношение*, например $V/C=0,51$, где V – масса воды.

5.2. Соотношение материалов по массе, например $C/P=1:2,1$, где C – масса цемента; P – масса песка.

5.3. Содержание добавок в % от массы цемента, например содержание ЭМБЭЛИТ 8-100 = 10%.

5.4. Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси.

Для примера, на одном из объектов использованы: цемент – 850 кг; песок – 810 кг; добавка ЭМБЭЛИТ 8-100 – 85 кг; вода – 465 кг.

Кроме характеристик номинального состава мелкозернистого бетона в алгоритме подбора состава приво-



Рис. 2. Фрагменты выполненных контрфорсов

дится раздел фактически возможного расхода материалов на 1 м³ бетонной смеси.

6. Физико-механические свойства бетона, обязательные для подтверждения правильности подбора состава на объекте, – это *средняя плотность бетона* (ρ) в серии образцов размером 10×10×10 см и прочность при сжатии в возрасте 7 и 28 сут.

Далее рассмотрен случай из строительной практики. Проектом под десятиэтажное здание гостиницы было предусмотрено устройство буроналивных свай, изготавливаемых по электроразрядной технологии (ЭРТ). Эта технология включает бурение, бетонирование, электрогидравлическую обработку, армирование и доливку бетона. Вследствие того, что данные стадии работ выполняли четыре подрядные организации и отсутствовал должный поэтапный контроль набора прочности бетона, был нарушен технологический цикл и более чем половиной свай не была достигнута проектная несущая способность. Поэтому возникла необходимость перепроектирования свайного поля.

Строительство объекта велось в сложных инженерно-геологических условиях в старом русле реки Волги. Геологический разрез на этом участке представлен следующими инженерно-геологическими элементами (ИГЭ) (сверху вниз) (рис. 1): ИГЭ-1 – насыпной грунт (неслежавший суглинок с сугупью и строительным мусором); ИГЭ-2 – непросадочный туго- и мягкопластичный лессовый суглинок; ИГЭ-3 – непросадочный текучеplastичный лессовый суглинок; ИГЭ-4 – туго- и мягкопластичный суглинок; ИГЭ-5 – твердая и полутвердая пестроцветная глина; ИГЭ-6 – глинистый полимиктовый песок.

Для площадки строительства характерен высокий уровень грунтовых (ненапорных) вод.

Строительство объекта было начато за пять лет до начала основного строительства с возведения ограждения котлована (глубиной 9 м) из двух рядов буроналивных свай диаметром 450 мм с шагом 1 м. Подпорная стена котлована была устроена вдоль улиц. Непосредственно к котловану примыкает 10-этажный крупнопанельный жилой дом, возведенный на забивных сваях.

Недостатком построенного ограждения оказалось отсутствие монолитного обвязочного железобетонного пояса по верху буроналивных свай. Это выявилось лишь при отрывке котлована. Ряд свай ограждения со стороны примыкающего здания наклонился в сторону котлована (максимальное горизонтальное перемещение достигло 55 мм). В результате создавшейся ситуации на наружных стенах жилого дома возникли деформационные трещины. При этом установленные гипсовые маяки разорвались и продолжали рваться.

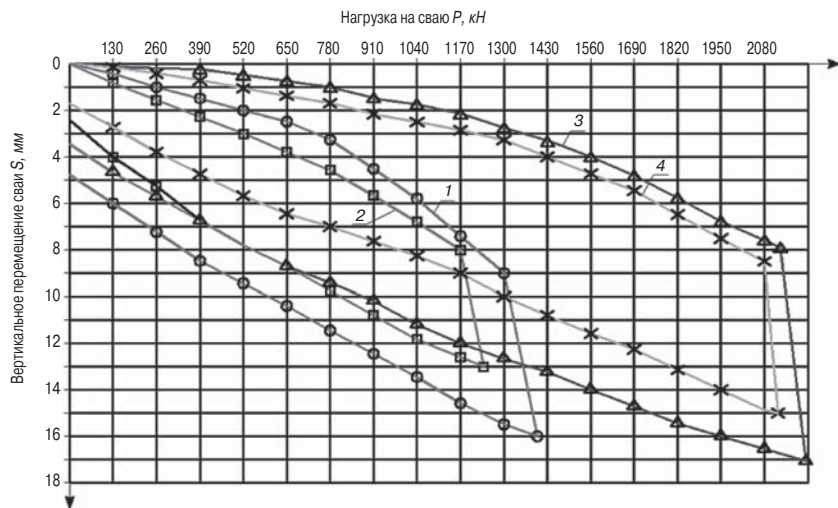


Рис. 3. Графики результатов испытаний статической нагрузкой буроналивных свай ЭРТ: 1, 2 – только с уширенной пятой; 3, 4 – с множественными уширениями

Результаты испытаний свай ЭРТ на статическую нагрузку

| № сваи | Несущая способность F_d , кН | Расчетная нагрузка N , кН | Прочность бетона тела сваи, кПа | Причина недостаточной несущей способности сваи |
|--------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--|
| 789 | 62,8 | 52,3 | 60 | Низкая прочность бетона |
| 710 | 75,9 | 63,3 | 65 | |
| 579 | 95 | 79,1 | 78 | |
| 822 | 251,2 | 209,1 | 1200 | Срыв сваи |
| 728 | 565,2 | 471 | 2500 | |
| 767 | 376,8 | 314 | 2600 | |
| 803 | 251,2 | 209,3 | 1300 | |

Созданная в связи с этим чрезвычайная комиссия поручила головной проектной организации срочно разработать противоаварийные мероприятия для стабилизации деформаций как возведенной подпорной стены, так и примыкающего здания. В качестве таких мер была разработана схема усиления подпорной стены в виде распорных конструкций из труб диаметром 1000 мм, расположенных на двух уровнях во взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 2). Эти мероприятия позволили стабилизировать ситуацию. Гипсовые маяки на жилом доме перестали вращаться, горизонтальные перемещения подпорной стены были приостановлены. При этом геотехнический мониторинг продолжался.

При проектной глубине котлована 9 м распорные крепления были размещены на глубине 4,5–6,5 м. Поэтому во избежание негативных последствий для примыкающего жилого дома при дальнейшей откопке котлована был разработан проект устройства монолитных железобетонных контрфорсов на дополнительных буроналивных сваях ЭРТ диаметром 0,35 м и длиной от 12 до 19 м в зависимости от инженерно-геологических условий в той или иной части строительной площадки. Работы по устройству свай ЭРТ приходилось вести в очень сложных условиях между трубами, а удаление грунта из котлована производилось только вручную.

Для обеспечения безопасной эксплуатации подпорной стены при строительстве нулевого цикла, а также для создания условий для демонтажа стальных труб распорных конструкций был разработан алгоритм устройства контрфорсов.

Выполнение работ по реализации вышеуказанного алгоритма позволило поэтапно демонтировать распорные трубы. Дальнейших деформаций подпорной стены и жилого дома не было обнаружено.

Устройство буроналивных свай ЭРТ [1–14] под фундаменты контрфорсов, контрфорсы, а также сами ростверки производились одной подрядной организацией. При этом мониторинг горизонтальных перемещений подпорной стены и деформаций осадочных марок жилого дома проводился ежедневно, благодаря чему на данном участке не было нарушений в технологической цепочке «бурение – бетонирование – электрогидравлическая обработка стенок и пяты скважины – монтаж армокаркасов».

Обязательными этапами, подтвердившими соответствие проекту запроектированных свай ЭРТ под фундаменты контрфорсов, были:

1. Испытания на прочность заранее изготовленных кубиков мелкозернистого бетона, предназначенного для изготовления свай, согласно алгоритму, приведенному выше.

2. Испытания статической нагрузкой опытных свай ЭРТ.

На испытательном полигоне (в пределах участка изготовления контрфорсов) были выполнены два свайных куста по электроразрядной технологии. В одном из них сваи были изготовлены без уширений, а в другом – с множественными уширениями (вертикальную привязку свай см. на рис. 1). Результаты испытаний несущей способности свай ЭРТ с помощью статической нагрузки приведены на рис. 3.

По мере удаления распорных конструкций освободилась значительная часть площади котлована для устройства свайного поля.

В связи с сокращением инвестором сроков возведения здания заказчик решил увеличить скорость возведения нулевой части, разделив устройство буроналивных свай ЭРТ на этапы. При этом одна строительная организация подрядилась выполнить буровые работы, другая – бетонирование мелкозернистым бетоном, третья – электрогидравлическую обработку стенок и пяты скважины, четвертая – изготовление и погружение армокаркасов в готовые скважины, заполненные мелкозернистым бетоном и обработанные по электроразрядной технологии.

Соответственно качеству выполнения работ на разных этапах контролировалось разными подрядными организациями и как результат резко повысилась вероятность его снижения. Результаты испытаний свай на статическую нагрузку подтвердили эти опасения (см. таблицу). Для более чем 50% испытанных свай не была достигнута проектная несущая способность. Основной причиной этого оказалась низкая прочность мелкозернистого бетона вследствие отсутствия должного надзора за ее набором. Следует отметить, что одна из подрядных организаций, ответственная за бетонирование свай, использовала бетоносмесительную установку РМ-750, которая при больших оборотах насыщает бетон воздухом, что и привело к недобору проектных значений прочности. В то же время подбор состава БСМ был произведен правильно.

Для обеспечения проектной несущей способности ростверков с бракованными сваями принято решение дополнить их сваями с множественными уширениями. Было перепроектировано все свайное поле (и все ростверки) с учетом результатов испытаний опытных свай на их несущую способность. Благодаря этому удалось обеспечить проектную несущую способность всего фундамента здания в целом.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что из-за выполнения разных этапов работ по устройству свай ЭРТ четырьмя подрядными организациями не был обеспечен необходимый поэтапный контроль их качества и для исправления негативных последствий были потрачены дополнительные материальные средства. Для обеспечения надежной эксплуатации возводимых сооружений заказчики и подрядные организации не должны допускать возникновения подобных ситуаций.

Список литературы

1. Патент РФ № 2250958. Устройство для изготовления набивной сваи / Н.С. Соколов, В.Ю. Таврин, В.А. Абрамушкин. Заявл. 14.07.2003. Оpubл. 27.04.2005. Бюл. № 12.
2. Патент РФ № 2250957. Способ изготовления набивной сваи / Н.С. Соколов, В.Ю. Таврин, В.А. Абрамушкин. Заявл. 14.07.2003. Оpubл. 27.04.2005. Бюл. № 12.
3. Патент РФ № 2282936. Генератор импульсных токов / Н.С. Соколов, Ю.П. Пичугин. Заявл. 4.02.2005. Оpubл. 27.08.2006. Бюл. № 24.
4. Патент РФ № 2318960. Способ возведения набивной сваи / Н.С. Соколов. Заявл. 26.12.2005. Оpubл. 10.03.2008. Бюл. № 7.
5. Патент РФ № 2318961. Разрядное устройство для изготовления набивной сваи / Н.С. Соколов. Заявл. 10.07.2007. Оpubл. 10.03.2008. Бюл. № 7.
6. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Об одном методе расчета несущей способности буроньекционных свай ЭРТ // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2015. № 1. С. 10–13.
7. Соколов Н.С. Метод расчета несущей способности буроньекционных свай-РИТ с учетом «подпятников» // *Материалы 8-й Всероссийской (2-й Международной) конференции «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции» (НАСКР-2014)*. 2014 г. Чебоксары. С. 407–411.
8. Соколов Н.С., Викторова С.С., Федорова Т.Г. Сваи повышенной несущей способности // *Материалы 8-й Всероссийской (2-й Международной) конференции «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции» (НАСКР-2014)*. 2014. Чебоксары. С. 411–415.
9. Соколов Н.С., Петров М.В., Иванов В.А. Проблемы расчета буроньекционных свай, изготовленных с использованием разрядно-импульсной технологии // *Материалы 8-й Всероссийской (2-й Международной) конференции «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции» (НАСКР-2014)*. 2014. Чебоксары. С. 415–420.
10. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Опыт восстановления аварийного здания Введенского кафедрального собора в г. Чебоксары // *Геотехника*. 2016. № 1. С. 60–65.
11. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Об эффективности устройства буроньекционных свай с многоместными уширениями с использованием электроразрядной технологии // *Геотехника*. 2016. № 2. С. 28–32.
12. Патент РФ на полезную модель № 161650. Устройство для камуфлетного уширения набивной конструкции в грунте / Н.С. Соколов, Х.А. Джантимиров, М.В. Кузьмин, С.Н. Соколов, А.Н. Соколов. Заявл. 16.03.2015. Оpubл. 27.04.2016. Бюл. № 2.
13. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Особенности устройства и расчета буроньекционных свай с многоместными уширениями // *Геотехника*. 2016. № 3. С. 4–8.
14. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Технология устройства буроньекционных свай повышенной несущей способности // *Жилищное строительство*. 2016. № 9. С. 11–15.

References

1. Patent RF 2250958. Ustroistvo dlya izgotovleniya nabivnoi svai [The device for production of a stuffed pile]. N.S. Sokolov, V.Yu. Tavrinn, V.A. Abramushkin. Declared 14.07.2003. Published 27.04.2005. Bulletin No. 12. (In Russian).
2. Patent RF 2250957. Sposob vozvedeniya nabivnoi svai [The method of production of a stuffed pile]. Sokolov N.S., Tavrinn V.Yu., Abramushkin V.A. Declared 14.07.2003. Published 27.04.2005. Bulletin No. 12. (In Russian).
3. Patent RF 2282936. Generator impul'snykh tokov [Generator of pulse currents]. Sokolov N.S., Pichugin Yu.P. Declared 4.02.2005. Published 27.08.2006. Bulletin No. 24. (In Russian).
4. Patent RF 2318960. Sposob vozvedeniya nabivnoi svai [The method of production of a stuffed pile]. Sokolov N.S. Declared 26.12.2005. Published 10.03.2008. Bulletin No. 7. (In Russian).
5. Patent RF 2318961. Razryadnoe ustroistvo dlya izgotovleniya nabivnoi svai [Discharge device for production of a stuffed pile]. Sokolov N.S. Declared 10.07.2007. Published 10.03.2008. Bulletin No. 7. (In Russian).
6. Sokolov N.S., Ryabinov V.M. About one method of calculation of bearing capacity of bored-injection EDT-piles. *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov*. 2015. No. 1, pp. 10–13. (In Russian).
7. Sokolov N.S. Method of calculation bearing capacity of the bored-injection EDT-piles taking into account «thrust bearings». *Materials of the 8th All-Russian (the 2nd International) the «New in Architecture, Designing of Construction Designs and Reconstructions» conference (NASKR-2014)*. Cheboksary – 2014, pp. 407–411. (In Russian).
8. Sokolov N.S., Viktorova S.S., Fedorova T.G. Piles of increased bearing capacity. *Materials of the 8th All-Russian (the 2nd International) the «New in Architecture, Designing of Construction Designs and Reconstructions» conference (NASKR-2014)*. Cheboksary – 2014, pp. 411–415. (In Russian).
9. Sokolov N.S., Petrov M.V., Ivanov V.A. Calculation problems of bored-injection piles manufactured with the use of electric discharge technology. *Materials of the 8th All-Russian (the 2nd International) the «New in Architecture, Designing of Construction Designs and Reconstructions» conference (NASKR-2014)*. Cheboksary – 2014, pp. 415–420. (In Russian).
10. Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Experience of restoration of an emergency building of Vvedensky cathedral in Cheboksary. *Geotechnica*. 2016. No. 1, pp. 60–65. (In Russian).
11. Sokolov N.S., Ryabinov V.M. About Effectiveness of Installation of Bored-Injection Piles with Multiple Enlargements with Using of Electric Discharge Technology. *Geotechnica*. 2016. No. 2, pp. 28–32. (In Russian).
12. Russian Federation patent for utility model No. 161650. Ustroistvo dlya kamufletnogo ushireniya nabivnoi konstruktsii v grunte [The device for camouflage broadening of a stuffed design in soil]. Sokolov N.S., Dzhantimirov H.A., Kuzmin M.V., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Declared 16.03.2015. Published 27.04.2016. Bulletin No. 2. (In Russian).
13. Sokolov N.S., Ryabinov V.M. Features of Installation and Calculation of Bored-Injection Piles with Multiple Enlargements. *Geotechnica*. 2016. No. 3, pp. 4–8. (In Russian).
14. Technique of Construction of Bored-Injection Piles of Increased Bearing Capacity. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 9, pp. 11–15. (In Russian).

Б.А. БОНДАРЕВ, д-р техн. наук, Н.Н. ЧЕРНОУСОВ, канд. техн. наук,
Р.Н. ЧЕРНОУСОВ, канд. техн. наук, В.А. СТУРОВА, бакалавр (v-livenceva@mail.ru)

Липецкий государственный технический университет (398600, г. Липецк, ул. Московская, 30)

Исследование прочностных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом его возраста

Приведены результаты исследований прочностных свойств мелкозернистого сталефиброшлакобетона (СФШБ) в возрасте 3–448 суток. Значительная часть расчетов изгибаемых элементов строительных конструкций основывается на таких характеристиках материала, как прочность бетона при сжатии R_b , R_m и прочность бетона при осевом растяжении R_{br} . Целью настоящего исследования является получение расчетных формул, позволяющих определять прочностные характеристики СФШБ (прочность при осевом растяжении и сжатии R_{fbt} , R_{fbc}) с учетом возраста бетона. Испытания на растяжение и сжатие проводились на образцах, изготовленных на основе отходов от дробления литого шлакового щебня металлургического производства фракции 0–5 мм с насыпной плотностью от 1085 до 1135 кг/м³ с различным объемным содержанием фибровой арматуры и возрастом бетона. Твердение бетона происходило в лабораторных условиях при температуре +18 – +20°C и влажности 70±5%. Нагружение при испытании на сжатие происходило со скоростью 0,6±0,4 МПа/с, при испытании на растяжение – 0,05±0,02 МПа/с. В результате проведенных испытаний и обработки опытных данных получены зависимости и скорректированные формулы расчетных сопротивлений для СФШБ при растяжении и сжатии с учетом его возраста, являющиеся базой создания прикладного программного обеспечения для автоматизированного расчета элементов строительных конструкций на основе СФШБ.

Ключевые слова: сталефиброшлакобетон, фиброармирование, прочность бетона при осевом растяжении, прочность бетона при осевом сжатии, фиброволокно, коэффициент фибрового армирования.

Для цитирования: Бондарев Б.А., Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Стурова В.А. Исследование прочностных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом его возраста // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 20–24.

B.A. BONDAREV, Doctor of Sciences (Engineering), N.N. CHERNOUSOV, Candidat of Sciences (Engineering),
R.N. CHERNOUSOV, Candidat of Sciences (Engineering), V.A. STUROVA, Bachelor (v-livenceva@mail.ru)
Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya Street, Lopetsk, 398600, Russian Federation)

Research in Strength Properties of Steel-Fiber-Slag Concrete in the Course of Axial Tension and Compression with Due Regard for Its Age

Results of the study of strength properties of the fine steel-fiber-slag concrete (SFSC) at the age of 3–448 days are presented. A significant part of the calculations of flexural elements of building structures is based on such characteristics of the material as concrete compression strength R_b , R_m and axial tension strength of concrete R_{br} are presented. The purpose of this study is to obtain calculation formulas that make it possible to determine the strength characteristics of SFSC (strength under axial tension and compression R_{fbt} , R_{fbc}) with due regard for the age of concrete. Tests on tension and compression were carried out with samples fabricated on the basis of waste from crushing of molten slag crushed stone of metallurgic production on fractions of 0–5 mm with bulk density of 1085–1135 kg/m³ and with different volumetric content of fiber reinforcement and the age of concrete. The hardening of the concrete has taken place under the laboratory conditions at temperatures of +18 – +20°C and humidity of 70±5%. Loading when compression testing has taken place at a rate of 0,6±0,4 MPa/s, when tensile testing – 0,05±0,02 MPa/s. As a result of test conducted and processing of experimental data, dependences and corrected formulas of the design resistance for SFSC under tension and compression with due regard for its age have been obtained; they are the base for creating the application software for automated calculation of elements of building structures on the basis of SFSC.

Keywords: steel-fiber-slag concrete, fiber reinforcement, concrete strength under axial tension, concrete strength under axial compression, fiber, coefficient of fiber reinforcement.

For citation: Bondarev B.A., Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sturova V.A. Research in Strength Properties of Steel-Fiber-Slag Concrete in the Course of Axial Tension and Compression with Due Regard for Its Age. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 20–24. (In Russian).

Расширение применения железобетонных конструкций из бетонов, позволяющих использовать для их производства вторичные отходы различных отраслей промышленности и местные заполнители, приводит к экономическому использованию материальных и энергетических ресурсов, снижению стоимости и трудоемкости технологических процессов. К таким бетонам, в частности, относится шлакобетон на основе литого шлакового щебня (ЛШЩ) и мелкозернистый шлакобетон на основе отсева от дробления ЛШЩ [1–4].

Экономическая эффективность этих конструкций может повыситься, если использовать в конструктивных элементах в качестве заполнителя отсев от дробления ЛШЩ (фракция 0–5 мм) доменного производства НЛМК с одновременным введением дисперсного армирования. Известно, что введение в бетон дисперсной арматуры позволяет получить композит с прочностью при растяжении в несколько раз большей, чем для бетона-матрицы [1, 5, 6].

Результаты исследований действительной работы изгибаемых элементов из мелкозернистого сталефиб-

рошлакобетона (СФШБ) используются при проектировании сталефиброшлакобетонных конструкций различных сооружений, мостов, покрытий автомобильных дорог, аэродромов и других специальных сооружений, к которым предъявляются особые требования по экономичности, надежности и долговечности [1, 7].

Учет значений прочностных характеристик СФШБ в возрасте от 3 сут при укладке дорожных одежд может способствовать скорейшему вводу в эксплуатацию строительных объектов.

Значительная часть расчетов элементов строительных конструкций основывается на таких характеристиках материала, как призмочная прочность бетона R_b , кубиковая прочность R_m и прочность бетона при осевом растяжении R_{br} [8–10].

Следовательно, расчетная оценка прочностных характеристик фибробетонов, а также СФШБ с учетом возраста бетона актуальна [2, 6, 10].

Исследование прочностных свойств мелкозернистого шлакобетона-матрицы (ШБ) приведены в [3].

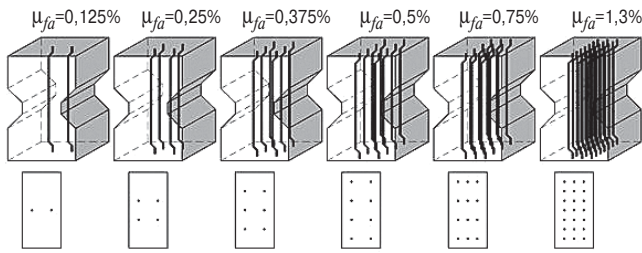


Рис. 1. Эскиз опытных образцов и их сечений для испытания СФШБ на растяжение

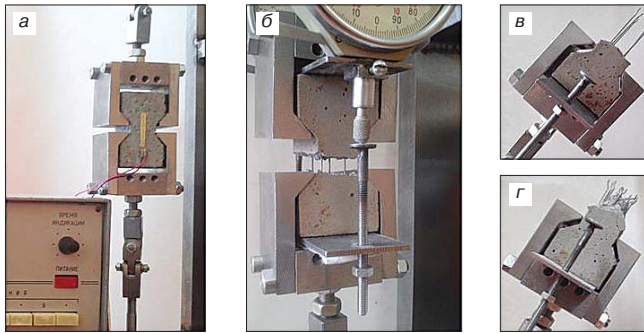


Рис. 2. Испытание СФШБ образцов на осевое растяжение: а – образец в зажимах экспериментальной установки; б – испытание прочности анкеровки фибры в шлакобетонном элементе; в, г – результат выдергивания фибры из шлакобетонной матрицы ($\mu_{fa} = 0,25\%$ и $\mu_{fa} = 1,3\%$ соответственно)

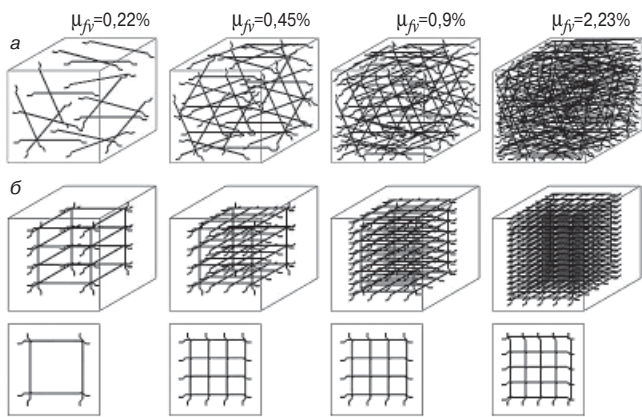


Рис. 3. Эскиз опытных образцов для испытания СФШБ на сжатие: а – фибра расположена хаотично ($k_n = 0,247$); б – фибра расположена упорядоченно ($k_n = 1$)

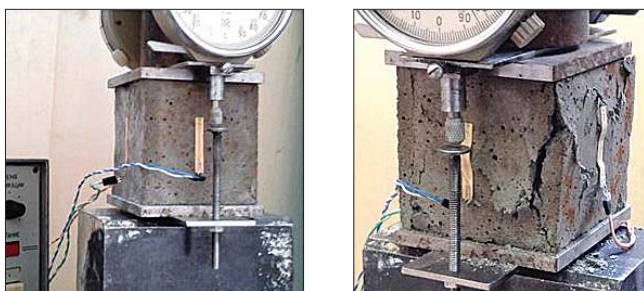


Рис. 4. Фотоиллюстрации испытаний СФШБ образцов на осевое сжатие

Испытания проводились на образцах, изготовленных на основе шлаков металлургического производства ОАО «НЛМК». Они представляют собой отходы от дробления литого шлакового щебня фракции 0–5 мм с насыпной плотностью от 1085 до 1135 кг/м³. В исследуемых составах использовались:

- в качестве вяжущего цемент марки ПЦ-500 D0 Липецкого цементного завода и пластифицирующая добавка «Реламикс» (10% раствор);

- в качестве дисперсного армирования – фибры «Драмикс» зарубежного производства, рубленные из стальной проволоки, диаметром 0,8 мм, длиной 60 мм ($R_f = 1100$ МПа; $E_f = 1,95 \cdot 10^5$ МПа; $d_f = 0,8$ мм; $l_f = 60$ мм) [2, 7].

Твердение бетона происходило в лабораторных условиях при температуре +18 – +20°C и влажности 70±5%. Нагружение при испытании на сжатие происходило со скоростью 0,6±0,4 МПа/с, при испытании на растяжение – 0,05±0,02 МПа/с.

Испытания образцов на растяжение проводились на специальной экспериментальной установке [11].

Испытания образцов на сжатие производились в прессе ИП-100 и на универсальной разрывной машине Р-20.

В исследуемых на растяжение и сжатие СФШБ-образцах использовался бетон-матрица классов В5; В7,5; В10; В15; В20; В25; В27,5.

Средние экспериментальные значения сопротивления бетона-матрицы на основе ЛШЦ приведены в таблице.

В исследованиях образцов из СФШБ на растяжение варьировались направленное содержание фибровой арматуры μ_{fv} , %: 0; 0,125; 0,25; 0,375; 0,5; 0,75; 1,3 и возраст бетона t (в сутках): 3, 7, 14, 21, 28, 56, 112, 224, 448. Эскизы опытных образцов приведены на рис. 1. Расстояния между фиброволокнами в сечениях образца составляли 5 и 10 мм. Фотоиллюстрации образцов при испытании приведены на рис. 2.

Прочность СФШБ при осевом сжатии определялась на образцах в виде кубов размером 60×60×60 мм. В исследуемых

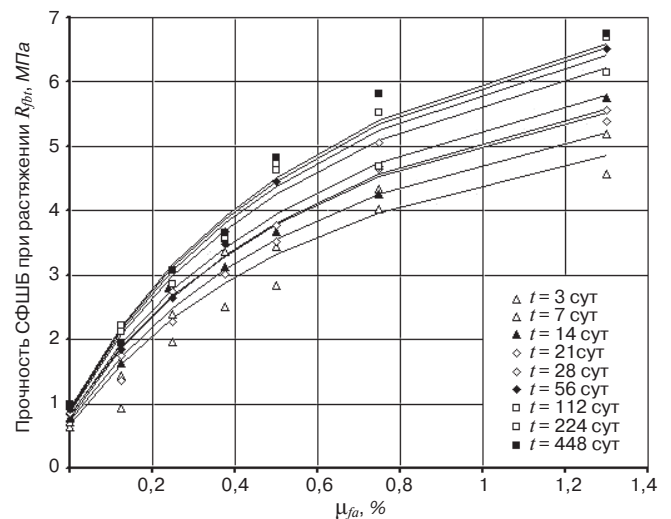


Рис. 5. Прочность СФШБ при растяжении в зависимости от возраста и процента фибрового армирования (для бетона класса В25)

Прочностные характеристики бетона-матрицы на основе ЛШЦ

| Вид сопротивления | Сопротивление бетона-матрицы при классе бетона-матрицы по прочности при сжатии, МПа | | | | | | |
|----------------------------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | В5 | В7,5 | В10 | В15 | В20 | В25 | В27,5 |
| Сжатие осевое R_b | 5,24 | 7,19 | 10,24 | 15,56 | 20,03 | 25,11 | 28,1 |
| Сжатие осевое R_m | 5,71 | 8,15 | 11,13 | 15,82 | 21,87 | 26,34 | 28,74 |
| Растяжение осевое R_{bt} | 0,65 | 0,73 | 0,95 | 1,25 | 1,51 | 1,72 | 1,81 |

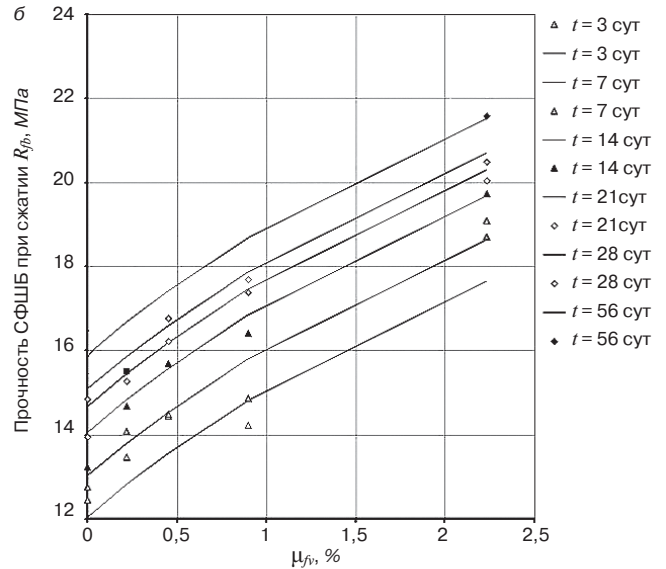
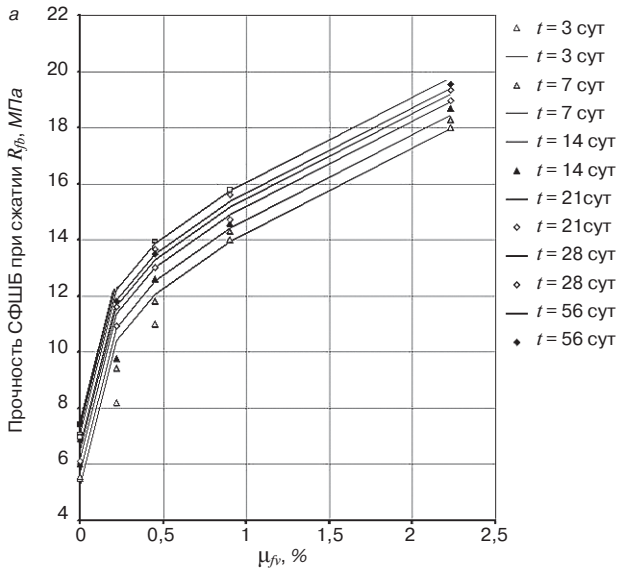


Рис. 6. Прочность СФШБ при сжатии в зависимости от возраста и процента фибрового армирования: а – для бетона класса В7,5 ($k_n = 1$); б – для бетона класса В15 ($k_n = 0,247$)

двумя на сжатие образцах также варьировались объемное содержание фибровой арматуры μ_{fv} , %: 0, 0,22, 0,45, 0,9, 2,23 и возраст бетона t , сут: 3, 7, 14, 21, 28, 56. Эскизы опытных образцов приведены на рис. 3. Разрушение образца при осевом сжатии показано на рис. 4.

Результаты испытаний образцов из СФШБ при растяжении (класс бетона-матрицы В20) и при сжатии (класс бетона-матрицы В5, В15) приведены на рис. 5 и 6 соответственно.

Из опытов установлено, что прочность при осевом растяжении образцов из мелкозернистого ШБ составляет приблизительно 0,03–0,08 кубиковой прочности. В результате обработки опытных данных удалось получить следующие зависимости:

$$R_{bt} = 0,19\sqrt[3]{R_m^2} \quad (1)$$

В работе [1] предложена формула, позволяющая определять прочность на растяжение (R_{fbt}) сталефибробетона:

$$R_{fbt} = k_{or}^2 \mu_{fv} R_f \left(1 - \frac{R_f d_f}{R_b l_f} \eta\right) + R_b (0,03 - 6\mu_{fv}), \quad (2)$$

где l_f и d_f – длина и диаметр используемой фибры, мм; k_{or} – коэффициент ориентации, учитывающий ориентацию фибр в объеме элемента в зависимости от соотношения размеров сечения элемента и длины фибры, принимаемый по табл. 6.1 СП 52-104-2006*; μ_{fv} – коэффициент фибрового армирования по объему; R_b – прочность бетона на сжатие, МПа; R_{fbt} – прочность на растяжение фибробетона, МПа; R_f – прочность фибры на разрыв, МПа; η – коэффициент, учитывающий анкеровку.

В приведенной зависимости не учитывается возраст бетона и фактор взаимовлияния фиброволокон в бетоне-матрице.

Однако при расчете прочности СФШБ нельзя не учитывать фактора взаимодействия фибры с бетономатрицей [12, 13].

Существует множество аналитических моделей, описывающих перераспределение напряжений в упругой зоне взаимодействия поверхности стальной фибры и бетона [4]. Некоторые модели рассматривают выдергивание гладкой фибры из бетона-матрицы, основываясь на теории задержки сдвига вплоть до разрыва связи и фрикционного скольжения фибры [5, 14, 15].

Простейшие зависимости, определяющие значение предельных касательных напряжений τ_{max} , действующих вдоль поверхности фибры, можно представить в виде:

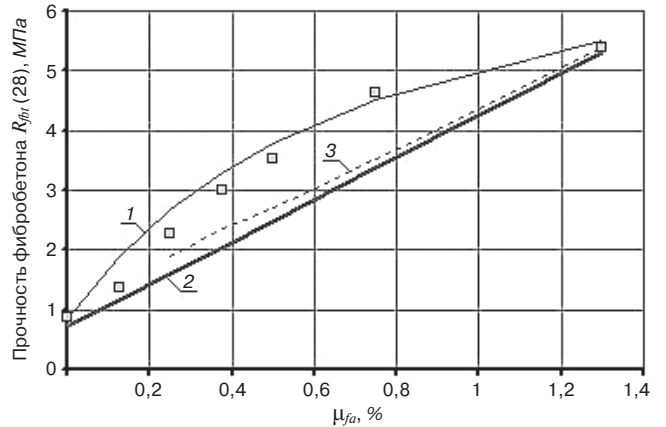


Рис. 7. Прочность СФШБ при растяжении в возрасте 28 сут для класса бетона-матрицы В15: 1 – по формуле (3); 2 – по формуле (2); 3 – по формуле (6.7) СП 52-104-2006

$$\tau_{max} \approx 2R_{bt} = \frac{P_{max}}{\pi d_f l'_{f,an}}, \quad (3)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, действующая на фибру; $l'_{f,an}$ – анкеровка фибры, достаточная для ее разрыва. При этом максимальные напряжения, возникающие в фибре при разрыве, определяются по формуле:

$$R_f = \frac{4P_{max}}{\pi d_f^2} \quad (4)$$

С учетом формул (3) и (4) прочность бетона определяется следующим образом:

$$R_{bt} \approx \frac{R_f d_f}{8 l'_{f,an}} = \frac{1}{8} \frac{l'_{f,an}}{R_f d_f} = \frac{R_b(28)}{8\eta} \quad (5)$$

Расчет взаимовлияния фиброволокон в бетоне-матрице осуществляется посредством приведенного коэффициента $\eta_{f,red}$, учитывающего анкеровку фибры и определяемого по формулам:

$$\eta_{f,red} = \eta_f k_A (20\mu_{fv} + 0,15);$$

$$\eta_f = \frac{l'_{f,an} R_b(28)}{d_f R_f};$$

$$k_A = (0,024 \cdot l_{f,an} - 0,285) \cdot \lambda_f^2 + (0,77 - 0,052 \cdot l_{f,an}) \cdot \lambda_f + 1; \quad (6)$$

$$\lambda_f = l_{f,an}^c / l_{f,an},$$

где $l_{f,an}$ — анкеровка фибры; $l_{f,an}^c$ — среднее значение длин анкеровок соседних фибр (в нашем случае $l_{f,an}^c = 30$ мм, $\lambda_f = 1$).

На основе обработки опытных данных, полученных при испытаниях образцов на растяжение, скорректирована формула (6.7) СП 52-104-2006* для определения расчетного сопротивления растяжению (R_{fb}) применительно для СФШБ:

$$R_{fb}(t) = \sqrt[3]{R_b^2(t)} \left[0,19 + \frac{k_{or}^2 \mu_{fv}}{8 \eta_{f,red}} \cdot \frac{l_f}{d_f} \right], \quad (7)$$

где $R_b(t)$ — прочность на сжатие бетона в возрасте t , МПа; $R_{fb}(t)$ — прочность на растяжение СФШБ (МПа) в возрасте t (вычисляется по зависимостям, предложенным в [6]).

Теоретические кривые $R_{fb}(t)$, построенные с применением зависимости (7), и экспериментальные значения для СФШБ (класс бетона-матрицы В20) представлены на рис. 5.

На основе обработки опытных данных, полученных при испытаниях образцов из СФШБ на сжатие, можно сделать вывод о применимости формулы (6.8), предложенной в СП 52-104-2006*, для расчета сопротивления сжатию (R_b) применительно для СФШБ с учетом его возраста:

$$R_b(t) = R_b(t) + (k_n^2 \phi_f \mu_{fv} R_f);$$

Список литературы

1. Машукова А.И., Матвеев С.Ф. Новые разновидности бетона // *Science Time*. 2016. № 4 (16). С. 485–488.
2. Черноусов Р.Н. Прочность и деформативность элементов конструкций транспортных сооружений на основе мелкозернистого сталефиброшлакобетона // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2011. № 1 (21). С. 87–97.
3. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В. Исследование механики работы мелкозернистого шлакобетона при осевом растяжении и сжатии // *Строительные материалы*. 2014. № 12. С. 59–63.
4. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Ливенцева В.А. Моделирование физико-механических свойств мелкозернистого цементно-песчаного бетона при осевом растяжении и сжатии. *Технические науки — от теории к практике: Материалы XXII Международной заочной научно-практической конференции*. Новосибирск. 2013. Т. 1. С. 78–80.
5. Bentur A., Mindess S. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. Second edition. New York, USA, Taylor & Francis, 2007. 604 p.
6. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В. Влияние возраста высокопрочного дисперсно-армированного шлакопемзобетона на его прочностные и деформативные характеристики // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2014. № 7 (667). С. 22–31.
7. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н. Изгибаемые сталефиброшлакобетонные элементы // *Бетон и железобетон*. 2010. № 4. С. 7–11.
8. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радаикин О.В. К расчету прочности, жесткости и трещиностойкости внецентренно сжатых железобетонных элементов с применением нелинейной деформационной модели // *Известия КГАСУ*. 2013. № 4 (26). С. 113–120.

$$\phi_f = \frac{5 + L}{1 + 4,5L}, \quad (8)$$

$$L = \frac{k_n^2 \mu_{fv} R_f}{R_b(t)},$$

где k_n — коэффициент, учитывающий работу фибр в сечении, перпендикулярном направлению внешнего сжимающего усилия, и принимаемый по табл. 6.2 СП 52-104-2006* (в нашем случае хаотичного расположения фибры $k_n = 0,247$, в случае упорядоченного — $k_n = 1$); μ_{fv} — коэффициент фибрового армирования по объему; $R_b(t)$ — прочность на сжатие ШБ в возрасте t , МПа; $R_{fb}(t)$ — прочность на сжатие СФШБ (МПа) в возрасте t (вычисляется по зависимостям, предложенным в [5]); R_f — прочность фибры на разрыв, МПа.

Теоретические кривые $R_{fb}(t)$, построенные с применением зависимости (8), и экспериментальные значения для СФШБ класса В5 при $k_n = 1$ представлены на рис. 6, а; для СФШБ класса В15 при $k_n = 0,247$ — на рис. 6, б.

Сравнение теоретических кривых, построенных по зависимостям (2), (7) и (6.7) СП 52-104-2006*, приведено на рис. 7.

Как видно из рис. 7, наиболее точное совпадение с опытными данными дает кривая, построенная по зависимости (3).

С использованием зависимостей (3)–(4), полученных из экспериментальных данных, создано прикладное программное обеспечение, позволяющее производить расчет элементов строительных конструкций на основе СФШБ (свидетельства о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2013660227; 2014611015; 2014615530).

References

1. Mashukova A.I., Matveev S.F. New varieties of concrete. *Science Time*. 2016. No. 4 (16), pp. 485–488. (In Russian).
2. Chernousov R.N. Strength and deformability of structural elements of transport structures on the basis of fine-grained steel-fiber-slag-concrete. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturo-stroitel'nogo instituta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2011. No. 1 (21), pp. 87–97. (In Russian).
3. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V. Investigation of the mechanics of the operation of fine-grained cinderblock in axial tension and compression. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 12, pp. 59–63. (In Russian).
4. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Liventseva V.A. Modeling of physical and mechanical properties of fine-grained cement-sand concrete under axial tension and compression. *Tekhnicheskie nauki — ot teorii k praktike: Materialy XXII Mezhdunarodnoi zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Novosibirsk. 2013. V. 1, pp. 78–80. (In Russian).
5. Bentur A., Mindess S. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. Second edition. New York, USA, Taylor & Francis, 2007. 604 p.
6. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V. Influence of age of high-strength dispersed-reinforced slag-pouc-concrete on its strength and deformation characteristics. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2014. No. 7 (667), pp. 22–31. (In Russian).
7. Chernousov N.N., Chernousov R.N. Flexible steel and concrete slag-concrete elements. *Beton i zhelezobeton*. 2010. No. 4, pp. 7–11. (In Russian).
8. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaikin O.V. To calculate the strength, rigidity and crack resistance of eccentrically compressed reinforced concrete elements using a nonlinear deformation model. *Izvestiya KGASU*. 2013. No. 4 (26), pp. 113–120. (In Russian).



9. Карпенко Н.И., Радаикин О.В. К совершенствованию диаграмм деформирования бетона для определения момента трещинообразования и разрушающего момента в изгибаемых железобетонных элементах // *Строительство и реконструкция*. 2012. № 3. С. 10–16.
10. Маилян Л.Ф., Маилян А.Л., Айвазян А.С. Расчетная оценка прочностных и деформативных характеристик и диаграмм деформирования фибробетонов с агрегированным распределением волокон // *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 3 (26). С. 87–91.
11. Патент РФ 2544299: МПК G01N3/08. — № 2013134589/28. *Способ испытания образцов строительных материалов на растяжение* / Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В., Прокофьев А.Н. Заявл. 23.07.2013. Опубл. 20.03.15. Бюл. № 8.
12. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В., Бондарев Б.А. Исследование анкеровки стальной фибры с одиночными отгибами по концам в цементно-песчаном бетоне // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2014. № 1 (52). С. 111–117.
13. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В. Исследование анкеровки стальной фибры в цементно-песчаном бетоне // *Известия вузов. Строительство*. 2014. № 2. С. 96–103.
14. Sujivorakul C. Model of hooked steel fibers reinforced concrete under tension. — High performance fiber reinforced cement composites 6, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, RILEM, 2012, pp. 559.
15. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В., Бондарев Б.А. Моделирование анкеровки гладкой фибровой арматуры в цементно-песчаном растворе // *Научный вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2014. № 35 (54). С. 126–134.
9. Karpenko N.I., Radaikin O.V. To improve the deformation diagrams of concrete for determining the cracking and breaking moment in bent reinforced concrete elements. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2012. No. 3, pp. 10–16. (In Russian).
10. Mailyan L.F., Mailyan A.L., Aivazyan A.S. Estimated evaluation of strength and deformation characteristics and fibrous-concrete deformation diagrams with aggregated fiber distribution. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2013. No. 3 (26), pp. 87–91. (In Russian).
11. Patent RF 2544299: MPK G01N3/08. — № 2013134589/28. *Sposob ispytaniya obraztsov stroitel'nykh materialov na rastyazhenie* [Method for testing tensile samples of building materials]. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V., Prokof'ev A.N. Declared 23.07.2013. Published 20.03.15. Bulletin No. 8. (In Russian).
12. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V., Bondarev B.A. Investigation of anchoring of steel fiber with single bends at the ends in cement-sand concrete. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014. No. 1 (52), pp. 111–117. (In Russian).
13. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V. Investigation of anchoring of steel fiber in cement-sand concrete. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2014. No. 2, pp. 96–103. (In Russian).
14. Sujivorakul C. Model of hooked steel fibers reinforced concrete under tension. — High performance fiber reinforced cement composites 6, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, RILEM, 2012, pp. 559.
15. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V., Bondarev B.A. Simulation of anchoring of smooth fiber reinforcement in a cement-sand mortar. *Nauchnyi vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2014. No. 35 (54), pp. 126–134. (In Russian).

При поддержке:

АРСС Ассоциация развития стального строительства

РСТМ Российский союз поставщиков металлопродукции

Организатор: **МЕТАЛЛ ЭКСПО**

2-я международная специализированная выставка

Металло Конструкции 2017

Генеральный информационный партнер: **МС** Специализированный журнал «Металлоснабжение и сбыт»

Оргкомитет выставки: +7 (495) 734-99-66

www.mc-expo.ru

5-8 июня 2017

Москва ЦВК «Экспоцентр» Павильон 8

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).

П.П. ПАСТУШКОВ, канд. техн. наук (pavel-one@mail.ru);

В.Г. ГАГАРИН, д-р техн. наук, член-корр. РААСН (gagarinv@yandex.ru)

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Исследования зависимости теплопроводности и коэффициента теплотехнического качества от плотности автоклавного газобетона

Актуальность темы работы обуславливается, с одной стороны, устарелостью описанных ранее исследований, так как полученные в них результаты отражают теплофизические характеристики газобетона, произведенного на оборудовании и по технологиям, отличающимся от современных, а с другой – проводимой в настоящее время деятельностью по актуализации нормативных документов в сфере теплозащиты зданий. В работе представлены результаты по определению теплопроводности в сухом состоянии и коэффициента теплотехнического качества (КТК) для автоклавного газобетона современного производства с диапазоном марок по плотности от 100 до 600 кг/м³. Построена зависимость теплопроводности в сухом состоянии от плотности, получено уравнение, описывающее эту зависимость. Проведено сравнение полученной зависимости и данных в действующем СП 50.13330 и сделан вывод о большей точности полученных результатов. Представлена зависимость КТК газобетона от плотности: полученные результаты коррелируются с классическими работами по этой тематике. Найдено, что значение КТК исследованных марок по плотности газобетона примерно одинаково и равно 0,04 1%. Полученные данные теплофизических параметров могут быть использованы при назначении и анализе расчетных значений теплопроводности газобетона, а также при актуализации и выпуске новых нормативных документов в сфере теплозащиты зданий и производства газобетона.

Ключевые слова: теплопроводность, коэффициент теплотехнического качества, плотность, автоклавный газобетон.

Для цитирования: Пастушков П.П., Гагарин В.Г. Исследования зависимости теплопроводности от плотности и коэффициента теплотехнического качества автоклавного газобетона // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 26–28.

P.P. PASTUSHKOV, Candidate of Sciences (Engineering), (pavel-one@mail.ru);
V.G. GAGARIN, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAACS (gagarinv@yandex.ru)
Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivny Passage, Moscow, 127238, Russian Federation)

Research in Dependence of Heat Conductivity on Density and Coefficient of Thermo-Technical Quality of Autoclaved Concrete

The relevance of the theme of the work is due, on the one hand, to the obsolete nature of the studies described earlier, since the results obtained in them reflect the thermophysical characteristics of aerated concrete produced on equipment and technologies different from modern ones, and on the other hand, the current activity of updating normative documents in the field Thermal protection of buildings. The paper describes the results obtained for determining the thermal conductivity in the dry state and the thermo quality factor (TQF) for autoclaved aerated concrete of modern production with a range of grades in density from 100 to 600 kg/m³. The dependence of the thermal conductivity of the material in the dry state on the density is constructed, an equation describing this dependence is presented. A comparison of the obtained dependence and data in the current SP 50.13330 is made, a conclusion is made about the greater accuracy of the results obtained. The dependence of TQF aerated concrete on density is presented – the results obtained are correlated with classical works on this topic. It is found that the TQF value of the investigated grades according to the density of aerated concrete is approximately the same and is equal to 0.04 1%. The obtained data on the values of thermophysical parameters can be used for designation and analysis of calculated values for the thermal conductivity of aerated concrete, as well as for updating and issuing new regulatory documents in the field of thermal performance of buildings and production of aerated concrete.

Keywords: thermal conductivity, thermo quality factor, density, autoclave aerated concrete.

For citation: Pastushkov P.P., Gagarin V.G. Research in Dependence of Heat Conductivity on Density and Coefficient of Thermo-Technical Quality of Autoclaved Concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 26–28. (In Russian).

В связи с повышением нормативных требований к тепловой защите стеновых ограждающих конструкций, которое произошло уже более 20 лет назад, в России перестали применяться почти все материалы, относившиеся к типу конструкционно-теплоизоляционных. Практически единственным исключением является автоклавный газобетон. Стены из этого материала возводятся как однослойными, так и в составе многослойных конструкций и обеспечивают высокий класс энергосбережения согласно СП 50.13330¹. Современная кладка из газобетонных блоков обеспечивает минимальное теплотехническое влияние кладочных швов, чем достигается большая однородность конструкций. За счет этих факторов победителем в номинации «Лучший реализованный проект энергосбережения при строительстве жилья эконом-класса» на градостроительном конкурсе Минстроя РФ в 2015 г. стал жилой комплекс «Солнечный» в Свердловской области с однослойными

стенами из укрупненных газозобетонных блоков. Проект реализован ООО «ПСО «Теплит» при участии НИИСФ РААСН [1]. Поэтому в настоящее время большей актуальностью обладают работы, направленные на исследования теплотехнических свойств автоклавного газобетона, в том числе в эксплуатационных условиях.

В российской научной и профессиональной среде хорошо известны работы Е.С. Силаенкова [2], Б.А. Качуры [3] и др., посвященные таким исследованиям. За рубежом широко распространена книга Хельмута Кюнцеля [4], которая выдержала несколько изданий. Однако эти работы описывают характеристики газобетона, производившегося до 90-х гг. XX в. Несмотря на то что на рынке еще встречается продукция, производимая на оборудовании того времени, в подавляющем большинстве современный автоклавный газобетон выпускается уже на новом оборудовании и по усовершенствованным технологиям [5]. В последние годы выходят работы с

¹ СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003». М.: Минрегионразвития России. 2012. 96 с.

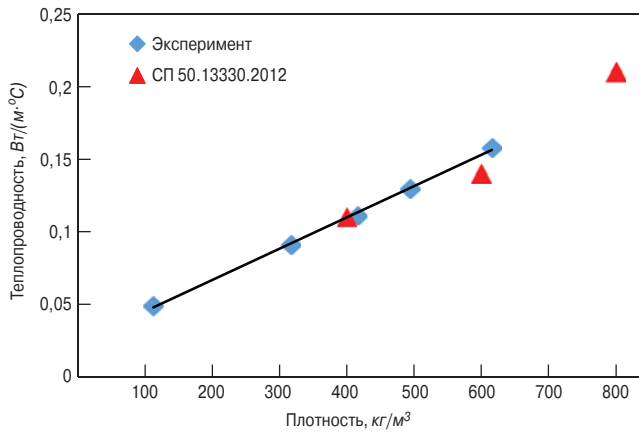


Рис. 1. Зависимость теплопроводности газобетона от плотности

новыми данными о теплопроводности газобетона [6]. К числу таких работ относится и настоящая статья.

Известные зависимости теплопроводности газобетона в сухом состоянии от его плотности были определены в 60-х гг. XX в. В РФ эта зависимость была представлена в СНиП «Строительная теплотехника» и с небольшими дополнениями перешла в действующий СП 50.13330 «Тепловая защита зданий». Представленные данные в приложении Т СП 50.13330 «Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий» обладают многими противоречиями и вызывают критику среди производителей современного автоклавного газобетона, начиная от названия материала: «Газо- и пенобетон на цементном вяжущем» и заканчивая значениями расчетной влажности в условиях эксплуатации А и Б [7]. Более того, только две марки по плотности из четырех представленных в таблице применяются в строительстве в настоящее время (400 и 600 кг/м³), при этом газобетон плотностью 800 и 1000 кг/м³ фактически не производится. В таблице нет данных для газобетона плотностью 500 кг/м³, которого в настоящее время выпускается более 65% от всего объема, а также

для газобетона плотностью ниже 400 кг/м³, которого с каждым годом производится больше [5]. Поэтому выполняемые в 2017 г. НИИСФ РААСН работы по актуализации действующих и подготовке новых нормативных документов в сфере теплозащиты зданий делают особенно важными исследования зависимости теплопроводности в сухом состоянии от плотности автоклавного газобетона современного производства, а также параметров для расчета теплопроводности в условиях эксплуатации.

Лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН совместно с Национальной ассоциацией производителей автоклавного газобетона (НААГ) проведен комплекс работ по определению теплотехнических показателей автоклавного газобетона с диапазоном марок по плотности от 100 до 600 кг/м³. По результатам экспериментов устанавливалась теплопроводность в сухом состоянии при средней температуре 25°С и приращение теплопроводности на 1% влажности. По полученным результатам рассчитывался коэффициент теплотехнического качества (КТК) [8]: $\eta = \Delta\lambda/\lambda_0$, 1/%. В таблице представлены осредненные результаты этих исследований.

На рис. 1 построена полученная зависимость теплопроводности аппроксимированная прямой. Там же нанесены данные по теплопроводности газобетона из СП 50.13330.

Как видно, экспериментальные данные хорошо представляются в виде линейной зависимости (экспериментальные точки очень точно лежат на аппроксимирующей прямой). Полученная зависимость теплопроводности в сухом состоянии описывается уравнением при условии, что при плотности 0 кг/м³ теплопроводность равна теплопроводности воздуха в спокойном состоянии (0,026 Вт/(м·°С)):

$$\lambda = 0,00021\rho + 0,026, \text{ Вт/(м·°С)}. \quad (1)$$

Также по рис. 1 можно сделать вывод, что представленные сейчас данные в СП 50.13330 по теплопроводности в сухом состоянии для газобетона в диапазоне плот-

Результаты экспериментальных определений теплотехнических показателей газобетона

| Марка | Средняя плотность образцов, ρ , кг/м ³ | Теплопроводность в сухом состоянии, λ_0 , Вт/(м·°С) | Приращение на 1% влажности, $\Delta\lambda$, Вт/(м·°С·%) | КТК, η , 1/% |
|-------|--|---|---|-------------------|
| D100 | 112 | 0,049 | 0,002 | 0,043 |
| D300 | 316 | 0,091 | 0,004 | 0,043 |
| D400 | 416 | 0,111 | 0,005 | 0,045 |
| D500 | 494 | 0,13 | 0,006 | 0,044 |
| D600 | 616 | 0,158 | 0,007 | 0,044 |

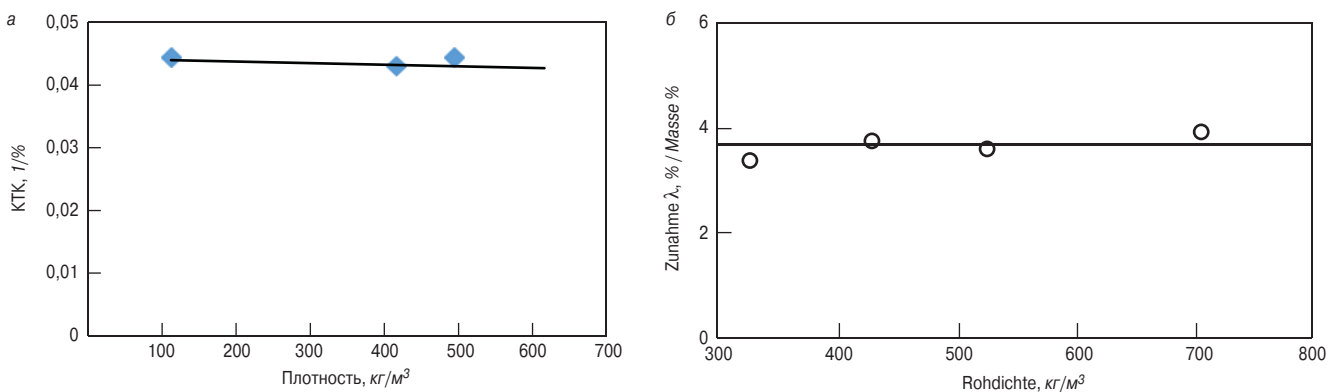


Рис. 2. Зависимость КТК газобетона от плотности: а – по результатам экспериментов; б – из [4]

ностей от 400 до 800 кг/м³ близки к построенной по результатам экспериментов зависимости, однако полученное уравнение (1) позволяет находить теплопроводность газобетона со значительно большей точностью, а также для марок с плотностью ниже 400 кг/м³.

На рис. 2, а представлена полученная зависимость КТК от плотности современного автоклавного газобетона. Найденная зависимость близка к зависимости, представленной в [4] (рис. 2, б), полученной Х. Кюнцелем с той разницей, что в [4] она рассчитывалась в % и названа «Zupahte» (рост, нем).

В [9] сделан вывод о том, что значение КТК для каждого вида материала примерно одинаково. Полученная зависимость подтверждает этот результат для автоклавного газобетона современного производства. По проведенным исследованиям значение КТК для газобетона составляет: $\eta \approx 0,04$ 1/%. Данное значение можно применять для нахождения расчетной теплопроводности, λ , Вт/(м·°С) по формуле [10]:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta \lambda \cdot w_3 = \lambda_0 \left(1 + \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \cdot w_3 \right) = \lambda_0 (1 + \eta \cdot w_3), \quad (2)$$

где w_3 — эксплуатационная влажность материала по массе, %.

Если, используя формулу (2), рассчитать КТК по данным из таблицы теплотехнических показателей

(приложение Т СП 50.13330) и сравнить их с найденными, то можно сделать вывод, что для марки по плотности 400 кг/м³ значения в СП 50.13330 занижены (КТК примерно равно 0,03), а для марки по плотности 600 кг/м³, наоборот, завышены (0,07). При этом найденное среднее значение КТК, равное 0,04, коррелируется с данным из ГОСТ 31359–2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия». Однако в этом стандарте для марки по плотности 600 кг/м³ расчетные значения теплопроводности указаны с ошибкой: для влажности 4% КТК составляет 0,036, а для влажности 5% — 0,061, т. е. нарушена линейная зависимость теплопроводности от влажности.

Таким образом, в результате проведенных исследований найдена линейная зависимость теплопроводности в сухом состоянии от плотности автоклавного газобетона современного производства. Значение КТК исследованных марок по плотности газобетона примерно одинаково и равно 0,04 1/%. Полученные данные по значениям теплофизических параметров могут быть использованы при назначении и анализе расчетных значений теплопроводности газобетона, а также при актуализации и выпуске новых нормативных документов в сфере теплозащиты зданий и производства газобетона.

Список литературы

1. Гринфельд Г.И., Коркина Е.В., Пастушков П.П., Павленко Н.В., Ерофеева И.В. Система ограждающих конструкций, обеспечивающая повышенное энергосбережение в зданиях // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2016. № 3. С. 25–35.
2. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М.: Стройиздат, 1986. 174 с.
3. Гаевой А.Ф., Качура Б.А. Качество и долговечность ограждающих конструкций из ячеистого бетона. Харьков: Вища школа, 1978. 224 с.
4. Künzel H. Gasbeton. Wärme- und Feuchtigkeitsverhalten. Wiesbaden—Berlin: Bauverlag. 1970. 120 S.
5. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Российский рынок автоклавного газобетона. Итоги 2016 года // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 49–51.
6. Гринфельд Г.И., Коркина Е.В., Пастушков П.П., Павленко П.П., Ерофеева И.В., Губанов Д.А. Исследования теплопроводности ячеистых бетонов. Актуальные вопросы архитектуры и строительства: *Материалы XIV Международной научно-технической конференции*. 2015. Саранск. С. 21–24.
7. Пастушков П.П. Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона марок D300–600 // *Технологии бетонов*. 2016. № 3–4. С. 20–23.
8. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Определение расчетной влажности строительных материалов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 8. С. 28–33.
9. Гагарин В.Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. Диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук. Москва. 2000. 396 с.
10. Пастушков П.П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизоляционных материалов. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Москва. 2013. 169 с.

References

1. Grinfeld G.I., Korkina E.V., Pastushkov P.P., Pavlenko N.V., Erofeeva I.V. The system of the protecting designs providing the increased energy saving in buildings. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2016. No. 3, pp. 25–35. (In Russian).
2. Silaenkov E.S. *Dolgovechnost' izdeliy iz yacheistykh betonov [Longevity of products from cellular concretes]*. Moscow: Stroyizdat. 1986. 174 p.
3. Gaevo A.F., Kachura B.A. *Kachestvo i dolgovechnost' ograzhdayushchikh konstruktsiy iz yacheistogo betona [Quality and durability of the protecting designs from cellular concrete]*. Khar'kov: Vishcha shkola. 1978. 224 p.
4. Künzel H. *Gasbeton. Wärme- und Feuchtigkeitsverhalten*. Wiesbaden—Berlin: Bauverlag. 1970. 120 S.
5. Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I., Smirnova A.S. Russian market of autoclave gas concrete. Results of 2016. *Stroitel'nye Materialy [Construction materials]*. 2017. No. 3, pp. 49–51. (In Russian).
6. Grinfeld G.I., Korkina E.V., Pastushkov P.P., Pavlenko P.P., Erofeeva I.V., Gubanov D.A. Researches of heat conductivity of cellular concretes. Topical issues of architecture and construction: *Materials of the XIV-th International scientific and technical conference*. Saransk. 2015, pp. 21–24. (In Russian).
7. Pastushkov P.P. Calculated definition of operational humidity of autoclave aerocrete of the D300–600 brands. *Tekhnologii betonov*. 2016. No. 3–4, pp. 20–23. (In Russian).
8. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Definition of calculated humidity of structural materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 8, pp. 28–33. (In Russian).
9. Gagarin V.G. The theory of a state and transfer of moisture in structural materials and heat-shielding properties of the protecting structures of buildings. Doctor Diss. (Engineering). Moscow. 2000. 396 p. (In Russian).
10. Pastushkov P.P. The theory of a state and transfer of moisture in structural materials and heat-shielding properties of the protecting structures of buildings. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2013. 169 p. (In Russian).

УДК 693.1:691.42.001.5

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 1. Прочность и деформативность при сжатии

Приведены результаты экспериментальных исследований при сжатии образцов каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков на тонкослойных полиуретановых швах. На основании экспериментальных исследований выявлены особенности деформирования и разрушения опытных образцов, получены значения прочности каменной кладки при сжатии и ее деформационные характеристики. Выполнено сопоставление полученных результатов с результатами экспериментальных исследований каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков на тонкослойных клеевых полимерцементных швах. Показано, что характер деформирования образцов кладки на полимерцементном клеевом растворе и на клей-пене отличается. Модуль деформаций каменной кладки на клей-пене по мере повышения сжимающих напряжений увеличивается, что объясняется высокой податливостью горизонтальных полиуретановых швов на начальных этапах нагружения опытных образцов. По мере обжатия полиуретановых швов их деформативность снижается, но вплоть до достижения напряжений, близких к прочности при сжатии кладки, остается более высокой, чем полимерцементных клеевых швов. Установлено, что значение секущего модуля упругости каменной кладки на тонкослойных полимерцементных швах в 3,3 раза превышает значение модуля упругости кладки на клей-пене.

Ключевые слова: каменная кладка, ячеисто-бетонные блоки, полиуретановый клей, прочность при сжатии, модуль деформаций, коэффициент Пуассона.

Для цитирования: Деркач В.Н. Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах. Часть 1. Прочность и деформативность при сжатии // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 29–32.

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 1. Strength and Deformability under Compression

Results of the experimental study of stone masonry samples made of cellular concrete blocks with thin-layer polyurethane joints under compression are presented. On the basis of the experimental study, the peculiarities of deformation and destruction of experimental samples have been revealed; values of the stone masonry strength under compression and its deformation characteristics have been obtained. The comparison of results obtained with results of the experimental study of stone masonry made of cellular concrete blocks with thin-layer polymer-cement joints has been made. It is shown that the nature of deformation of masonry samples on the polymer-cement adhesive solution and on the glue-foam is different. The modulus of deformations of the stone masonry on the glue-foam increases with increasing compressive stresses that is explained by high ductility of horizontal polyurethane joints at the initial stages of loading of experimental samples. In the process of compression of polyurethane joints, their deformability is reduced, but until the stresses close to the compressive strength of the masonry, it remains higher than the deformability of polymer-cement glue joints. It is established that the value of the secant elastic modulus of the stone masonry with thin-layer polymer-cement joints exceeds the elasticity modulus of the masonry on the glue-foam by 3.3 times.

Keywords: stone masonry, cellular concrete blocks, polyurethane glue, compressive strength, modulus of deformations, Poisson number.

For citation: Derkach V.N. Strength and Deformability of Stone Masonry Made of Cellular Concrete Blocks of Autoclaved Hardening with Polyurethane Joints. Part 1. Strength and Deformability under Compression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 29–32. (In Russian).

В последнее время в практику домостроения начала внедряться новая технологии производства кладочных работ, основанная на применении каменных кладок из эффективных кладочных изделий на однокомпонентной полиуретановой клей-пене [1–4].

Применение таких кладок позволяет в два раза увеличить производительность труда по сравнению с традиционными методами выполнения кладочных работ, повысить теплотехническую однородность стен, сократить затраты на транспортировку материалов, погрузочные работы и их хранение. При этом стоимость 1 м³ кладки на клей-пене оказывается ниже, чем кладки, выполняемой с применением полимерцементных тонкослойных растворов.

Несмотря на очевидные преимущества кладок на полиуретановых швах, в настоящее время не накоплен достаточный опыт их применения в несущих стенах зданий. Сдерживающим фактором широкого внедрения полиуретановых клеев при возведении каменных конструкций является отсутствие нормативных доку-

ментов, регламентирующих правила проектирования таких конструкций.

Указанные обстоятельства определили необходимость проведения комплексных испытаний каменных кладок на полиуретановых швах с целью установления их прочностных и деформационных характеристик при различных видах напряженного состояния, которые были выполнены в филиале РУП «Институт БелНИИС» – НТЦ.

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 1052–1 было изготовле-

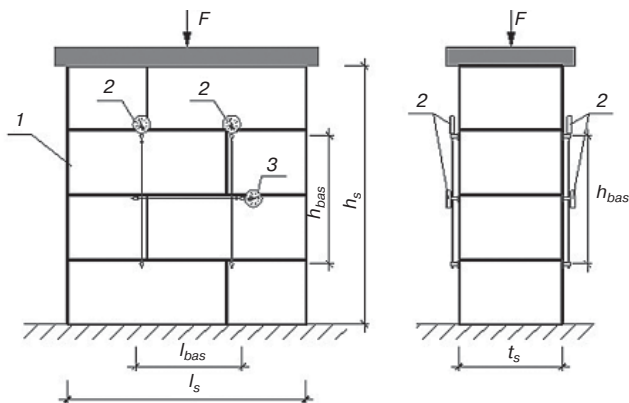


Рис. 1. Опытные образцы каменной кладки: 1 – опытный образец; 2 – индикаторы перемещений часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм; h_s – высота образца; l_s – длина образца; t_s – толщина образца; F – прилагаемая нагрузка; h_{bas} – базы измерения деформационной кладки

но три образца кладки на клей-пене. Кроме того, был изготовлен один опытный образец кладки с применением полимерцементного клевого раствора М75 при сплошном заполнении горизонтальных и вертикальных швов кладки.

Форма и размеры опытных образцов кладки назначались в соответствии с СТБ EN 1052–1. Высота образцов составляла 1000 мм, ширина 900 мм, толщина 400 мм (рис. 1).

Сразу после изготовления к каждому испытываемому образцу прикладывали предварительную вертикальную равномерно распределенную сжимающую нагрузку таким образом, чтобы сжимающие напряжения в сечении образца достигали около $2,5 \cdot 10^{-3}$ 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 образца на полимерцементном клевом растворе – в возрасте 28 сут.

Нагружение образцов происходило с помощью установки, оснащенной двумя гидравлическими домкратами грузоподъемностью 50 т и силоизмерительным устройством. Нагрузка на образец передавалась через жесткую траверсу, установленную на фрезерованную стальную пластину толщиной 25 мм, размеры которой соответствовали размерам поперечного сечения опытного образца. Пластина укладывалась на слой цемент-

но-песчаного раствора толщиной 10 мм. Образцы в нагружающем устройстве размещались таким образом, чтобы вертикальная ось образца совпадала с осью приложения нагрузки (рис. 2).

Производилось первоначальное нагружение с целью определения разницы показаний индикаторов, установленных на противоположных лицевых гранях образца. Разница показаний при испытаниях не должна была превышать 20%.

Усилие на образец передавалось равномерно, при этом скорость нагружения выбиралась такой, чтобы достичь разрушения образца в пределах 20–30 мин от начала приложения нагрузки. В ходе испытаний фиксировались нагрузка образования первых трещин и разрушающая нагрузка, а также определялись относительные деформации кладки в вертикальном и горизонтальном направлениях с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм, установленных с базой, равной $1/3$ – $1/2$ высоты и ширины образца.

При испытаниях образцов каменной кладки, выполненных с применением полиуретановой клей-пены, образование первых трещин произошло при нагрузке F_{cr} составляющей 0,4–0,58 от разрушающей нагрузки F_{max} . В образце Сп1 трещины возникали на боковых гранях, а в образцах Сп2 и Сп3 – в отдельных блоках на лицевых гранях. При повышении нагрузки происходило развитие трещин в вертикальном направлении по телу блоков, а также появление новых трещин, как на лицевых, так и на боковых гранях образцов. Разрушение опытных образцов носило пластический характер и наступало вследствие раздавливания ячеисто-бетонных блоков при напряжениях в кладке $f=1,2$ – $1,4$ МПа (рис. 3, а).

В образце кладки Сп1, выполненном на полимерцементном клевом растворе, образование первых трещин было зафиксировано при нагрузке $F_{cr} \approx 0,44F_{max}$. Трещины возникали на боковых гранях образца в блоках первого ряда кладки. Увеличение нагрузки вызывало рост ширины раскрытия и длины первых трещин и образование новых трещин. Разрушение образца произошло при напряжениях в кладке $f=1,25$ МПа в результате раздавливания ячеисто-бетонных блоков и сопровождалось развитием на торцевых гранях вертикальных трещин, разрывающих кладку в поперечном направлении (рис. 3, б).

Результаты определения прочности каменной кладки при сжатии приведены в табл. 1.



Рис. 2. Опытный образец в нагружающем устройстве

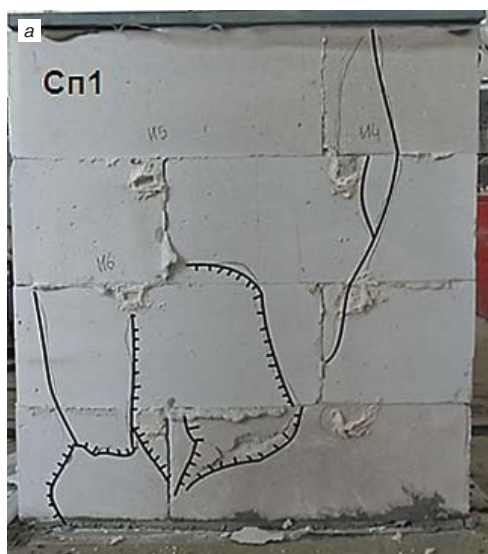


Рис. 3. Характер разрушения образцов кладки: а – на полиуретановых швах; б – на полимерцементных клеевых швах



Таблица 1

Результаты определения прочности кладки при сжатии

| № образца | Образование первой трещины, $F_{сгс}$, Н | Разрушающая нагрузка, $F_{i\max}$, Н | Площадь, A_i , мм ² | Прочность при сжатии, f_i , МПа | Характеристическое значение прочности при сжатии, f_{ik} , МПа |
|--|---|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| Образцы кладки на полиуретановой клей-пене | | | | | |
| Сп1 | 310000 | 533650 | 369900 | 1,4 | 1,2 |
| Сп2 | 250000 | 460890 | 369600 | 1,2 | 1 |
| Сп3 | 200000 | 456850 | 368000 | 1,2 | 1 |
| Среднее значение | | | | 1,3 | 1,1 |
| Образец кладки на полимерцементном клею | | | | | |
| Сц1 | 200000 | 460890 | 366000 | 1,25 | 1 |

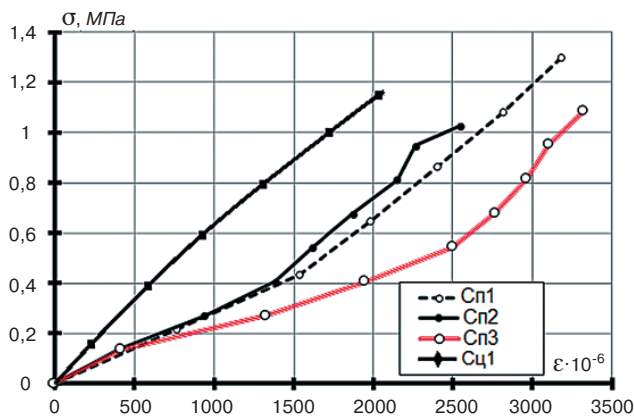


Рис. 4. Графики деформирования образцов кладки при сжатии

Из табл. 1 следует, что прочность при сжатии кладки на полимерцементных швах не превышала прочности кладки, выполненной с применением полиуретановой клей-пены. При этом необходимо отметить тот факт, что образец кладки на полимерцементном клеевом растворе был выполнен при сплошном заполнении горизонтальных швов. В соответствии с Еврокодом 6 [5] при полосовых горизонтальных растворных швах прочность кладки должна снижаться в зависимости от отношения общей ширины полос раствора к толщине кладки. Если учесть указанный фактор, то при одинаковой общей ширине полос цементных клеевых и полиуретановых швов, прочность кладки на полиуретановых швах окажется существенно выше скорректированного значения прочности кладки на клеевых цементных швах. Данный вывод подтверждается исследованиями [6].

Графики деформирования образцов каменной кладки при сжатии приведены на рис. 4.

Анализ графиков деформирования показывает, что при увеличении сжимающих напряжений до значений f_k зависимость σ - ε кладки на полимерцементных клеевых швах имеет практически линейный характер. В кладке на полиуретановых швах нелинейные деформации наблюдаются уже на начальных этапах нагружения опытных образцов. При повышении напряжений σ от 0 до $0,35f_k$ прирост относительных деформаций каменной кладки $\Delta\varepsilon$ составил $0,0015$ – $0,002$, а при повышении напряжений от $0,4f_k$ до f_k – $\Delta\varepsilon = 0,0007$ – $0,001$. Этот эффект объясняется высокой податливостью горизонтальных полиуретановых швов, которая снижалась по мере их обжатия. При напряжениях в кладке $\sigma \geq 0,6f_k$ тангенсы углов наклона диаграмм деформирования кладок на полиуретановых и полимерцементных швах были близкими. Схожий характер деформирования кладки из

Таблица 2

Результаты определения деформационных характеристик кладки

| № образца | Секущий модуль упругости E_i , МПа | Коэффициент Пуассона ν_{xy} | K_{Ei} |
|--|--------------------------------------|---------------------------------|----------|
| Образцы кладки на полиуретановой клей-пене | | | |
| Сп1 | 300 | 0,12 | 250 |
| Сп2 | 300 | 0,08 | 290 |
| Сп3 | 200 | 0,08 | 190 |
| | 300 | 0,09 | 250 |
| Образец кладки на полимерцементном клею | | | |
| Сц1 | 700 | 0,18 | 700 |

ячеисто-бетонных блоков на полиуретановых швах имел место в исследованиях [7–8].

Значения относительных деформаций испытанных кладок при уровнях напряжений σ , близких к f , находились в диапазоне $0,0022$ – $0,0032$.

Модуль упругости отдельного испытываемого образца кладки E_i определялся как секущий модуль по значению средней относительной деформации, полученной в четырех точках при нагрузке $F_i = 1/3F_{\max}$. При этой же нагрузке устанавливались значения коэффициента поперечных деформаций каменной кладки ν_{xy} . Значение коэффициента K_{Ei} , характеризующего упругие свойства кладки, в соответствии с [5] принималось равным отношению E_i/f_{ik} .

Результаты определения деформационных характеристик каменной кладки приведены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что значение секущего модуля упругости каменной кладки на тонкослойных полимерцементных швах в 2,8 раза превышает значение модуля упругости кладки на полиуретановой клей-пене. Значение коэффициента Пуассона кладки на полимерцементных швах ν_{xy} также было выше значения ν_{xy} кладки на полиуретановых швах.

Выводы. Экспериментальные значения сжимающих напряжений, при которых происходило образование трещин и разрушение каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков на полимерцементных клеевых швах, не превышали значения напряжений трещинообразования и разрушения кладки на полиуретановых швах.

Установленное экспериментально значение секущего модуля упругости каменной кладки на полиуретановых швах (E) оказалось в 2,8 раза ниже среднего значения (E) кладки на полимерцементных клеевых швах. Значение коэффициента поперечной деформации кладки на полимерцементных клеевых швах ν_{xy} при на-

грузке $F_i = 1/3 F_{\max}$ в два раза превышало среднее значение v_{xy} кладки на полиуретановых швах.

Модуль деформаций каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков на полиуретановых швах нелинейно возрастает по мере повышения сжимающих напряжений до значений $f_{\text{д}}$. Данный фактор следует учитывать при чис-

ленном расчете напряжений и деформаций как в поэтажных стенах каркасных зданий, так и в несущих стенах зданий и узлах их сопряжений с ненесущими стенами и перегородками. Высокую деформативность кладки на полиуретановых швах следует принимать во внимание при выборе способов отделки стен и перегородок.

Список литературы

1. Глузов А. Кладка на полиуретановых составах: как устранить мостики холода // *Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века*. 2014. № 4. С. 30–31.
2. Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Трещиностойкость каменных перегородок // *Жилищное строительство*. 2012. № 8. С. 34–37.
3. Jäger A., Kuhlemann C., Habian E., Kasa M., Lu S. Verklebung von Planziegelmauerwerk mit Polyurethanklebern // *Mauerwerk*. 2011. № 15. P. 223–231.
4. Aldoghaim E. Untersuchungen zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Mauerwerk durch Elastomerlager // *Mauerwerk*. 2012. № 16. P. 93–102.
5. 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.
6. Drobiec R., Jasinski W. Wplyw rodzaju zaprawy na parametry mechaniczne murów z ABK poddanych sciskaniu // *Materiały Budowlane*. 2015. № 4. P. 3–7.
7. Гринфельд Г.И., Харченко А.П. Сравнительные испытания кладки из автоклавного газобетона с различным исполнением кладочного шва // *Жилищное строительство*. 2013. № 11. С. 30–34.
8. Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 5. С. 5–19.

References

1. Glumov A. Laying on polyurethane structures: how to eliminate cold bridges. *Stroitelnyye materialy, oborudovaniye i tekhnologii XXI veka*. 2014. No. 4, pp. 30–31. (In Russian).
2. Derkach V.N., Orlovich R.B. Crack growth resistance of masonry walls. *Zhilishnoe Stroitelstvo* [Housing construction]. 2012. No. 8, pp. 34–37. (In Russian).
3. Jäger A., Kuhlemann C., Habian E., Kasa M., Lu S. Verklebung von Planziegelmauerwerk mit Polyurethanklebern. *Mauerwerk*. 2011. No. 15, pp. 223–231.
4. Aldoghaim Ye. Untersuchungen zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Mauerwerk durch Elastomerlager. *Mauerwerk*. 2012. No. 16, pp. 93–102. (In German).
5. 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.
6. Drobiec R. Wplyw rodzaju zaprawy na parametry mechaniczne murów z ABK poddanych sciskaniu. *Materiały Budowlane*. 2015. No. 4, pp. 3–7. (In Polish).
7. Grinfeld G.I., Kharchenko A.P. Comparative tests of masonry made of autoclaved aerated concrete with different masonry seam execution. *Zhilishnoe Stroitelstvo* [Housing construction]. 2013. No. 11, pp. 30–34. (In Russian).
8. Gorshkov A.S., Vatin N.I. Properties of wall constructions from cellular concrete products of autoclave hardening on polyurethane glue. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2013. No. 5, pp. 5–19. (In Russian).

ВЫСТАВКА

КРЫМ. СТРОЙИНДУСТРИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ОСЕНЬ-2017

9-11 ноября

г. Ялта, ул. Дражинского, 50
ГК «ЯЛТА-ИНТУРИСТ»

- Современные строительные материалы и технологии.
- Краски, лаки.
- Строительные машины и механизмы.
- Окна, двери, кровли, фасады.
- Металлические конструкции.
- Сантехника.
- Экология. Системы очистки воды.
- Системы отопления, вентиляции и кондиционирования.
- Электротехническое и осветительное оборудование.
- Кабельно-проводниковая продукция.
- Энергосбережение и использование нетрадиционных экологически чистых источников энергии.
- Системы автоматизации. Программное обеспечение предприятий строительной, энергетической, электротехнической отраслей промышленности.

ФОРУМ КРЫМСКИЕ
ВЫСТАВКИ

Оргкомитет: Республика Крым, г. Симферополь, ул. Горького, 8, оф. 27,
моб.: +7 978 78 178 83, т./ф.: +7(3652) 54-60-66, +7(3652) 54-67-46,
E-mail: marketing@expoforum.biz, http://expoforum.biz/

УДК 691.5

Н.И. КОЖУХОВА, канд. техн. наук (kozuhovanata@yandex.ru), Д.Н. ДАНАКИН, инженер
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

Стабилизирующая добавка как способ оптимизации поровой структуры легковесных композитов на основе геополлимерного вяжущего*

При проектировании и производстве ячеистых композитов не зависимо от типа связующего компонента, одной из актуальных проблем является формирование равномерной поровой структуры, обеспечивающей оптимальные прочностные, а также теплофизические характеристики легковесного композита. Наиболее проблематично добиться правильной поровой структуры в системах в двух случаях: наличие низкоактивной связующей матрицы; длительные сроки формирования прочности каркаса матрицы. В обоих случаях формирующаяся поровая структура на начальном этапе получения композита за счет отсутствия минимально достаточной ранней прочности каркаса, имеет тенденцию к разрушению, что ведет к ухудшению эксплуатационных характеристик конечного материала. В рамках работы проведены исследования по изучению возможности использования цементного вяжущего в качестве добавки, стабилизирующей поровую структуру в ячеистых композитах на основе геополлимерных вяжущих. Установлено, что введение 10% портландцемента от массы вяжущего позволяет снизить плотность геополлимерного пенобетона до 21% при одновременном увеличении прочности при сжатии до 8%.

Ключевые слова: зола-уноса, геополлимерное вяжущее, стабилизация, поровая структура, пенобетон.

Для цитирования: Кожухова Н.И., Данакин Д.Н., Строкова В.В. Стабилизирующая добавка как способ оптимизации поровой структуры легковесных композитов на основе геополлимерного вяжущего // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 33–35.

N.I. KOZHUKHOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (kozuhovanata@yandex.ru), D.N. DANAKIN, Engineer
V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (46, Kostyukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

A Stabilizing Additive as a Method for Optimization of Porous Structure of Lightweight Composites on the Basis of Geopolymeric Binder*

When designing and manufacturing cellular composites, independently on the type of a binding component, one of the relevant problems is the formation of a uniform porous structure providing the optimal strength and also thermal-physical characteristics of a lightweight composite. The most problematic is to achieve the correct porous structure in the systems in two cases: the presence of a low-active binding matrix and long lines of formation of the strength of a matrix framework. In both cases, the forming porous structure, at the initial stage of composite obtaining due to the absence of minimum required early strength of the framework, has the trend to the destruction that leads to worsening of operational characteristics of the final material. Within the work, research in the study of possibility to use the cement binder as an additive which stabilizes the porous structure in cellular composites on the basis of geopolymeric binders, has been conducted. It is established that the introduction of 10% Portland cement of the binder mass makes it possible to reduce the density of geopolymeric foam concrete up to 21% at simultaneous increase in the compression strength up to 8%.

Keywords: fly ash, geopolymeric binder, stabilization, porous structure, foam concrete.

For citation: Kozhukhova N.I., Danakin D.N., Strokova V.V. A Stabilizing Additive as a Method for Optimization of Porous Structure of Lightweight Composites on the Basis of Geopolymeric Binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 33–35. (In Russian).

Получение ячеистых бетонов с высокими эксплуатационными характеристиками, сочетающимися в себе высокие теплофизические и одновременно необходимые прочностные характеристики, на сегодняшний день является актуальной и в то же время довольно сложной задачей, которая достаточно успешно решается для материалов на основе цемента [1, 2].

В то же время при получении поризованных материалов на основе бесцементных вяжущих систем [3–13], в частности вяжущих щелочной активации, таких как геополлимеры [14–18], возникает ряд трудностей. Для геополлимерных систем проблема получения необходимой пористой структуры, обладающей однородностью, замкнутостью пор и их узким разбросом в размерном диапазоне, обусловлена спецификой синтеза вяжущего (химическая активация алюмосиликатного сырья в условиях высокощелочной среды) и механизма его твердения (полимеризационный).

Для формирования рациональной поровой структуры в первую очередь должны быть соблюдены следующие условия:

1. Короткие сроки схватывания и последующего твердения вяжущей матрицы (что характерно для систем на основе цемента).

2. Высокая устойчивость порообразующего агента и получаемой на его основе ячеистой массы в заданных условиях твердения.

Эти факторы в итоге обеспечивают в объеме композита сохранение исходной поровой структуры на всем протяжении твердения системы до момента ее консолидации и формирования прочного каркаса.

Известно, что в вяжущих системах щелочной активации на основе силикатов натрия, характеризующихся высоким рН-показателем реакционной среды (более 13), пенообразователи, как синтетические, так и протеиновые, демонстрируют низкую стойкость пены из-за высокой плотности щелочного компонента.

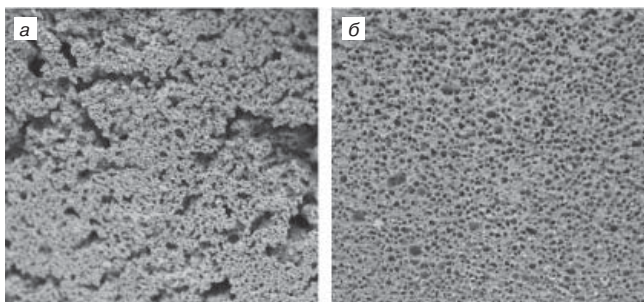
При этом существуют аналогичные вяжущие системы, где активатором выступает гидроксид натрия. В подобных системах доказана возможность получения стойкой пеномассы.

Однако в вяжущих системах щелочной активации большое значение имеют сроки набора минимальной прочности твердеющего ячеистого композита, достаточной для фиксации каркаса поровой структуры.

Среди основных видов сырья для синтеза вяжущих щелочной активации следует выделить алюмосиликат-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Департамента внутренней кадровой политики Белгородской области в форме гранта на проведение научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям социально-экономического развития Белгородской области. Договор № 41-гр. от 19.10.2016; в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова с использованием оборудования на базе Центра Высших Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

* The work has been executed at financial support of the Department of Internal and Staff Policy of the Belgorod Region in the form of grant for conducting research works relating priority directions of the social-economic development of the Belgorod Region. The Agreement of October 10, 2016 №41-gr within the realization of the Program of strategic development of the V.G. Shukhov BSTU with the use of equipment on the basis of the High Technologies Centre, BSTU named after V.G. Shukhov



Микроструктурного геополимерного пенобетона на пенообразователе ESAPON: а – без добавки-стабилизатора; б – с добавкой-стабилизатором в количестве 10%

ные компоненты природного и техногенного происхождения с широким разбросом в химическом составе и содержании щелочных оксидов, от кислых до основных алюмосиликатов [14–16]. Так, для алюмосиликатного сырья основного состава (базальты, доменные гранулированные шлаки, высококальциевые золы-уноса) отвердевание системы в процессе реакций гидратации происходит довольно быстро. В то же время вяжущие системы на основе кислого алюмосиликатного сырья (перлиты, низкокальциевые золы-уноса) характеризуются медленной скоростью набора прочности, что является губительным для пеномассы, входящей в состав композитов на основе данных веществ.

Анализ геополимерных вяжущих на основе низкокальциевых зол-уноса ТЭС как яркого примера техногенного алюмосиликатного сырья кислого состава показал, что, несмотря на формирование на их основе композитов с прочностью до 50 МПа [17], геополимерные вяжущие с использованием зол-уноса, обладающие низкой скоростью растворения даже в условиях высокощелочного воздействия, характеризуются длительным набором прочности [18].

В связи с этим в рамках исследования была рассмотрена возможность стабилизации пеномассы геополимерного пенобетона на основе кислой золы-уноса Новотроицкой ТЭС с низкой реакционной активностью.

С целью обеспечения сравнительного анализа в качестве пенообразователей использовались синтетический – ESAPON и белковый – Biofoam.

В качестве стабилизатора был выбран портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 (ОАО «Белгородский цемент»). Выбор данного типа стабилизатора обусловлен тем, что цементсодержащие системы, активированные щелочами или солями щелочных металлов, характеризуются ускоренным набором прочности и способны формировать прочный каркас матрицы на ранних сроках твердения. В связи с этим в рамках исследования выдвинута гипотеза, что добавка цемента к геополимерной ячеистой системе на начальных этапах структурообразования будет

| Содержание компонентов в вяжущем, % | | | Плотность | Прочность |
|-------------------------------------|--------|--------|-----------|-----------|
| Biofoam | ESAPON | Цемент | | |
| 0,5 | – | – | 728,57 | 0,92 |
| – | 0,5 | – | 721,83 | 1,298 |
| 0,5 | – | 10 | 571,48 | 0,992 |
| – | 0,5 | 10 | 629,73 | 1,354 |

выступать в качестве ускорителя твердения всей системы в целом, обеспечивая тем самым фиксацию поровой структуры в более короткие сроки и сохраняя ее целостность на протяжении всего периода твердения.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы были заформованы составы геополимерного пенобетона на основе золы-уноса с различным содержанием добавки-стабилизатора (см. таблицу)

Результаты эксперимента, приведенные в таблице, показали, что пенобетонные образцы с использованием обоих типов пенообразователей, не содержащие в своем составе добавки-стабилизатора, характеризуются одинаковой плотностью. Однако на синтетическом пенообразователе ESAPON прочность при сжатии на 41% выше по сравнению с аналогичным составом на белковом пенообразователе Biofoam.

Введение цементной добавки-стабилизатора способствует снижению показателя плотности в составах геополимерного пенобетона на основе обоих пенообразователей, синтетического и белкового, в диапазоне от 12,7 до 21,5% соответственно. В то же время прочность при сжатии для обоих составов при введении добавки-стабилизатора увеличивается незначительно (в пределах от 4 до 8 %).

Анализ поровой структуры пенобетонных геополимерных образцов (см. рисунок), исследованных с использованием сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 LMU (Германия)** , показал, что в образцах, содержащих добавку-стабилизатор в количестве 10%, наблюдается более равномерная поровая структура, состоящая преимущественно из замкнутых пор. При этом трещин и нарушений в межпоровых перегородках не наблюдается.

Таким образом, установлена возможность использования портландцемента в качестве добавки, стабилизирующей пеномассу на основе геополимерного вяжущего. Введение 10% портландцемента благоприятно сказывается на физико-механических характеристиках (плотность и прочность при сжатии), а также на формировании равномерной и бездефектной поровой структуры геополимерного пенобетона, что приводит к снижению плотности до 21% при сохранении или увеличении прочности при сжатии до 8% в зависимости от вида применяемого пенообразователя.

Список литературы

1. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Сулейманов К.А. Обобщенный анализ характера поровой структуры газобетонов неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 3. С. 75–79.
2. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A., Lukuttsova N.P. Energy efficient technologies of production and use non-autoclave aerated concrete // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No. 5, pp. 12399–12406.
3. Voitovich E.V., Kozhukhova N.I. Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V. Osadchaya M.S. Features of quality control

References

1. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Suleymanov K.A., Generalized analysis of pore structure in non-autoclave gas concrete based on composite binders. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova*. 2016. No. 3, pp. 75–79. (In Russian).
2. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A., Lukuttsova N.P. Energy efficient technologies of production and use non-autoclave aerated concrete. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No. 5, pp. 12399–12406.
3. Voitovich E.V., Kozhukhova N.I. Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V. Osadchaya M.S. Features of quality control of free of cement binder of non-hydration type.

**Центр высоких технологий (ЦВТ) БГТУ им. В.Г. Шухова.

- of free of cement binder of non-hydration Type // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 724, pp. 39–43.
4. Береговой В.А., Снадин Е.В. Формирование ячеистой структуры кремнистой керамики // *Региональная архитектура и строительство*. 2016. № 2 (27). С. 55–59.
 5. Береговой В.А. Эффективные пенокерамобетоны для жилищного и специального строительства // *Строительные материалы*. 2008. № 9. С. 93–96.
 6. Фомина Е.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Особенности фазообразования силикатных ячеистых изделий автоклавного твердения с алюмосиликатным сырьем // *Строительные материалы*. 2012. № 9. С. 38–39.
 7. Жерновский И.В., Кожухова Н.И., Череватова А.В., Рахимбаев И.Ш., Жерновская И.В. Новые данные о наноразмерном фазообразовании в вяжущей системе «гипс – известь» // *Строительные материалы*. 2016. № 7. С. 9–12.
 8. Павленко Н.В., Строкова В.В., Череватова А.В. Пенобетон на основе наноструктурированного вяжущего. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 77 с.
 9. Мирошников Е.В., Строкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В. Наноструктурированное перлитовое вяжущее и пенобетон на его основе // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 105–106.
 10. Павленко Н.В., Капуста М.Н., Мирошников Е.В. Особенности армирования ячеистых бетонов неавтоклавного твердения на основе наноструктурированного вяжущего // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2013. № 1. С. 33–36.
 11. Череватова А.В., Бурьянов А.Ф., Жерновский И.В., Кожухова Н.И., Алехин Д.А. Особенности комплексного механизма структурообразования в системе композиционного гипсокремнеземистого вяжущего // *Строительные материалы*. 2016. № 11. С. 12–16.
 12. Кожухова Н.И., Войтович Е.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Алехин Д.А. Термостойкие ячеистые материалы на основе композиционных гипсокремнеземных вяжущих // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 65–69.
 13. Zhernovsky I.V., Cherevatova A.V., Voitovich E. V., Kozhukhova N.I., Evtushenko E.I. High-temperature phase transformations in CaO-SO₃-SiO₂-H₂O system with nanosized component // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. Vol. 11. No. 12, pp. 7732–7735.
 14. Данакин Д.Н., Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Веприк А.А. Ячеистый геополимерный бетон – новый материал для экологического строительства // *Сборник трудов Всероссийского совещания заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов «Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика»*. Белгород, 2015. С. 102–110.
 15. Бондарева Е.Н., Кожухова М.И., Кожухова Н.И. Перспективы получения ячеистых материалов на основе геополимеров // *Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Ресурсо- и энергоэффективные технологии в строительном комплексе региона»*. Саратов: СГТУ, 2014. С. 31–33.
 16. Бондарева Е.Н., Кожухова Н.И., Фомина Е.В. Разработка ячеистого бетона на основе щелочеактивированного вяжущего // *Сборник статей Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова*, 2014. С. 94–97.
 17. Кожухова Н.И., Жерновский И.В. Геополимерное вяжущее и бетон на основе зол-уноса ТЭС. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. 2015. 183 с.
 18. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Фомина Е.В. Фазообразование в геополимерных системах на основе зол-уноса Апатитской ТЭС // *Строительные материалы*. 2015. № 12. С. 85–88.
 19. Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 724, pp. 39–43.
 4. Beregovoy V.A., Snadin E.V. Pore structure formation in silica ceramics. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2016. No. 2 (27), pp. 55–59. (In Russian).
 5. Beregovoy V.A. Effective foam ceramic concrete for housing and special construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 9, pp. 93–96. (In Russian).
 6. Fomina E.V., Zhernovsky I.V., Strokov V.V. Features of phase formation of silicate cellular products of autoclave hardening with aluminosilicate raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 9, pp. 38–39. (In Russian).
 7. Zhernovsky I.V., Kozhukhova N.I., Cherevatova A.V., Rakhimbaev I.Sh., Zhernovskaya I.V. New data about nano-sized phase formation in binding system «gypsum – lime». *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 7, pp. 9–12. (In Russian).
 8. Pavlenko N.V., Strokov V.V., Cherevatova A.V. Penobeton na osnove nanostrukturirovannogo vyazhushchego [Foam concrete based on nanostructured binder]. Belgorod: BSTU. 2011. 77 p.
 9. Miroshnikov E.V., Strokov V.V., Cherevatova A.V. Nanostructured perlite binder and based foam concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 105–106. (In Russian).
 10. Pavlenko N.V., Kapusta M.N., Miroshnikov E.V., Aspect of reinforcement of non-autoclave cellular concrete based on nanostructured binder. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova*. 2013. No. 1, pp. 33–36. (In Russian).
 11. Cherevatova A.V., Burianov A.F., Zhernovsky I.V., Kozhukhova N.I., Alekhin D.A. Features of complex structure formation in composite gypsum-silica binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 11, pp. 12–16. (In Russian).
 12. Kozhukhova N.I., Voitovich E.V., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Alekhin D.A. Heat-resistant cellular materials on the basis of composite gypsum-silica binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 65–69. (In Russian).
 13. Zhernovsky I.V., Cherevatova A.V., Voitovich E. V., Kozhukhova N.I., Evtushenko E.I. High-temperature phase transformations in CaO-SO₃-SiO₂-H₂O system with nanosized component. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. Vol. 11. No. 12, pp. 7732–7735.
 14. Danakin D.N., Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Veprik A.A. Cellular geopolymer concrete – new material for green construction. *«Interdisciplinary approaches in material science and technology. Theory and practice»*. *Proceedings of All-Russian meeting of head of department of material science and material technology*. Belgorod. 2015, pp. 102–110. (In Russian).
 15. Bondareva E.N., Kozhukhova M.I., Kozhukhova N.I., Prospective of geopolymer based cellular material synthesis. *Proceedings of International Research-to-Practice Conference «Source- and energy-saving technologies in construction complex of the region»*. Saratov: SGTU. 2014, pp. 31–33. (In Russian).
 16. Bondareva E.N., Kozhukhova N.I., Fomina E.V. Design of cellular concrete based on alkali-activated binder. *Proceedings of International Research-to-Practice Conference of Young Scientists from BSTU named after V.G. Shukhov*. Belgorod. 2014, pp. 94–97. (In Russian).
 17. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V. Geopolimernoe vyazhushcheye i beton na o snove zol-unosa TES [Geopolymer binder and concrete based on fly ashes from power plants]. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. 2015 183 p.
 18. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Fomina E.V. Phase formation in geo-polymer systems on the basis of fly ash of Apatity TPS. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 12, pp. 85–88. (In Russian).

Г.В. КУЗНЕЦОВА, инженер (Kuznetzowa.gal@yandex.ru), Н.Н. МОРОЗОВА, канд. техн. наук, Л.И. ПОТАПОВА, канд. хим. наук, В.В. КЛОКОВ, студент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

Комплексная добавка для автоклавного газобетона

В технологии автоклавного газобетона важными характеристиками являются подвижность смеси, кинетика гидратации известково-цементного вяжущего, процесс вспучивания, время созревания массива и автоклавная прочность. Приводятся результаты исследования влияния комплексных добавок на основе гидросиликатов из отходов производства силикатного кирпича, суперпластификатора, сульфатов природного происхождения (гипсовый камень) и содосульфатной смеси (СССм), как самостоятельно каждого компонента, так и в комплексе, на известь, цемент, ячеисто-бетонную смесь и автоклавный бетон. Наибольшим коэффициентом замедления гидратации извести обладает добавка С-3, а среди сульфатов – гипсовый камень. Гидросиликаты самостоятельно не изменяют сроки схватывания цемента. Комплексы в количестве 5% гидросиликатов с пластификатором и гидросиликатов, сульфатов и пластификатора замедляют конец схватывания, а в количестве 10% уменьшают и время начала схватывания. Результативность комплекса на сульфатах природного происхождения и содосульфатной смеси в количестве 5% установлена по температуре, подвижности ячеисто-бетонной смеси и автоклавной прочности газобетона D600. Получен прирост прочности до 23%.

Ключевые слова: газобетон, силикатный кирпич, добавка, гидросиликат, пластификатор, сульфаты.

Для цитирования: Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Потапова Л.И., Клоков В.В. Комплексная добавка для автоклавного газобетона // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 36–39.

G.N. KUZNETSOVA, Engineer(Kuznetzowa.gal@yandex.ru); N.N. MOROZOVA, Candidate of Sciences (Engineering), L.I. POTAPOVA, Candidate of Sciences (Chemistry), V.V. KLOKOV, Student
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaa Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

A Complex Additive for Autoclaved Concrete

In the technology of the autoclaved gas concrete, important characteristics are mix fluidity, hydration kinetics of lime-cement binder, swelling process, curing time of mass concrete, and autoclaved strength. Results of the study of the effect of complex additives on the basis of hydro-silicates from waste of silicate brick production, superplasticizers, sulfates of natural origin (gypsum stone), and soda-sulfate mixture both for each component independently and in complex on the lime, cement, cellular-concrete mix, and autoclaved concrete are presented. An additive S-3 and gypsum stone among sulfates possess the greatest retardation coefficient of lime hydration. Hydro-silicates don't change the time of cement setting separately. Complexes containing 5% of hydro-silicates with plasticizer and hydro-silicates, sulfates and plasticizer retard the end of setting, and in an amount of 10% retard also the time of setting beginning. The efficiency of the complex with sulfates of natural origin and soda-sulfate mixture in an amount of 5% is established according to the temperature, fluidity of the cellular-concrete mixture and autoclaved strength of the gas concrete D600. The increase in strength by up to 23% has been obtained.

Keywords: gas concrete, silicate brick, additives, hydrosilicate, plasticizer, sulfates.

For citation: Kuznetsova G.N., Morozova N.N., Potapova L.I., Klokov V.V. A Complex Additive for Autoclaved Concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 36–39. (In Russian).

В технологиях современных бетонов применение комплексных добавок на основе суперпластификаторов позволяет получать изделия с требуемыми свойствами. Применение суперпластификаторов в мелкозернистых бетонах из смесей с высокой подвижностью особенно эффективно, так как позволяет получить высокую прочность и низкую проницаемость материалов [1]. Одним из путей увеличения эффективности ячеистых бетонов является применение минеральных наполнителей в сочетании с суперпластификаторами и гидросиликатами из отходов производства. Поэтому целью работы стало исследование влияния комплексных добавок на основе суперпластификаторов, минеральных наполнителей и гидросиликатов из отходов производства на гидратацию компонентов смеси и прочность ячеистого бетона автоклавного твердения.

При производстве силикатных стеновых материалов образуется достаточно большое количество отходов в виде боя силикатного кирпича, подрезного слоя и обратного шлама в технологии автоклавного газобетона. Каждое производство решает ликвидацию отходов по-своему. Один из вариантов – использование их в виде добавок.

Составы отходов кирпича и газобетона при кажущейся одинаковой природе несколько отличаются [2], поэтому для установления их различий были сняты ИК-спектры (рис. 1, 2).

Из рис. 1 видно, что основу составляет неравномерно окристаллизованная смесь гидросиликатов кальция, близкая по составу к гилебрандиту в сочетании с гидрولитом, окенитом и ксонотлитом.

Анализ ИК-спектра (рис. 2) показывает, что основные полосы относятся к валентным связям кремния с кислородом и водорода с кислородом. Существенным отличием ИК-спектров является появление полос в области 712 см^{-1} и полосы 858 см^{-1} , полосы в области 1420 и 1453 см^{-1} и смещение полосы 1627 см^{-1} . Перестройка в области $900\text{--}1200\text{ см}^{-1}$, 778 и 800 см^{-1} относится к колебаниям связей Al–OH и Si–O–Al соответственно. Увеличение интенсивности этих колебаний, а также полосы 858 см^{-1} и полосы 1465 см^{-1} служат основанием для подтверждения изменения характера связей в группах с Al и Si.

Задача повышения прочности ячеистого материала актуальна всегда. Введение для этой цели гидросиликатов из отходов производства силикатного кирпича более эффективно по сравнению с отходами газобетона [2], так как последние повышают водопотребность смеси [3].

Производство ячеистого бетона автоклавного твердения связано с использованием широкого спектра сырьевых компонентов и составов, существенно отличающихся друг от друга по свойствам. В РФ производство газобетона основывается на использовании цементно-

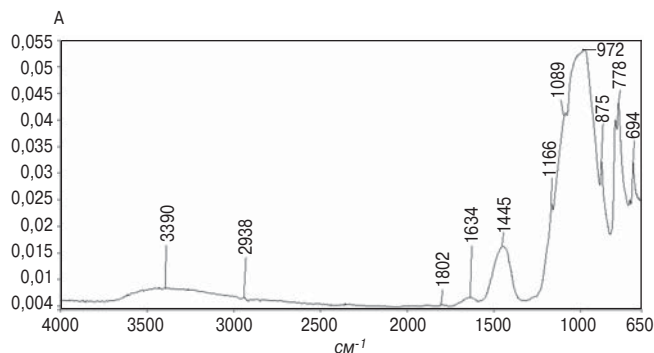


Рис. 1. ИК-спектр отходов кирпича

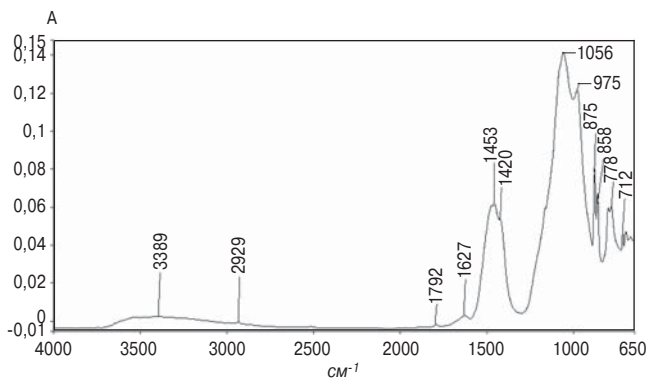


Рис. 2. ИК-спектр отходов газобетона

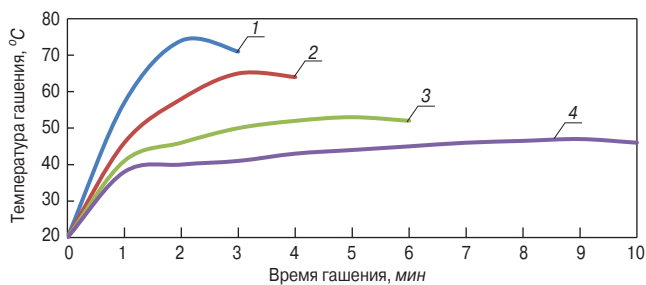


Рис. 3. Влияние добавки СССМ на параметры гашения извести: 1 – известь А=71%; 2 – количество добавки СССМ 2%; 3 – количество добавки СССМ 4%; 4 – количество добавки СССМ 8%

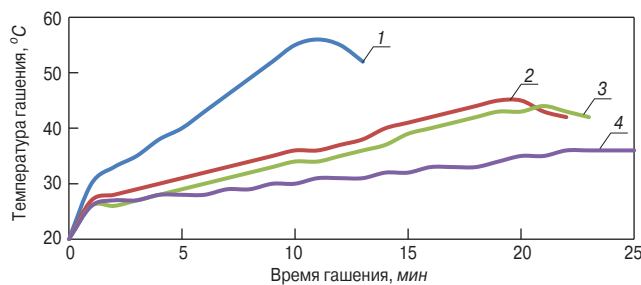


Рис. 4. Влияние гипсового камня на параметры гашения извести: 1 – известь; 2 – известь + 1% ГК; 3 – известь + 2% ГК; 4 – известь + 3% ГК

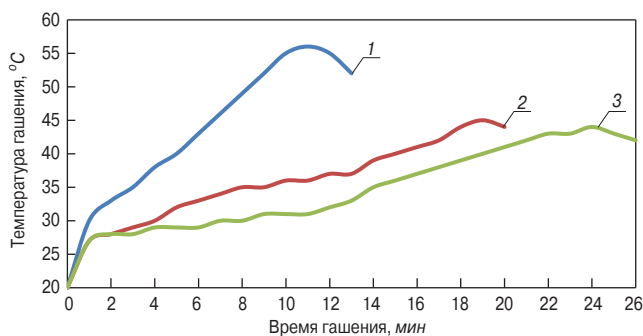


Рис. 5. Влияние суперпластификатора С-3 на параметры гашения извести: 1 – известь; 2 – известь + 0,5% С-3; 3 – известь + 1,5% С-3

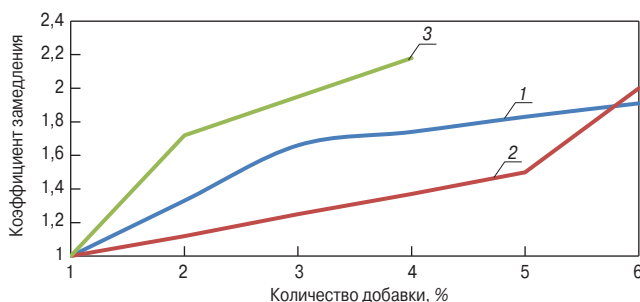


Рис. 6. Коэффициент замедления гидратации извести с добавками: 1 – ГК; 2 – СССМ; 3 – С-3

известкового вяжущего [4]. В технологии газобетона на смешанном вяжущем считается, что цемент необходим в качестве структуроформирующего компонента в до-автоклавный период твердения [5].

Опыт применения добавок в бетон показывает, что во многих случаях наиболее эффективными являются комплексные добавки. Основное преимущество многокомпонентных добавок в полифункциональности. Применение пластифицирующих добавок позволяет не только значительно повысить подвижность бетонных и растворных смесей, но и замедлить твердение цемента или вызвать недопустимое снижение прочности бетона. Наиболее популярный в России суперпластификатор С-3 является натриевой солью нафталиновой сульфокислоты [6].

Авторами [7] было установлено, что введение 5% С-3 от массы извести в газосиликатную смесь приводит к замедлению гидратации в два раза, а 10% – в 11,5 раз. Известно, что ускорителями твердения являются нитрат натрия и полупродукт его производства, имеющий в своем составе необходимые химические соединения, например содосульфатная смесь (СССМ). Химический состав СССМ: $\text{Na}_2\text{SO}_4 - 71\%$; $\text{Na}_2\text{O} - 3,9\%$;

$\text{Al}_2\text{O}_3 - 2,7\%$; $\text{Na}_2\text{CO}_3 - 22,4\%$. Именно содержание сульфата натрия и соды указывает на возможность использования этого материала в качестве ускорителя твердения газобетона [6].

Первоначально выполнены исследования влияния СССМ и гипсового камня (ГК) на гашение извести. Результаты представлены на рис. 3 и 4.

Добавка СССМ снижает температуру и увеличивает время гашения извести. Подобная картина наблюдается и при введении в известь ГК.

Как видно из результатов исследования, большее снижение температуры гашения извести наблюдается при равных дозировках сульфатов при введении ГК.

В качестве водоредуцирующего компонента комплексной добавки был выбран суперпластификатор С-3, действие которого на гашение извести схоже с ГК и СССМ. Результаты представлены на рис. 5.

Эффективность монодобавок по отношению к извести оценивали по коэффициенту замедления, рассчитываемого как отношение времени гашения извести с добавкой к времени гашения извести без добавки (рис. 6).

В результате наибольшим замедлением обладает добавка С-3, а среди сульфатов гипсовый камень. Добав-

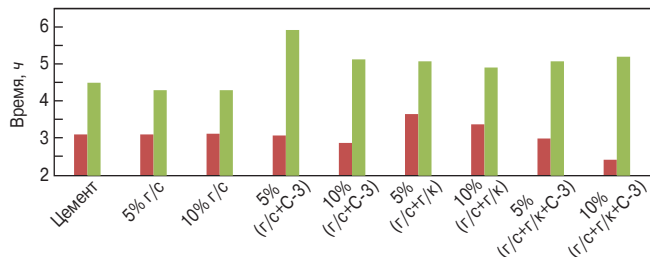


Рис. 7. Влияние гидросиликатов в сочетании их с сульфатами и пластификатором на сроки схватывания портландцемента: ■ – начало схватывания; ■ – конец схватывания

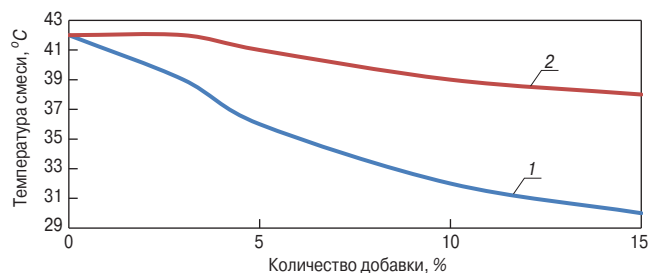


Рис. 9. Влияние комплексной добавки на температуру смеси: 1 – Тсм K-1; 2 – Тсм K-2

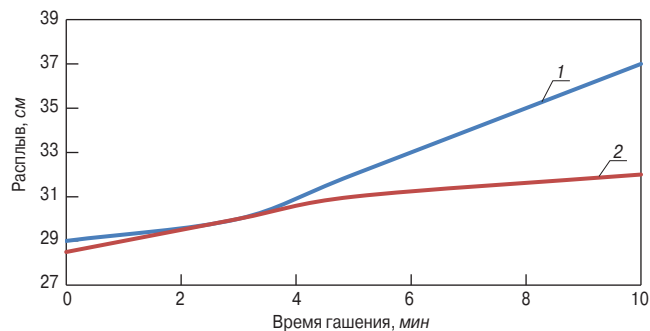


Рис. 8. Влияние комплексной добавки на подвижность смеси: 1 – K-1; 2 – K-2

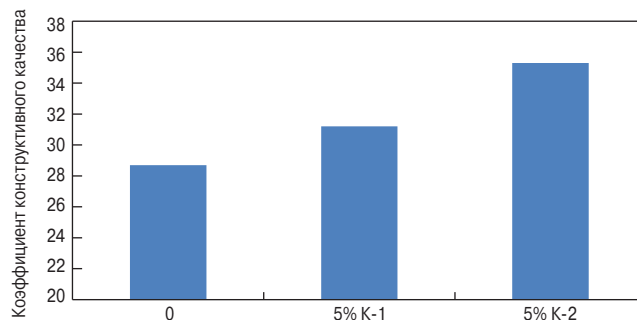


Рис. 10. Влияние комплексных добавок на автоклавную прочность

ка СССм имеет меньший коэффициент замедления по сравнению ГК на 20–25%.

На формирование макроструктуры газобетона существенное влияние оказывают сроки схватывания ячеистой формовочной смеси. Поскольку структуроформирующим компонентом на ранних сроках твердения в газобетоне является портландцемент, гидросиликаты кальция могут служить центрами кристаллизации.

С этой точки зрения проведено исследование зависимости сроков твердения портландцемента от количества добавки, состоящей из гидросиликатов в сочетании с сульфатами и пластификатором. Измерение проводили по стандартной методике с использованием прибора Вика. Результаты представлены на рис. 7.

Как видно из результатов, гидросиликаты не изменяют сроки схватывания портландцемента. Комплекс из гидросиликатов с добавкой пластификатора (г/с+С-3) в количестве до 5% не влияет на начало схватывания, но замедляет конец, а 10% такой добавки уменьшает время схватывания. Сочетание гидросиликата с гипсовым камнем (г/с+г/к) замедляет начало и конец схватывания портландцемента, а дополнительное введение добавки суперпластификатора (г/с+г/к+С-3) ускоряет начало и замедляет конец схватывания.

Результаты позволяют предположить, что часть пластификатора адсорбируется поверхностью гипса, при этом доля реакционноспособного гипса и способной к адсорбции пластифицирующей добавки снижается. Данное предположение было подтверждено исследованиями [7] в газобетонной смеси с гипсом и пластификатором.

С целью установления возможности применения комплексной добавки для ячеисто-бетонной смеси и исследования ее влияния на температурные, вязкопластичные и прочностные свойства были приготовлены образцы газобетона. В качестве исследуемых рассмотрены комплекс К-1, состоящий из гидросиликатов, гипсового камня и пластификатора С-3, и комплекс К-2, в котором гипсовый камень заменен на СССм.

Ячеисто-бетонную смесь марки D600 готовили по литьевой технологии на смешанном вяжущем при отношении кремнеземистого компонента к вяжущему $S=1,5$. Для приготовления смеси выбран портландцемент ЗАО «Жигулевскцемент», который позволяет получить наиболее высокую температуру массива и сократить время его созревания, тогда как цементы производителей ОАО «Вольскцемент» и ОАО «Мордовцемент» в составе вяжущего позволяют получить температуру массива на 12–16°C ниже [8]. В качестве реологической характеристики замерялась текучесть смеси, которую определяли по расплыву Суттарда. Температуру смеси замеряли после заливки в форму. Добавка вводилась с песком. Результаты представлены на рис. 8 и 9.

Как видно из рис. 8, обе добавки увеличивают подвижность смеси, но наибольшее разжижение достигается при применении добавки К-1, которая больше снижает температуру смеси (рис. 9). Согласно требованиям инструкции СН 277-80 температура смеси по литьевой технологии должна быть не менее 35°C. Поэтому были залиты образцы газобетона D600 с добавками К-1 и К-2 в количестве 5%. Из приготовленной смеси заливали образцы-кубы с размером 10×10×10 см.

Смесь вспучивалась с образованием горбушки, которую после созревания срезали. Через 1 сут нормального твердения формы раскрывали и образцы подвергали автоклавной обработке при давлении 1,2 МПа. Результаты оценивали по коэффициенту конструктивного качества, которые представлены на рис. 10.

Из рис. 10 видно, что разработанная комплексная добавка эффективна в газобетонных смесях D600. Прирост прочности после автоклавной обработки составил 19–23%.

Таким образом, техническая эффективность применения гидросиликатов и содосульфатной смеси в качестве комплексной добавки очевидна. Их применение в газобетоне предопределяет и экономическую эффективность, учитывая возможность снижения цикла запаривания при получении равнопрочных бетонов.

Список литературы

1. Морозов Н.М., Мугинов Х.Г., Красиникова Н.М., Гайфуллин Н.Э. Мелкозернистые бетоны с комплексными упрочняющими добавками. *Техническая наука: теория и практика. Материалы Международной научной конференции*. Чита: Молодой ученый. 2012. С. 108–1112.
2. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Клоков В.В., Зигангараева С.Р. Силикатный кирпич и автоклавный газобетон с использованием отходов собственного производства // *Строительные материалы*. 2016. № 4. С. 76–80.
3. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Подрезной слой и гидрофобизатор в производстве газобетона // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 8–10.
4. Дидевич А.В. Автоклавный газобетон: и это все о нем // *Технология бетонов*. 2014. № 3. С. 48–51.
5. Нелюбова В.В., Строкова В.В., Алтынник Н.И. Ячеистые композиты автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 44–47.
6. Кашапов Р.Р., Красиникова Н.М., Хозин В.Г., Галеев А.Ф., Шамсин Д.Р. Комплексная добавка на основе содосульфатной смеси // *Известия КГАСУ*. 2015. № 2. С. 239–243.
7. Бедарев А.А. Влияние пластифицирующих добавок на температурные и вязко-пластичные свойства силикатной смеси для производства газосиликата // *Известия КГАСУ*. 2013. № 2. С. 208.
8. Морозова Н.Н., Кузнецова Г.В., Голосов А.К. Влияние цемента разных производителей на свойства ячеисто-бетонной смеси автоклавного газобетона // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 49–51.

References

1. Morozov N.M., Muginov Kh.G., Krasinikova N.M., Gayfullin N.E. Fine concretes with the complex strengthening additives. *Technical science: theory and practice. Materials of the International scientific conference*. Chita: Molodoy uchenyi. 2012, pp. 108–1112. (In Russian).
2. Kuznetsova G.V., Morozova N.N., Klovov V.V., Zigangaraeva S.R. Silicate Brick and Autoclaved Gas Concrete with the Use of Waste of Own Production. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 4, pp. 76–80. (In Russian).
3. Kuznetsova G.V., Morozova N.N., Khozin V.G. Facing Layer and Hydrophobizator in Manufacture of Aerated Concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 8, pp. 8–10. (In Russian).
4. Didevich A.V. Autoclave aerocrete: and all this about it. *Tekhnologiya betonov*. 2014. No. 3, pp. 48–51. (In Russian).
5. Nelyubova V.V., Strokovaya V.V., Altynnik N.I. Cellular Autoclaved Composites with Application of Mamostructured Modifier. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 44–47. (In Russian).
6. Kashapov R.R., Krasinikova N.M., Khozin V.G., Galeev A.F., Shamsin D.R. Complex additive on the basis of sodosulfatny mix. *Izvestiya KGASU*. 2015. No. 2. pp. 239–243. (In Russian).
7. Bedarev A.A. Influence of plasticizing additives on temperature and viscoplastic properties of silicate mix for production of gas-silicate. *Izvestiya KGASU*. 2013. No. 2, pp. 208. (In Russian).
8. Morozova N.N., Kuznetsova G.V., Golosov A.K. Influence of Cements from Different Producers on Properties of Cellular-Concrete Mix of Autoclaved Gas Concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 49–51. (In Russian).

Лауреаты Премии имени И.А. Гришманова



Одним из первых лауреатов Премии им. И.А. Гришманова, учрежденной Российской инженерной академией в 2016 г., в номинации «За многолетний труд и заслуги в области промышленности строительных материалов и строительной индустрии» стал **Георгий Романович БУТКЕВИЧ**, канд. техн. наук, почетный член Академии горных наук, Почетный строитель России, научный руководитель ассоциации «Недра», ученый секретарь ФГУП «ВНИПИИИстромсырье», член редакционного совета научно-технического и производственного журнала «Строительные материалы»®.

Действительно, заслуги Георгия Романовича в отрасли трудно переоценить – в 2017 г. исполняется 60 лет с момента начала трудовой деятельности после окончания Московского горного института. О вкладе в отечественную науку свидетельствуют более 230 публикаций, 20 изобретений и патентов, более 50 статей в газетах.

Редакция и редакционный совет журнала «Строительные материалы»® поздравляют Георгия Романовича Буткевича с почетной наградой и желают творческих успехов, крепкого здоровья и благополучия!

От идеи к воплощению.

Российские газообразователи для производства газобетона

Расширение применения автоклавного газобетона в жилищном строительстве обуславливает появление новых модификаций этого материала и дальнейшее совершенствование технологии его изготовления. В основе стратегии группы компаний «НСК» лежит необходимость создания комплексных решений в плане компонентного состава для заводов-изготовителей в соответствии с особенностями применяемого ими технологического процесса. Именно такой подход позволяет обеспечить стабильно высокое качество выпускаемой газобетонной продукции при снижении производственных затрат и расширении ассортимента перечня.

Все началось в далеком 2006 г., когда компания «НСК-ТЕК» при активном участии Института органического синтеза им. И.Я. Пастера РАН создала несколько опытных партий специализированных газообразователей на основе алюминиевой пудры ПАП-1, обработанной комплексной органической добавкой. Новые материалы прошли успешную апробацию на площадке Рефтинского объединения «ТЕПЛИТ». Их внедрение и применение стало важным шагом в производстве отечественного газобетона, поскольку использование в качестве газообразователя традиционных пудр ПАП-1 и ПАП-2 существенно ограничивало поиск оптимальных составов ячеисто-бетонной смеси, режимов заливки и формования. Специализированные газообразователи, предлагаемые «НСК», быстро завоевали при-

знание потребителей. На протяжении пяти лет с 2007 по 2012 г. спрос на них более чем вдвое опережал рост производства самого газобетона.

За последующие годы в рамках программы «Российские алюминиевые газообразователи», намеченной и последовательно реализуемой группой компаний «НСК», существенно расширился ассортимент предлагаемой продукции под общей торговой маркой ГАЗОБЕТО®. Уникальность этих материалов заключается в возможности применения и адаптации к производству газобетона различной плотности (350–700 кг/м³) с учетом требований заводов-изготовителей. Например, Газобетолит и Газобето+500 применяются для производства блоков плотностью D500–600. Для выпуска газобетона плотностью D400 используются марки Газобетолюкс и Газобето+400. Газообразователи марок Газобетопласт (500 кг/м³) и ГазобетоПЛЮС (400–500 кг/м³) предлагаются потребителям с особенностями производства или используемого компонентного состава, что в целом дает возможность и им сократить производственные издержки при изготовлении газобетона и снизить его себестоимость без ущерба для качества. Выпуск всех этих марок стал возможен благодаря внедрению новых технологических решений, придающих продуктам характеристики, стабилизирующие процесс выделения водорода.

По совокупности свойств газообразователи ГАЗОБЕТО® являются наиболее адаптированными к осо-

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ ГАЗООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

марок

ГАЗОБЕТО®

- разработаны специально для производства газобетона
- дифференцированы по маркам в зависимости от требуемой плотности
Газобетолит, Газобетопласт, Газобето+500 - для 500-700 кг/м³
Газобетолюкс, ГазобетоПЛЮС, Газобето+400 - для 350-450 кг/м³
- отличаются пониженным пылением
- не требуют обработки ПАВ
- характеризуются высокой степенью стабильности по содержанию активного Al и кинетике газовыделения



+7 (343) 373-45-20, 373-45-21

www.nsktek.ru, nsk@nsktek.ru

Реклама

бенностям различных (не всегда высококачественных) сырьевых компонентов, используемых при производстве газобетона, что выгодно отличает их от зарубежных аналогов за счет длительных сроков хранения (1 год) и высокой активности. Каждая партия материала сопровождается сертификатами качества, в которые включены необходимые для заводских технологов характеристики: кинетика газовыделения, гранулометрический состав, содержание активного алюминия, смачиваемость.

В основе успешного продвижения газообразователей ГАЗОБЕТО® лежит постоянная кропотливая работа специалистов научно-исследовательского центра группы компаний «НСК». Была разработана эффективная методика оценки кинетики газообразования, активно применяется экспресс-методика оценки степени пыления. В 2013 г. в сотрудничестве со специалистами НПП «Геосфера» создан прибор Кальциметр манометрический марки КМ-03АМ, применение которого позволило повысить точность измерений при определении массовой доли активного алюминия и кинетики выделения водорода в газообразователях и исключить пресловутый «человеческий фактор».

Внимание к проблемам, возникающим у заводов-изготовителей газобетона, наличие обратной связи позволяют оперативно реагировать на поступающие запросы потребителей и текущие требования рынка. Так, в 2012–2013 гг. по инициативе ПСО «ТЕПЛИТ» была проведена НИОКР по выпуску газообразователя для газобетона плотностью D350, показавшего в производственных испытаниях хорошие результаты. В продолжение этих исследований намечено проведение комплексных исследований по созданию газообразователя для газобетона плотностью D200 совместно со специалистами фирмы Eckart.

Другое направление творческого поиска связано с созданием серии специализированных пластифицирующих добавок для газобетона. В настоящее время активно проводятся испытания нового продукта и уже сейчас видны первые результаты этой работы: добавка к пасте Газобетолит исключает появление внутренних дефектов в газобетоне с повышенной прочностью (600–700 кг/м³).

Несмотря на спад в строительной отрасли, возрастающую конкуренцию на рынке специализированных газообразователей, группа компаний «НСК» за два последних года стабильно держала заданную планку в своем развитии. Сохранены связи со всеми предприятиями – многолетними партнерами компании, дополнительно к этому ряд российских предприятий, желающих сократить издержки и увеличить безопасность производства, был переведен на использование специализированных продуктов. В настоящее время более трети всех заводов по производству автоклавного газобетона в России используют для выпуска своей продукции газообразователи ГАЗОБЕТО®. В Казахстане этот показатель еще более значительный и составляет порядка 85%. Таким образом, группа компаний «НСК» по праву удерживает первое место на рынке специализированных газообразователей России и Казахстана.

Постоянно работая над качеством, совершенствуя производство и технологии внедрения, группа компаний «НСК» уверенно смотрит в будущее и делает реально-стью новые технические решения, востребованные конечными потребителями.

С.Б. Прохоров,

директор группы компаний «НСК» (Екатеринбург)



НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

22-24 ноября 2017 г. Екатеринбург

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СОВРЕМЕННЫЙ АВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН



Соорганизатор



ТЕПЛИТ

Генеральный спонсор компания



WEHRHANN

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

Оптимизация матричной структуры при производстве газобетона с пониженным содержанием цемента благодаря методу двухступенчатого перемешивания

Бетон – один из самых широко распространенных строительных материалов в мире. В последнее время благодаря росту индустриализации и усилению урбанизации годовые объемы потребления бетона достигают гигантских размеров, прежде всего в так называемых странах с переходной экономикой. С увеличением производства бетона растет расход цемента. Выбросы углекислого газа в атмосферу вследствие производства цемента по всему миру составляют более 7% от общего количества выбросов диоксида углерода. При производстве всего лишь 1 т цемента выделяется 700–800 кг CO₂.

Мировое сообщество прилагает значительные усилия, чтобы в условиях постоянно растущего спроса на бетон при производстве строительных материалов, с одной стороны, использовались новые цементные смеси и/или добавлялись новые вяжущие, а с другой стороны, сокращалось загрязнение атмосферы выбросами CO₂.

Не только в научных учреждениях и профильных институтах, но и на предприятиях промышленности строительных материалов проводятся исследования, посвященные разработке технологий производства строительных материалов с малым или пониженным содержанием цемента.

По всему миру ежегодно производится около 20 млн м³ газобетона. Средний расход цемента на 1 м³ газобетона составляет около 100 кг, что соответствует выбросу 1,5 млн т CO₂.

В рамках борьбы с глобальным потеплением производители газобетона стремятся разрабатывать и внедрять технологии, обеспечивающие рациональное использование сырьевых ресурсов и сокращение выбросов CO₂ в атмосферу.

Фирма МАЗА ГмбХ в последние годы также занималась разработкой инноваций, которые позволили бы сократить долю цемента в рецептуре производства газобетона. На основе актуальных исследований и результатов,

полученных после внедрения соответствующих технологических изменений на практике, фирма МАЗА ГмбХ успешно воплотила в жизнь режим двухступенчатого перемешивания (DMB-Technik), который все чаще используется в производстве бетонов по немецкому стандарту DIN EN 206.

Режим двухступенчатого перемешивания – новая двухэтапная система, разработанная для технологии бетонного производства. На первом этапе в высокомоощном суспензионном смесителе с большим числом оборотов изготавливается цементное тесто и/или тесто

из других вяжущих, которое на втором этапе перемешивается с остальными составляющими смеси (рис. 1).

На первом этапе благодаря большим скоростям вращения смесительных инструментов (600–1400 об/мин) и их специальной конструкции суспензия подвергается относительно высоким сдвиговым усилиям. В зависимости от свойств используемых минеральных компонентов и итоговой вязкости суспензионной смеси происходит более или менее сильная активация поверхностей составляющих минеральных компонентов суспензии.

Высокая частота вращения смесительных инструментов и возникающая вследствие этого сдвиговая нагрузка обуславливают взаимодействие частиц цемента в смесителе с последующей активацией их контактных поверхностей. Различают следующие виды взаимодействия:

- трение частиц между собой;
- столкновение с вращающимися смесительными инструментами;
- удары о стенки смесителя.

Описанные процессы влекут за собой дробление частиц и образование все более мелких продуктов расщепления, в том числе наноразмерных частиц, которые могут способствовать значительному росту энергии активации, сообщаемой дисперсной системе.

Финальное качество цементной матрицы, обеспечиваемое активацией посредством возможных взаимодействий цементных частиц в высокоскоростном суспензионном смесителе, зависит не только от сдвиговой



Рис. 1. Суспензионный смеситель на газобетонном заводе



Рис. 2. Экспериментальный смеситель объемом 100 л



Рис. 3. Экспериментальный смеситель в лаборатории фирмы МАЗА ГмбХ



Рис. 4. Подготовка к опыту



Рис. 5. Первое изделие с пониженным содержанием цемента

нагрузки, коррелирующей с вязкостью текучих компонентов, но и от продолжительности процесса перемешивания.

На основании проведенных исследований было установлено, что повышение температуры суспензии, свидетельствующее об активации цементной матрицы, происходит только при наличии соответствующей минимальной концентрации доли цемента.

Отсюда следует вывод, что повышение температуры суспензии, зафиксированное на этапе активации, обусловлено в первую очередь не гидратацией цементных частиц, а их взаимодействиями во время сдвиговой нагрузки.

Исходя из данных предпосылок фирма МАЗА ГмбХ поставила в своей лаборатории ряд опытов по производству бетона с пониженным содержанием цемента. Оптимизация цементной матрицы достигалась посредством предварительного перемешивания цементного теста в экспериментальном суспензионном смесителе (рис. 2, 3).

Опыты с экспериментальным смесителем показали, что с учетом качества имеющегося сырья возможны значительная оптимизация рецептур и максимальное сокращение количества цемента (рис. 4–6).

Значительные преимущества данного метода

1. Помимо перечисленных выше преимуществ, благодаря сочетанию традиционной технологии газобетонного производства и суспензионного перемешивания достигнуто некоторое улучшение показателей прочности производимого газобетона, несмотря на сокращение доли цемента в рецепте.

2. Для внедрения режима двухступенчатого перемешивания на существующих и строящихся газобетонных заводах не требуется значительных финансовых инвестиций.

3. При использовании режима двухступенчатого перемешивания в производстве газобетона снизится потребность в цементе, что позволит сократить загрязне-

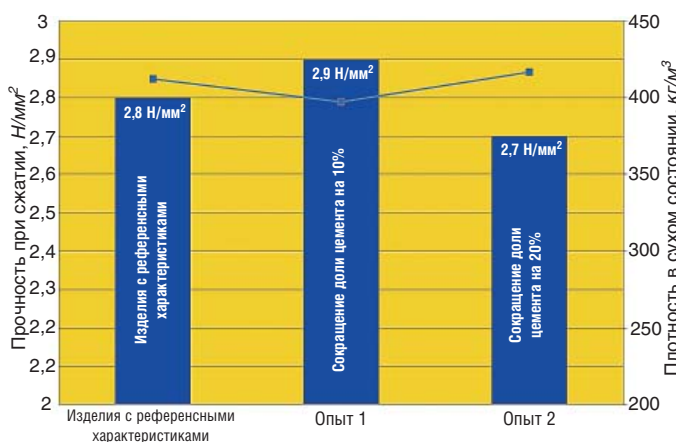


Рис. 6. Результаты лабораторных опытов. Изделие с референсными характеристиками получено без активации и без сокращения количества цемента. Опыты 1 и 2 позволили сократить количество цемента и активацию

ние окружающей среды, в частности значительно уменьшить выбросы CO₂.

4. Уменьшение доли цемента в рецепте на около 15% не оказывает негативного влияния на заданные прочностные характеристики готовой продукции, что подтверждено не только в ходе лабораторных опытов, но и в процессе производства на одном из немецких газобетонных заводов, дооснащенном подобной смесительной установкой (рис. 1).

После успешного внедрения метода двухступенчатого перемешивания в производство газобетона с пониженным содержанием цемента фирма МАЗА ГмбХ готова предложить своим клиентам по всему миру соответствующее оборудование и технологию, эффективную как с экологической, так и с экономической точки зрения.

Г. Розенлехер, д-р ест. наук,
О. Штрототте, дипл. инженер,
М. Кларе, дипл. инженер

masa

Milestone to your success.

Masa GmbH

Osterkamp 2
32457 Porta Westfalica / Germany
Phone: +49 5731 680-0
Fax: + 49 5731 680-183
E-mail: info@masa-group.com
www.masa-group.com

МАЗА-Москва

Ср. Тишинский пер., 28, оф. 220
123557, Москва / Россия
Тел.: +7 495 232 51 27
Факс: + 7495 232 51 28
E-mail: info@masa.ru
www.masa-group.com

masa

Milestone to your success.

Наши решения – Ваш успех



www.masa-group.com

Фирма «Маза» предлагает отдельные машины и участки производственных линий, а также установки «под ключ» для промышленного производства строительных материалов: мелкоформатных бетонных изделий, бордюрного камня, декоративных плит мощения, силикатного кирпича, газобетонных изделий.

Фирма «Маза» осуществляет разработку индивидуальных технических решений, проектирование, изготовление оборудования, его монтаж и ввод в эксплуатацию. Наш Клиент сможет оценить все преимущества работы с поставщиком, производителем и ответственным партнером в одном лице.

Masa GmbH
Masa-Str. 2
56626 Andernach
Germany
Phone +49 2632 9292 0
Service Hotline +49 2632 9292 88

Masa GmbH
Werk Porta Westfalica
Osterkamp 2
32457 Porta Westfalica
Germany
Phone +49 5731 680 0

Маза-Москва
Ср. Тишинский пер., 28, офис 220
123557 РФ, Москва
Тел. +7 495 23251 27
Факс +7 495 23251 28
info@masa.ru

info@masa-group.com
service@masa-group.com
www.masa-group.com

Masa - made in Germany.



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.



FONDATA 1729

Villa Zarri

Via Ronco, 1 - 40013 Castel Maggiore (Bo) Italy

by



Ceramicanda

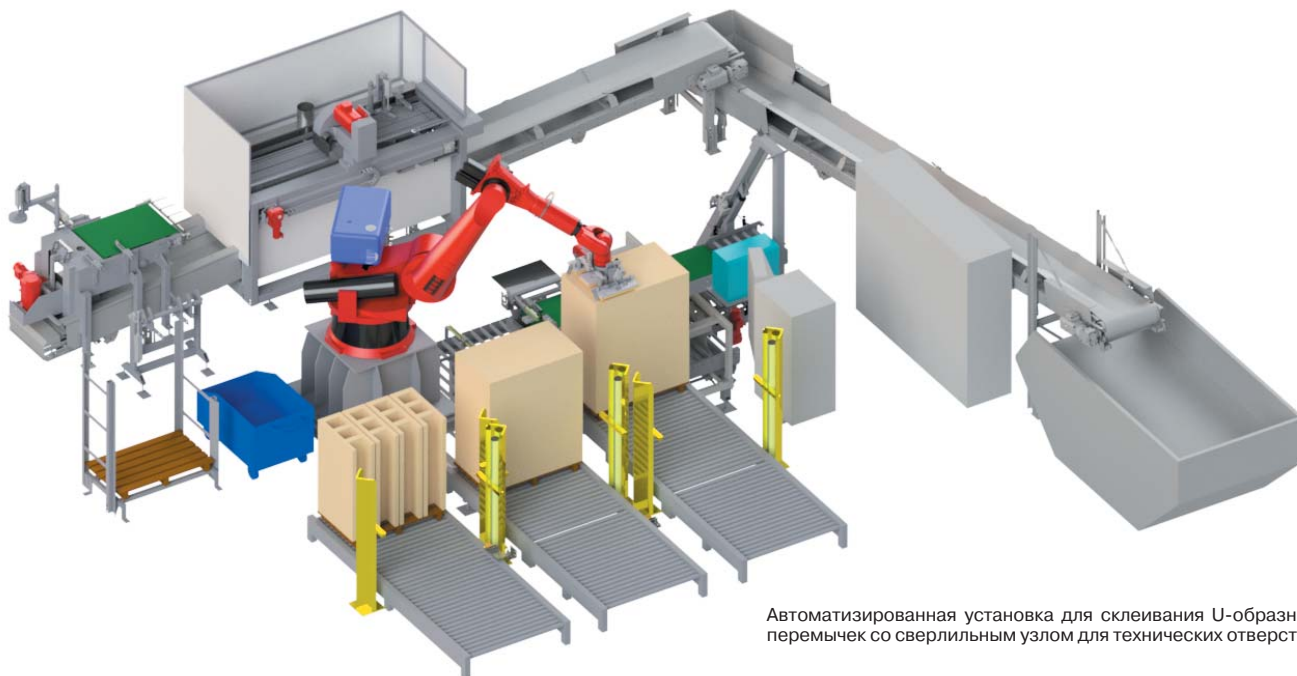
Via De Amicis, 4 - 42010 Veggia di Casalgrande (RE)

Tel.: +39 0536.990323 fax: +39 0536.990402

E-Mail: redazione@ceramicanda.com

Технология производства U-образных перемычек и просверливания ячеистого бетона компании WKB Systems GmbH

Разработка WKB Systems GmbH ускорила и удешевила строительный процесс. Кроме того, ее внедрение позволило производителям открыть новые рынки сбыта.



Автоматизированная установка для склеивания U-образных перемычек со сверильным узлом для технических отверстий

Фирма WKB Systems GmbH разработала, смонтировала и запустила в эксплуатацию автоматизированную линию для производства U-образных перемычек и просверливания блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения. Отверстия в блоках используются для вывода армированных сердечников и укладки коммуникационных линий. Это гарантирует быстроту, экономичность и стабильность строительного процесса.

Стимулом для разработки данной инновационной установки специалистам фирмы WKB Systems GmbH послужил высокий спрос на эффективные стройматериалы. Первая такая линия была установлена на заводе немецкого производителя в 2011 г.

Автоматизированная установка склеивания U-образных перемычек со сверильным узлом фирмы WKB Systems GmbH открывает производителю новые рынки сбыта и позволяет быстро реагировать на развитие рынка строительных материалов.

U-образные перемычки применяются в строительстве для устройства оконных и дверных проемов. Блоки из ячеистого бетона с отверстием используются для прокладки арматуры и различных коммуникационных линий.

Разработка проста в эксплуатации, и ее внедрение не требует высоких затрат. Основными составляющими новой разработки WKB являются пила, узел склеивания и сверильный узел. Робот принимает блок ячеистого бетона с



Плиты склеиваются в форме прочной U-образной перемычки специальным клеем





Готовые U-образные перемычки



Заготовки – блоки ячеистого бетона

поддона и подает его на участок распила. Здесь пила разделяет блок на плиты подходящего размера. Затем на узле склеивания плиты соединяются в форме прочной U-образной перемычки с помощью специального клея. В заключение робот принимает готовую перемычку и размещает ее на деревянный поддон.

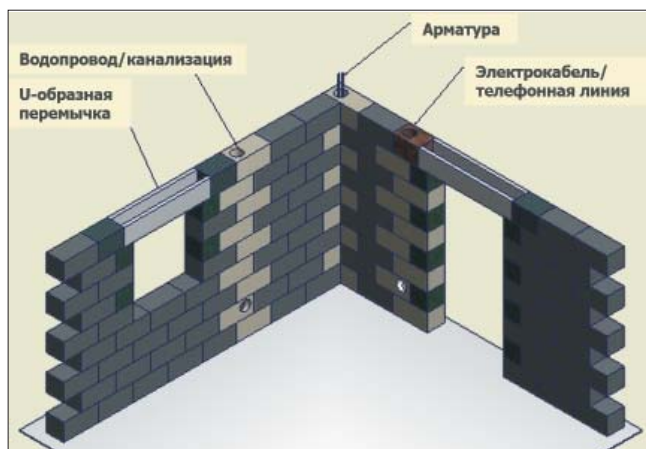
Для просверливания блоков используется мощный сверлильный узел. Робот перемещает блок с поддона к поворотному устройству, которое переворачивает его на 90°. С помощью робота блок размещается на сверлильном узле. Здесь происходит высверливание каналов для установки арматуры и укладки водопровода, систем канализации, электрокабеля или телефонных линий. Далее робот перемещает готовый блок к поворотному устройству, где он вновь переворачивается на 90° и размещается на поддоне.

WKB Systems GmbH предлагает установку для производства U-образных перемычек с подачей блоков и приемом готовой продукции с различным уровнем автоматизации. Оборудование может быть поставлено в несколько этапов.

Используя автоматизированную линию для склеивания U-образных перемычек со сверлильным узлом, можно увеличить перечень газобетонных изделий и предлагать клиентам более полный спектр продукции.

Кроме того, компания WKB Systems GmbH предлагает выгодные проверенные решения модернизации производства.

После модернизации завода на оборудовании WKB Systems GmbH достигается безотходное производство с минимальным расходом энергии и высокой степенью автоматизации.



Применение U-образных перемычек и блоков с отверстием

Повышение производительности и рентабельности производства, сокращение длительности рабочего цикла, сокращение расходов на содержание персонала, значительное повышение качества и расширение ассортимента производимой продукции – такие изменения можно получить после модернизации производства, предлагаемой специалистами компании.

Согласно девизу «Иновации на основе опыта» (Innovation made by experience) компания WKB Systems GmbH разрабатывает инновационные решения, основанные на многолетнем опыте более ста высококвалифицированных сотрудников.

Наша компания предлагает индивидуальные современные решения модернизации и оптимизации производственных процессов в любых секторах промышленности и производства, а также полный спектр услуг для реализации проектов:

- консультации по разработке технического задания;
- проектирование технического решения;
- инжиниринг и программирование;
- производство оборудования, тестовый запуск;
- шеф-монтаж, пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию;
- тест на производительность;
- обучение персонала заказчика;
- техническое обслуживание, поставки запчастей;
- сопровождение производственного процесса после завершения проекта

Новейший технологический уровень производства благодаря решениям модернизации от WKB Systems GmbH



WKB Systems GmbH
 Daimlerstr. 5–8 48477 Hörstel
 Tel. +49 5459 8059 297
 Fax +49 5459 8059 25
 info@wkb-systems.com
 www.wkb-systems.com

Н.В. ЛЮБОМИРСКИЙ, д-р техн. наук, профессор (niklub.ua@gmail.com),
Е.Ю. НИКОЛАЕНКО, канд. техн. наук (lesha29.04@mail.ru), В.В. НИКОЛАЕНКО, инженер,
А.С. БАХТИН, канд. техн. наук, Т.А. БАХТИНА, канд. техн. наук

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
(295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, 4)

Влияние принудительной карбонизации на формирование структуры газобетона на основе известково-цементного вяжущего и карбонатно-кальциевого заполнителя

Представлены результаты экспериментальных исследований по установлению возможности получения газобетона на основе известково-цементного вяжущего и карбонаткальциевого заполнителя (мраморовидного известняка), твердение которого организовано по гидратационному и карбонизационному типу. Выявлены особенности физико-химических превращений, протекающих в теле пористого материала при организации его твердения в средах с повышенной концентрацией углекислого газа. Установлено, что принудительная карбонизация способствует упрочнению кристаллического каркаса газобетона и повышению его прочности в сравнении с образцами гидратационного твердения в результате тепловлажностной обработки (ТВО). Показано, что при комбинированном (ТВО с последующей карбонизацией) способе твердения газобетонных образцов на основе смешанного вяжущего обеспечиваются условия как для протекания процессов гидратационного твердения цементных минералов, так и карбонатного твердения, что обуславливает появление максимального количества кристаллических гидратных и карбонатных новообразований и повышение прочности. Прочность при сжатии газобетона непосредственно после искусственного твердения при этом составляет 90% от прочности в возрасте 28 сут. Выявленные особенности физико-химических процессов позволяют в дальнейшем оптимизировать условия получения теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных газобетонов с повышенными физико-механическими свойствами.

Ключевые слова: газобетон, карбонизация, микроструктура, известково-цементное вяжущее, энергоэффективность.

Для цитирования: Любомирский Н.В., Николаенко Е.Ю., Николаенко В.В., Бахтин А.С., Бахтина Т.А. Влияние принудительной карбонизации на формирование структуры газобетона на основе известково-цементного вяжущего и карбонатно-кальциевого заполнителя // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 48–51.

N.V. LYUBOMIRSKY, Doctor of Sciences (Engineering) Professor, (niklub.ua@gmail.com),
E.Yu. NIKOLAENKO, Candidate of Sciences (Engineering) (lesha29.04@mail.ru), V.V. NIKOLAENKO, Engineer,
A.S. BAKHTIN, Candidate of Sciences (Engineering), T.A. BAKHTINA, Candidate of Sciences (Engineering)
V.I. Vernadsky Crimean Federal University (4, Vernadskogo Prospekt, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation)

Impact of Forced Carbonation on Formation of Gas Concrete Structure on the Basis of a Lime-Cement Binder and Carbonate-Calcium Filler

Results of the experimental study to establish the possibility of obtaining gas concrete on the basis of lime-cement binder and carbonate-calcium filler (marble-like limestone), hardening of which is arranged according to hydration and carbonation type, are presented. Features of physical-chemical transformations in the body of the porous material, when organizing its hardening in media with high concentration of carbon dioxide gas, are revealed. It is established that the forced carbonation contributes to the hardening of the crystalline skeleton of gas concrete and improving of its strength comparing with the samples of hydration hardening as a result of heat-humidity treatment (HHT). It is shown that the combined (HHT with subsequent carbonation) method of hardening of gas concrete samples on the basis of the mixed binder provides conditions both for process of hydration hardening of cement minerals and carbonate hardening that causes the appearance of the maximum amount of crystalline hydrate and carbonate new formations and improvement in the strength. The compression strength of gas concrete immediately after artificial hardening is 90% of the strength at age of 28 days. Revealed features of physical-chemical processes make it possible to optimize the conditions of production of heat-insulation and heat insulation-structural gas concretes with improved physical-mechanical properties

Keywords: gas concrete, carbonation, microstructure, lime-cement binder, energy efficiency.

For citation: Lyubomirsky N.V., Nikolaenko E.Yu., Nikolaenko V.V., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A. Impact of Forced Carbonation on Formation of Gas Concrete Structure on the Basis of a Lime-Cement Binder and Carbonate-Calcium Filler. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 48–51. (In Russian).

Вопросы разработки технологии получения энергоэффективного теплоизоляционного бетона связаны прежде всего с применяемыми сырьевыми материалами. В современной практике производства ячеистых бетонов широкое применение нашел портландцемент. Однако в условиях постоянно возрастающей стоимости и низкой экологичности его производства актуальным становится вопрос частичной или полной его замены известью, которая в сравнении с цементом является экологически чистым вяжущим, способным приобретать прочность и водостойкость как за счет гидратационного и гидросиликатного, так и за счет карбонизационного твердения. В связи с глобальными экологическими проблемами, связанными с ростом концентрации CO₂ в атмосфере Земли, особую актуальность приоб-

ретает внедрение технологий производства строительных материалов карбонизационного твердения изделий и материалов за счет поглощения техногенного CO₂ [1–4].

Карбонатное твердение осуществляется за счет поглощения и связывания углекислого газа материалом и в ряде случаев может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на физико-механические свойства строительных композитов, вызывая коррозию. Так, например, карбонизация композитов на основе гашеной извести за счет перекристаллизации ее в плотный и прочный CaCO₃ повышает их механическую прочность и долговечность [5], а карбонизацию цементного камня в большинстве случаев воспринимают как фактор, негативно влияющий на долговечность и проч-

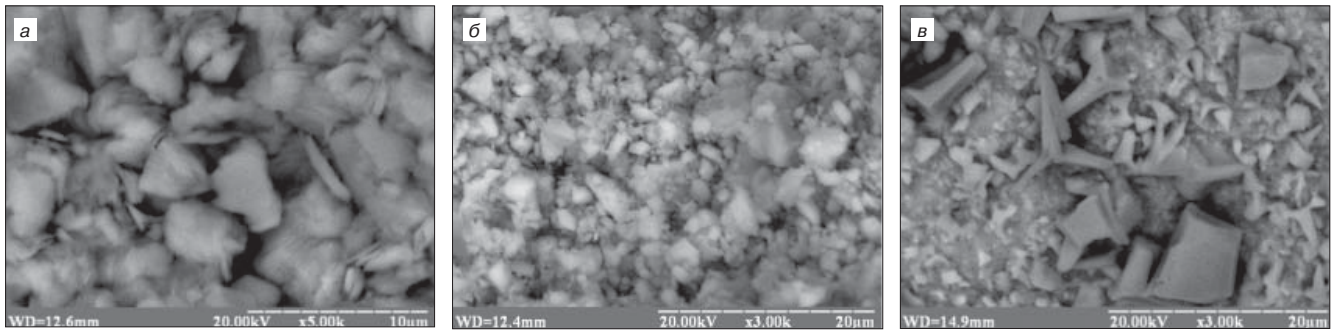


Рис. 1. Микроструктура опытных образцов газобетона в возрасте 28 сут в зависимости от способов твердения: а – после пропаривания, при увеличении $\times 5000$; б – после карбонизации, при увеличении $\times 3000$; в – после пропаривания и карбонизации, при увеличении $\times 3000$

ность строительных материалов на его основе [6, 7]. В то же время установлено [8, 9], что вторичный карбонат кальция, образующийся при взаимодействии углекислого газа и свободного гидроксида кальция, способствует повышению атмосферостойкости и таким образом положительно влияет на сроки эксплуатации цементных бетонов при условии отсутствия в них армирующих металлических изделий. Карбонизированный слой в этом случае выступает в качестве барьера на поверхности материала, уплотняющего поверхность бетона и уменьшающего его проницаемость.

Процесс карбонизации носит поверхностный характер и протекает не одновременно по всему объему материала, а проникает в него послойно [10, 11, 12]. Это связано с лимитированной диффузией углекислого газа от поверхности в глубь образца. Следовательно, чем больше площадь взаимодействия углекислого газа с известковой составляющей, тем выше процент образования вторичного карбоната кальция.

Исходя из вышеизложенного целесообразным является вопрос изучения влияния процесса принудительной карбонизации на структурообразование и физико-механические свойства ячеистых строительных материалов на основе известково-карбонатно-кальциевых систем с развитой поверхностью, например газобетона.

Целью настоящей работы стало установление возможности получения газобетона карбонизационного твердения путем исследования особенностей физико-химических превращений в теле газобетона на основе смешанного известково-цементного вяжущего и карбонатно-кальциевого заполнителя, твердеющего в специально созданных условиях с повышенной концентрацией CO_2 .

Изучение структуры и фазового состава исследуемых систем проводили с помощью растровой электрон-

ной микроскопии (электронный микроскоп РЕМ-106, SELMI) и рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-3). Исследования проводились на опытных образцах газобетона марки D500 размером $100 \times 100 \times 100$ мм, твердение которых было организовано различными способами: пропаривание, карбонизация (выдерживание в воздушно-газовой среде с повышенной концентрацией CO_2) и комбинированное твердение (последовательное пропаривание и карбонизация). В качестве вяжущих компонентов использовали портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н производства АО «Бахчисарайский комбинат «Стройиндустрия» и кальциевую известь производства АО «Евпаторийский завод строительных материалов» активностью 80%. Соотношение извести и цемента в составе вяжущего – 1:1. Содержание вяжущего в сырьевой смеси составляло 50 мас. %. В качестве карбонатно-кальциевого заполнителя использовались отходы добычи мраморовидных известняков карьера «Мраморный» (с. Мраморное, Республика Крым). Содержание вяжущего в сырьевой смеси составляло 50 мас.%. Для вспучивания использовалась алюминиевая пудра ПАП-1. Тепловлажностная обработка проводилась в течение 8 ч при температуре 60°C . Карбонизация материала осуществлялась в условиях 30%-й концентрации CO_2 в течение 2 ч. Прочность при сжатии образцов газобетона определялась в возрасте 1, 7, 14 и 28 сут после высушивания.

Исследования микроструктуры газобетона в возрасте 28 сут (рис. 1) показали, что послеформовочная обработка опытных образцов имеет существенное влияние на морфологию кристаллов новообразований, получаемых в процессе твердения газобетонного массива. В пропаренных образцах (рис. 1, а) структура материала в основном сложена ромбоэдрическими кристаллами известнякового заполнителя размером 4–6 мкм, ориен-

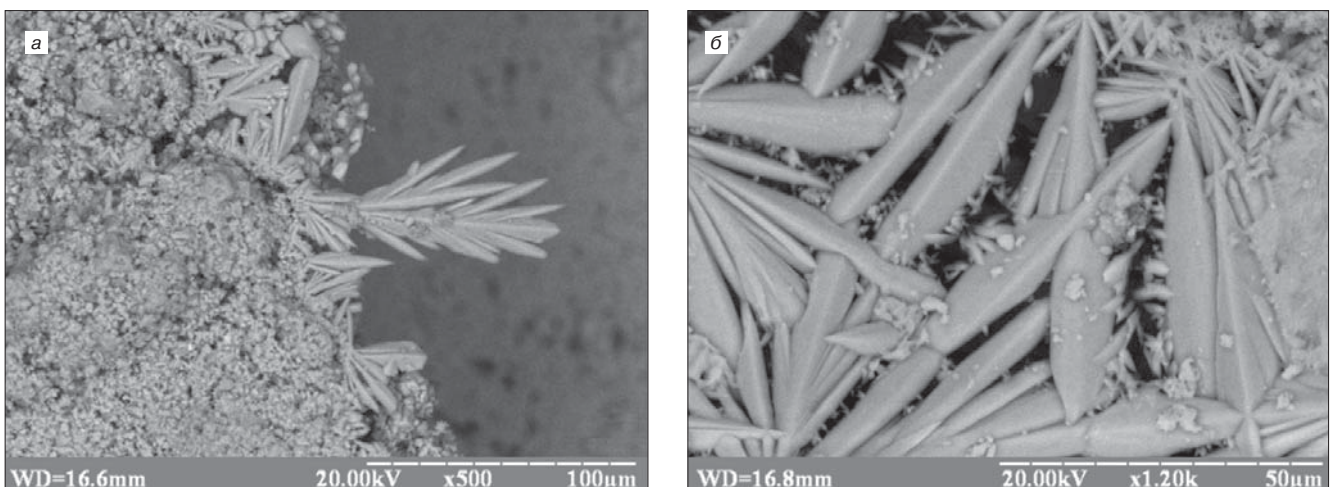


Рис. 2. Микроструктура опытных образцов газобетона после пропаривания и карбонизации в возрасте 1 сут, увеличение: а – $\times 500$; б – $\times 1200$

| Режим твердения | Прочность при сжатии образцов газобетона, МПа | | | |
|-----------------------------|---|------|------|------|
| | Время твердения, сут | | | |
| | 1 | 7 | 14 | 28 |
| Пропаривание | 0,39 | 0,48 | 0,53 | 0,56 |
| Карбонизация | 0,49 | 0,57 | 0,62 | 0,63 |
| Пропаривание + карбонизация | 1 | 1,07 | 1,1 | 1,11 |

тированными вокруг них пластинчатыми кристаллами $\text{Ca}(\text{OH})_2$, кристаллами цементного клинкера и продуктов гидратации цемента с размером до 3 мкм. На некоторых участках различимы игольчатые кристаллы кальцита субмикроскопической величины, образовавшиеся при поглощении известью углекислого газа из атмосферы в процессе хранения.

На микрофотографиях структуры образцов, твердеющих в условиях повышенной концентрации углекислого газа (рис. 1, б), видны крупные ромбоэдрические кристаллы известнякового заполнителя, на поверхности которых наблюдаются группы сросшихся между собой кристаллов новообразованного кальцита микрометрического размера до 2 мкм. Эти группы кристаллов кальцита образуют пространственный карбонизированный каркас. При сравнении структуры материала межпоровых перегородок пропаренного газобетона и карбонизированного у последнего наблюдается увеличение твердой фазы и уплотнение материала.

Микроструктура образцов, подверженных пропариванию и последующей карбонизации (рис. 1, в), представлена крупными скаленоэдрическими и ромбоэдрическими кристаллами кальцита. На поверхности пор размеры кристаллов варьируются от 4 до 8 мкм, а в межпоровых перегородках – от 1 до 4 мкм.

Для определения природы образования кальцита подобной морфологии кристалла были выполнены микрофотографии структуры образцов газобетона комбинированного твердения в возрасте 1 сут (рис. 2). На микрофотографиях отчетливо видны крупные кристаллообразования размером до 50 мкм дендритно-сфероидолитовой текстуры, схожие с текстурой арагонита, которые образовались на границе раздела фаз межпоровой перегородки и пространства поры. Поскольку фаза арагонита в процессе образования карбоната кальция является неустойчивой, это обуславливает переход менее стабильной полиморфной модификации в более устойчивую – кальцит с тригональной сингонией.

Подобное явление может быть обосновано частичным разрушением гидратных соединений цементного камня под воздействием CO_2 с последующим образованием модификаций карбоната кальция: ватерита, арагонита, кальцита. Согласно ранее проведенным исследованиям [7–9], среди гидратных соединений наименьшей устойчивостью к карбонизации обладают гидроалюминаты кальция, которые разлагаются с выделением карбоната кальция, гидроксида алюминия и

воды, а также низкоосновные гидросиликаты кальция, разрушающиеся с образованием CaCO_3 и гелеобразной аморфной кремнекислоты.

Исследование фазового состава опытных образцов газобетона различных способов твердения в возрасте 28 сут показало, что материал состоит в основном из продуктов гидратации цемента ($d, \text{нм} = 0,419; 0,392; 0,377; 0,182$) и кальцита ($d, \text{нм} = 0,304; 0,224; 0,209; 0,205$) вне зависимости от условий твердения. Ожидаемой характеристикой рентгенограмм является увеличение пиков кальцита с применением способов карбонизационного способа твердения опытных образцов газобетона. Наибольшее количество кальцитных новообразований наблюдается у образцов, послеформовочное твердение которых было организовано только в среде с CO_2 . У образцов комбинированного твердения интенсивность данных пиков меньше, что объясняется связыванием части гидроксида кальция в гидратные новообразования на этапе твердения при пропаривании.

Использование способов принудительного карбонизационного твердения повышает прочностные свойства газобетона. В таблице представлены опытные данные прочности при сжатии газобетонных опытных образцов в зависимости от способов организации их твердения, из которой видно, что карбонизация в течение 2 ч повышает прочность газобетона в сравнении с образцами, пропаренными в течение 8 ч, на 25%, а в возрасте 28 сут – на 12,5%.

При комбинированном режиме твердения, включающего пропаривание и последующую карбонизацию, прочность образцов газобетона в возрасте 1 сут в сравнении с прочностью пропаренных образцов выше в 2,6 раза, а через 28 сут твердения прочность повышается практически вдвое; в сравнении с образцами, подвергшимися только карбонатному твердению, превышение прочности составило соответственно в 2 и 1,8 раза. Необходимо отметить, что прочность при сжатии опытных образцов газобетона комбинированного твердения в первые сутки (непосредственно после искусственного твердения) составляет 90% от прочности после 28 сут твердения.

Таким образом, при комбинированном твердении газобетона на основе известково-цементного вяжущего и мраморовидного известняка, включающем пропаривание и последующее выдерживание в среде с высокой концентрацией CO_2 , обеспечиваются условия для протекания как гидратационного, так и карбонизационного твердения, что обуславливает появление максимального количества кристаллических новообразований и повышение прочностных характеристик.

Выявленные особенности физико-химических процессов, протекающих в газобетоне на основе известково-цементного вяжущего и карбонатно-кальциевого заполнителя при воздействии на него высоких концентраций углекислого газа, позволят в дальнейшем оптимизировать условия твердения газобетона и получения на его основе изделий с повышенными физико-механическими свойствами.

Список литературы

1. Михайлов Н.Н., Кузнецов А.М. Искусственная карбонизация как способ повышения активности доломитового вяжущего // *Строительные материалы*. 1960. № 9. С. 28–30.
2. Каминкас А.Ю., Матайтис А.И. Новый двухстадийный способ твердения известково-песчаных изделий // *Строительные материалы*. 1970. № 6. С. 32–35.

References

1. Mikhaylov N.N., Kuznetsov A.M. Artificial carbonization as a way to increase the activity of dolomitic astrigent. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 1960. No. 9, pp. 28–30. (In Russian).
2. Kaminkas A.Yu., Mataitis A.I. New two-stage way of concreting of limy and sand products. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 1970. No. 6, pp. 32–35. (In Russian).

3. Елькина И.И., Федоркин С.И. Влияние карбонизации на прочность прессованных образцов из отходов горных пород на цементном и известково-цементном вяжущем // *Строительство и техногенная безопасность*. 2012. № 44. С. 41–45.
4. Польшманн Х. Пути сокращения выбросов CO₂ при производстве альтернативных цементов // *Цемент и его применение*. 2016. № 2. С. 89–93.
5. Федоркин С.И., Любомирский Н.В., Лукьянченко М.А. Системы на основе извести карбонизационного твердения // *Строительные материалы*. 2008. № 11. С. 45–47.
6. Чижов С.В., Кузнецов С.А. Прогнозирование процесса карбонизации бетона // *Перспективы науки*. 2014. № 11. С. 76–81.
7. Свит Т.Ф., Семин Д.С. Об изменении состава продуктов гидратации цемента // *Ползуновский вестник*. 2006. № 2-2. С. 220–224.
8. Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М., Кафтаева М.В. К вопросу о механизме углекислотной коррозии строительных материалов // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 5. С. 19–26.
9. Рахимбаев Ш.М. Принципы выбора цементов для использования в условиях химической агрессии // *Известия вузов: Строительство*. 1998. № 10. С. 65–68.
10. Чернышев Е.М., Потамосшнева Н.Д., Кукина О.Б. Портландитовые и портландито-карбонатные бесцементные системы твердения. Ч. 2 // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2002. № 5. С. 8–9.
11. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. М.: Инфра-Инженерия. 2011. 544 с.
12. Функ А., Салах Уддин К.М., Ветцель А., Миддендорф Б. Карбонизация портландита в условиях низкой влажности // *Цемент и его применение*. 2016. № 5. С. 88–92.
3. El'kina I.I., Fedorkin S.I. Influence of a carbonization on durability of the pressed exemplars from a wastage of rocks on cement and limy and cement knitting. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2012. No. 44, pp. 41–45. (In Russian).
4. Pol'mann Kh. The Ways to reduce CO₂ emissions in the production of alternative cements. *Tsement i ego primenie*. 2016. No. 2, pp. 89–93. (In Russian).
5. Fedorkin S.I., Lyubomirskii N.V., Luk'yanchenko M.A. Systems based on lime of carbonization hardening. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 11, pp. 45–47. (In Russian).
6. Chizhov S.V., Kuznetsov S.A. Prediction of process of a carbonization of concrete *Perspektivy nauki*. 2014. No. 11, pp. 76–81. (In Russian).
7. Svit T.F., Semin D.S. About change of structure of products of hydration of cement. *Polzunovskiy vestnik*. 2006. No. 2, pp. 220–224. (In Russian).
8. Anikanova T.V., Rakhimbaev Sh.M., Kaftaeva M.V. On the mechanism of carbon dioxide corrosion of building materials. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. No. 5, pp. 19–26. (In Russian).
9. Rakhimbaev Sh.M. Principles of choosing cements for use in chemical aggression. *Izvtstiya vuzov. Stroitel'stvo*. 1998. No. 10, pp. 65–68. (In Russian).
10. Chernyshev E.M., Potamoshneva N.D., Kukina O.B. Portlandite and portlandite-carbonate cementless curing systems. Part. 2. *Stroitel'nye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2002. No. 5, pp. 8–9. (In Russian).
11. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitel'nye mineral'nye vyazhushchie materialy [Building mineral knitting materials]. Moscow: Infra-Inzheneriya. 2011. 544 p.
12. Funk A., Salakh Uddin K.M., Vetsel' A., Middendorf B. Carbonation of portlandite in low humidity conditions. *Tsement i ego primenie*. 2016. No. 5, pp. 88–92. (In Russian).



МИНСТРОЙ
РОССИИ



ROSENFELD
ENERGY
EFFICIENCY
FUND

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ
ФОНД ПОДДЕРЖКИ И РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ А. РОЗЕНФЕЛЬДА

4–6 июля 2017 года состоится Международная научная конференция
VIII Академические чтения, посвященные памяти академика РААСН Г.Л. Осипова

«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»
Тематика конференции:

- Энергосбережение в строительстве
 - Строительная теплофизика
- Строительная и архитектурная акустика
 - Строительная светотехника
 - Экология в строительстве
- Долговечность и прочность строительных конструкций зданий и сооружений
 - Проблемы технического регулирования
- Ремонт и эксплуатация объектов коммунального хозяйства
 - Высотное строительство
 - Научная школа для молодежи

В рамках конференции будет проводиться КОНКУРС, на котором молодые ученые, аспиранты и студенты смогут представить свои проекты и разработки:

1. На лучший дипломный проект, включающий раздел «Строительная физика»;
2. На лучшую работу по направлению «Строительная и архитектурная акустика»;
3. На лучший доклад в рамках научной школы для молодежи «Строительная физика, энергосбережение и экологическая безопасность».

Победителям присуждается премия имени академика РААСН Г.Л. Осипова.

4. На лучшее решение задачи в области энергоэффективности и энергосбережения. Победителям вручается медаль и премия имени лауреата международной энергетической премии «Глобальная энергия» 2011 г. – Артура Розенфельда.

5. На самое оригинальное и талантливое решение акустической задачи. Призы от Генерального спонсора конференции – компании «Brüel & Kjaer» (Дания).

6. За оригинальный подход к решению задачи энергосбережения в зданиях. Призы от Генерального спонсора конференции – компании «Сен-Гобен Строительная Продукция Рус».

7. Специальный приз Ассоциации производителей керамических стеновых материалов.

8. За значительный вклад в развитие строительной физики ведущим ученым и специалистам вручается Золотая медаль имени академика РААСН Г.Л. Осипова и памятный знак.

Для участия в конференции необходимо в срок до 1 июня 2017 г. отправить ЗАЯВКУ на участие по адресу: org.com@list.ru или факсу +7(495) 482-40-60.

БОЛЕЕ ПОДРОБНУЮ ИНФОРМАЦИЮ О КОНФЕРЕНЦИИ И ФОРМУ ЗАЯВКИ МОЖНО ПОСМОТРЕТЬ НА САЙТЕ: niisf.ru

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Тел.: +7 (499) 488-70-05 Факс: +7 (495) 482-40-60 E-mail: org.com@list.ru Сайт: www.niisf.ru
Адрес: 127238, Москва, Локомотивный проезд, д.21, Светотехнический корпус, НИИСФ РААСН

Е.Э. КАДОМЦЕВА¹, канд. техн. наук (elkadom@yandex.ru),
Л.В. МОРГУН¹, д-р техн. наук (konst-lvm@yandex.ru), Н.И. БЕСКОПЫЛЬНАЯ¹, канд. техн. наук;
В.Н. МОРГУН², канд. техн. наук (morgun_vlad@bk.ru), Я.А. БЕРДНИК², инженер

¹ Донской технический университет (344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

² Южный Федеральный университет (344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42)

Исследование влияния бимодульности фибропенобетона на прочность армированных балок

На примере произвольно опертой балки прямоугольного поперечного сечения, работающей под действием произвольных изгибающих нагрузок, обоснована необходимость учета бимодульности материала при расчете конструкций. Показано, что при учете бимодульности материала изменяется расчетное положение нейтральной линии и, как следствие, изменяются величины максимальных сжимающих и растягивающих нормальных напряжений, что оказывает существенное влияние на несущую способность балки. Приведены примеры расчетов для произвольно опертой, произвольно нагруженной балки в зависимости от различных соотношений модулей упругости при растяжении и сжатии. Установлена зависимость максимального нормального напряжения от числа армированных стержней, расположенных в сжатой и растянутой зоне балки. Численное исследование показало, что учет бимодульности фибропенобетона в ряде случаев способствует снижению материалоемкости строительных конструкций.

Ключевые слова: фибропенобетон, армированная балка, бимодульный заполнитель, расчет конструкции, модуль упругости.

Для цитирования: Кадомцева Е.Э., Моргун Л.В., Бескопильная Н.И., Моргун В.Н., Бердник Я.А. Исследование влияния бимодульности фибропенобетона на прочность армированных балок // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 52–55.

E.E. KADOMTSEVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (elkadom@yandex.ru), L.V. MORGUN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (konst-lvm@yandex.ru), N.I. BESKOPYLNAYA¹, Candidate of Sciences (Engineering); V.N. MORGUN², Candidate of Sciences (Engineering) (morgun_vlad@bk.ru), Ya.A. BERDNIK², Engineer

¹ Don State Technical University (1, Gagarina Square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation)

² Southern State University (105/42, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation)

Research in Influence of Bi-Modularity of Fiber Foam Concrete on Strength of Reinforced Beams

The necessity to take into account the bi-modularity of a material when calculating structures is substantiated on the example of a freely-supported beam of a rectangular cross-section operating under the impact of arbitrary bending loads. It is shown that with due regard for the bi-modularity of the material, the calculated position of the neutral lines is changed and, as a sequence, values of maximal compressing and tensile normal stresses are changed that significantly influence on the bearing capacity of the beam. Examples of calculations for the arbitrary supported, arbitrary loaded beam depending on the various ratios of the modules of elasticity in the course of tensile and compression are presented. The dependence of the maximum normal stress on a number of reinforced bars placed in the compressed and tensile zones of the beam has been established. The numerical study shows that accounting of the bi-modularity of fiber foam concrete contributes, in some cases, to the reduction in material consumption of building structures.

Keywords: fiber foam concrete, reinforced beam, bi-modular filler, calculation of structure, module of elasticity.

For citation: Kadomtseva E.E., Morgun L.V., Beskopylnaya N.I., Morgun V.N., Berdник Ya.A. Research in Influence of Bi-Modularity of Fiber Foam Concrete on Strength of Reinforced Beams. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 5, pp. 52–55. (In Russian).

Фибропенобетон, являясь разновидностью ячеистых бетонов, появился в строительной практике в самом начале XXI в. [1]. Опыт его практического применения показал, что, несмотря на высокую пористость каменной структуры, этот материал может успешно применяться в строительстве не только для обеспечения требуемых теплоизоляционных свойств конструкций [2], но и обеспечивать некоторую, достаточную для их надежной эксплуатации [3] сопротивляемость изгибающим нагрузкам.

В качестве достоверности вышеприведенных утверждений в работе представлен объект (рис. 1), в котором с 2002 г. в г. Ростове-на-Дону успешно эксплуатируют теплоизоляционные галтели, изготавливаемые из фибропенобетона плотностью не более 500 кг/м³.

На рис. 1 видно, что идет замена ранее установленных оконных блоков, которые непосредственно контактировали с плитами перекрытий, на галтели из фибропенобетона и блоки меньших размеров. На рис. 2 зафиксирован этап возведения цеха фасовки медикаментов из фибропенобетонных блоков плотностью 400 кг/м³ и перемычек плотностью 700–800 кг/м³, содержащих каркас из стержневой арматуры класса А400 [1].

В настоящее время расчет несущей способности ячеисто-бетонных конструкций осуществляется в соответствии с «Пособием по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов», являющимся приложением к СНиП 2.03.01–84. Этот документ не учитывает изменений, произошедших в технологии производства ячеистых бетонов в течение последних 30 лет. Поэтому авторы полагают, что назрела необходимость в выполнении исследований, отраженных в представленной статье.

В работе рассматривается произвольно опертая, произвольно нагруженная балка. Балка прямоугольного поперечного сечения (рис. 3), изготовленная из фибропенобетона, армированная стальными стержнями, расположенными параллельно ее горизонтальной оси. При выводе нормальных напряжений [4–7] учитывалось различие модулей упругости на растяжение и сжатие пенофибробетона, полученных экспериментально [3].

Формулы для максимальных нормальных напряжений для балок [8, 9] при изгибе с учетом бимодульности материала имеют вид:

$$|z_{\max}| = h_p = \frac{\sqrt{k}}{1 + \sqrt{k}} \cdot h; \quad (1)$$



Рис. 1. Исключение «мостиков холода» с помощью галтелей из фибропенобетона



Рис. 2. Фибропеножелезобетонная перемычка на объекте цех фасовки медикаментов

Таблица 1

Нормальные напряжения с учетом бимодульности фибропенобетона

| Марка состава | Средняя плотность, кг/м ³ | Содержание фибры, % по объему | Расчетное значение начального модуля упругости при растяжении $E_{\sigma+}$, МПа | Расчетное значение начального модуля упругости при сжатии $E_{\sigma-}$, МПа | Максимальное растягивающее напряжение $\frac{ \sigma_{\max+} }{ M_{\max y} }$, 1/м ³ | Максимальное сжимающее напряжение $\frac{ \sigma_{\max-} }{ M_{\max y} }$, 1/м ³ |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------------|---|---|--|--|
| $\sigma-1$ | 903 | 0,75 | 4620 | 2215 | 1829 | 1266 |
| $\sigma-2$ | 945 | 0 | 425 | 2106 | 1077 | 2398 |
| $\sigma-3$ | 1071 | 0 | 523 | 2160 | 1110 | 2257 |
| $\sigma-4$ | 1096 | 0,75 | 6496 | 2966 | 1857 | 1255 |
| $\sigma-5$ | 1005 | 1,5 | 4829 | 2695 | 1750 | 1308 |
| $\sigma-6$ | 987 | 1,5 | 7673 | 2734 | 2003 | 1196 |
| $\sigma-7$ | 952 | 0,75 | 6073 | 2519 | 1911 | 1231 |
| $\sigma-8$ | 943 | 0,75 | 5578 | 2593 | 1846 | 1259 |
| $\sigma-9$ | 953 | 0,75 | 5848 | 2513 | 1890 | 1239 |
| $\sigma-10$ | 949 | 0,75 | 5804 | 2499 | 1889 | 1240 |

Таблица 2

Максимальные нормальные напряжения без учета разномодульности ($E_0 = E_{0-}$)

| Марка состава | Средняя плотность, кг/м ³ | Содержание фибры, % по объему | Расчетное значение начального модуля упругости E_0 , МПа | Максимальное напряжение $\frac{ \sigma_{\max \sigma} }{ M_{\max y} }$, 1/м ³ |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|--|
| $\sigma-1$ | 903 | 0,75 | 2215 | 1495 |
| $\sigma-2$ | 945 | 0 | 2106 | 1495 |
| $\sigma-3$ | 1071 | 0 | 2160 | 1495 |
| $\sigma-4$ | 1096 | 0,75 | 2966 | 1496 |
| $\sigma-5$ | 1005 | 1,5 | 2695 | 1496 |
| $\sigma-6$ | 987 | 1,5 | 2734 | 1496 |
| $\sigma-7$ | 952 | 0,75 | 2519 | 1496 |
| $\sigma-8$ | 943 | 0,75 | 2593 | 1496 |
| $\sigma-9$ | 953 | 0,75 | 2513 | 1496 |
| $\sigma-10$ | 949 | 0,75 | 2499 | 1496 |

Таблица 3

Максимальные нормальные напряжения без учета разномодульности ($E_0 = E_{0+}$)

| Марка состава | Средняя плотность, кг/м ³ | Содержание фибры, % по объему | Расчетное значение начального модуля упругости E_0 , МПа | Максимальное напряжение $\frac{ \sigma_{\max \sigma} }{ M_{\max y} }$, 1/м ³ |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|--|
| $\sigma-1$ | 903 | 0,75 | 4620 | 1498 |
| $\sigma-2$ | 945 | 0 | 425 | 1475 |
| $\sigma-3$ | 1071 | 0 | 523 | 1479 |
| $\sigma-4$ | 1096 | 0,75 | 6496 | 1498 |
| $\sigma-5$ | 1005 | 1,5 | 4829 | 1498 |
| $\sigma-6$ | 987 | 1,5 | 7673 | 1499 |
| $\sigma-7$ | 952 | 0,75 | 6073 | 1498 |
| $\sigma-8$ | 943 | 0,75 | 5578 | 1498 |
| $\sigma-9$ | 953 | 0,75 | 5848 | 1498 |
| $\sigma-10$ | 949 | 0,75 | 5804 | 1498 |

Таблица 4

Зависимость напряжений от числа армированных стержней с учетом разномодульности заполнителя

| Число армированных стержней в сжатой зоне n_- | Число армированных стержней в растянутой зоне n_+ | Максимальное напряжение | |
|---|---|---|---|
| | | растягивающее $\frac{ \sigma_{\max+} }{ M_{\max y} }, 1/\text{м}^3$ | сжимающее $\frac{ \sigma_{\max-} }{ M_{\max y} }, 1/\text{м}^3$ |
| 2 | 2 | 1864 | 1250 |
| 4 | 4 | 1860 | 1247 |
| 2 | 4 | 1860 | 1248 |
| 4 | 2 | 1863 | 1250 |
| 0 | 0 | 1868 | 1253 |

Таблица 6

Зависимость напряжений от числа армированных стержней при $E_{\sigma+}=5000$ МПа

| Число армированных стержней в сжатой зоне n_- | Число армированных стержней в растянутой зоне n_+ | Максимальное напряжение | |
|---|---|---|---|
| | | растягивающее $\frac{ \sigma_{\max+} }{ M_{\max y} }, 1/\text{м}^3$ | сжимающее $\frac{ \sigma_{\max-} }{ M_{\max y} }, 1/\text{м}^3$ |
| 2 | 2 | 1498 | 1498 |
| 4 | 4 | 1496 | 1496 |
| 2 | 4 | 1496 | 1496 |
| 4 | 2 | 1497 | 1497 |
| 0 | 0 | 1500 | 1500 |

$$|\sigma_{\max+}| = \frac{3(1+\sqrt{k}) \cdot \sqrt{k} \cdot h}{k \cdot b \cdot h^3 + 3 \cdot (1+\sqrt{k})^2 \cdot E_a(n_+ I_{a+} + n_- I_{a-}) / (E_{\sigma+})} |M_{\max y}|; \quad (2)$$

$$|z_{\max-}| = h_c = \frac{1}{1+\sqrt{k}} \cdot h; \quad (3)$$

$$|\sigma_{\max-}| = \frac{3 \cdot k(1+\sqrt{k}) \cdot h}{k \cdot b \cdot h^3 + 3 \cdot (1+\sqrt{k})^2 \cdot E_a(n_+ I_{a+} + n_- I_{a-}) / (E_{\sigma+})} |M_{\max y}|; \quad (4)$$

где h_p – высота растягивающейся зоны; h_c – высота сжимающейся зоны;

$$h_p = \frac{\sqrt{k}}{1+\sqrt{k}} \cdot h, \quad h_c = \frac{1}{1+\sqrt{k}} \cdot h, \quad k = \frac{E_{\sigma-}}{E_{\sigma+}}, \quad (5)$$

где $|M_{\max y}|$ – максимальный изгибающий момент относительно нейтральной линии в опасном сечении балки; n_+ – число стержней арматуры в растянутой зоне; n_- – число стержней арматуры в сжатой зоне; I_{a-} – осевой момент инерции поперечного сечения одного стержня арматуры в сжатой зоне; I_{a+} – осевой момент инерции поперечного сечения одного стержня арматуры в растянутой зоне; E_a – модуль упругости при растяжении стержней арматуры; $E_{\sigma+}$ – модуль упругости бетона (заполнителя) при растяжении.

Численный расчет, приведенный в табл. 1, показывает, что максимальные нормальные растягивающие напряжения больше, чем максимальные нормальные сжимающие напряжения при учете бимодульности фибропенбетона. Максимальные нормальные растягивающие напряжения при использовании пенбетона без фибры несколько понижаются, но при этом почти в два раза повышаются максимальные нормальные сжимающие напряжения.

Таблица 5

Зависимость напряжений от числа армированных стержней при $E_{\sigma-}=2250$ МПа

| Число армированных стержней в сжатой зоне n_- | Число армированных стержней в растянутой зоне n_+ | Максимальное напряжение | |
|---|---|---|---|
| | | растягивающее $\frac{ \sigma_{\max+} }{ M_{\max y} }, 1/\text{м}^3$ | сжимающее $\frac{ \sigma_{\max-} }{ M_{\max y} }, 1/\text{м}^3$ |
| 2 | 2 | 1495 | 1495 |
| 4 | 4 | 1490 | 1490 |
| 2 | 4 | 1491 | 1491 |
| 4 | 2 | 1494 | 1494 |
| 0 | 0 | 1500 | 1500 |

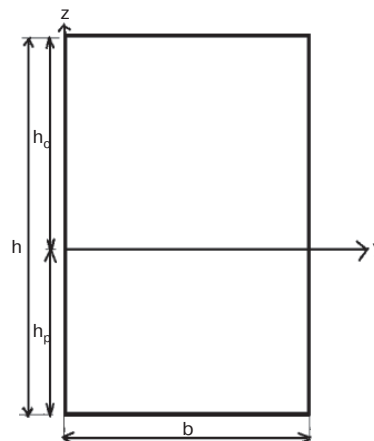


Рис. 3. Схема расчетного сечения балки

В табл. 2 и 3 приведены значения максимального нормального напряжения без учета бимодульности фибропенбетона (сжимающее и растягивающее в этом случае равны между собой). Они практически не различаются, но меньше растягивающих нормальных напряжений и больше сжимающих нормальных напряжений, если учитывать бимодульность материала заполнителя (табл. 1).

Также было проведено численное вычисление для балки прямоугольного поперечного сечения $h = 0,3$ м; $b = 0,2$ м, армированной стальными стержнями круглого поперечного сечения в растянутой зоне $d_p = 12 \cdot 10^{-3}$ м ($\varnothing 12$ АIII), в сжимающей зоне $d_{сж} = 8 \cdot 10^{-3}$ м ($\varnothing 8$ АI) с материалом заполнителя из фибробетона.

Свойства фибропенбетона:

- средняя плотность $\rho = 902$ кг/м³;
- предел прочности при сжатии $\sigma_{пч} = 3,68$ МПа;
- предел прочности при растяжении $\sigma_{пч+} = 0,282$ МПа;
- модуль упругости при сжатии $E_{\sigma+} = 5 \cdot 10^3$ МПа;
- модуль упругости при растяжении $E_{\sigma-} = 2,25 \cdot 10^3$ МПа.

Как видно по численным результатам, максимальные нормальные напряжения зависят от варьирования стержней, но в пределах исследуемого числа стержней достаточно незначительно (табл. 4).

Без учета бимодульности материала (табл. 5 и 6) максимальные нормальные напряжения больше максимальных нормальных растягивающих напряжений и меньше максимальных нормальных сжимающих напряжений.

Выполненные исследования показали, что дисперсное армирование пенбетона положительно влияет на его структуру и, как следствие, на поведение строительных конструкций под действием изгибающих и растягивающих нагрузок. Отсюда следует, что для разработки нормативной базы, необходимой для

расчета несущей способности строительных изделий и конструкций [10–12] из фибропенобетона, необходимо проведение дальнейших исследований с целью более точного и обоснованного установления параметров взаимосвязи между уровнем и особенностями его дисперсного армирования и диапазоном разномодульности.

Список литературы

1. Моргун Л.В. Пенобетон: Монография. Ростов н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2012. 154 с.
2. Зарубина Л.П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии. 2-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 416 с.
3. Моргун В.Н., Курочка П.Н., Богатина А.Ю., Кадомцева Е.Э., Моргун Л.В. К вопросу о сцеплении стержневой арматуры с бетоном и фибробетоном // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 56–59.
4. Амбарцумян С.А. Разномодульная теория упругости. М.: Наука, 1982. 317 с.
5. Кадомцева Е.Э., Моргун Л.В. Учет влияния отличия модулей упругости на сжатие и растяжение при расчете на прочность армированных балок с заполнителем из фибропенобетона // *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 2. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1655> (Дата обращения 05.12.2016).
6. Кадомцева Е.Э., Бескопыльный А.Н. Расчет на прочность армированных балок с заполнителем из бимодульного материала с использованием различных теорий прочности // *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 4. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2125> (Дата обращения 05.12.2016).
7. Rigbi Z. Some thoughts concerning the existence or otherwise of an isotropic bimodulus material // *ASME Journal of engineering materials and technology*. October 1980. No. 102, pp. 183–384.
8. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Т. 1. М.: Наука, 1981. 832 с.
9. Мышкис А.Д. Прикладная математика для инженеров: Специальные курсы. М.: Физматлит, 2007. 688 с.
10. Чирков В.П., Клюкин В.И., Фёдоров В.С., Швидко Я.И. Основы теории проектирования строительных конструкций. Железобетонные конструкции. М.: УМК МПС РФ, 1999. 371 с.
11. Kudyakov A.I., Steshenko A.B., Heat insulating reinforced air hardened foamed concrete. *Vestnik TSUAB. English version* appendix to 2013. No. 4, 2014. No. 2–6, pp. 60–65. http://www.tsuab.ru/upload/files/additional/6_2014_05_Kudjakov_file_4972_4313_4348.pdf (Дата доступа 05.12.2016).
12. Mydin Md Azree Othuman, Soleimanzadeh Sara. Effect of polypropylene fiber content on flexural strength of lightweight foamed concrete at ambient and elevated temperatures. *Advances in Applied Science Research*. 2012, Vol. 3. Iss. 5, pp. 2837–2846. <http://www.imedpub.com/articles/effect-of-polypropylene-fiber-content-on-flexural-strength-of-lightweightfoamed-concrete-at-ambient-and-elevated-temperatures.pdf> (Дата доступа 05.12.2016).
3. Morgun V.N., Kurochka P.N., Bogatina A.Yu., Kadomtseva E.E., Morgun L.V. Issues of bar reinforcement bond with concrete and fiber concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 8, pp. 56–59. (In Russian).
4. Ambartsumyan S.A. Raznomodul'naya teoriya uprugosti [Multimodulus elasticity theory] Moscow: Nauka. 1982. 317 p.
5. Kadomtsev E.E., Morgun L.V. The influence of differences in modulus of elasticity in compression and tension when calculating the strength of beams reinforced with filler from reinforced foam concrete. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2013. No. 2. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1655> (Date of access 05.12.2016). (In Russian).
6. Kadomtsev E.E., Beskopylny A.N. Calculation of strength of beams reinforced with an aggregate of bimodulus of elasticity material using various theories of strength *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2013. No. 4. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2125> (Date of access 05/12/2017). (In Russian).
7. Rigbi Z. Some thoughts concerning the existence or otherwise of an isotropic bimodulus material. *ASME Journal of engineering materials and technology*. October 1980. No. 102, pp. 183–384.
8. Filin A.P. Prikladnaya mekhanika tverdogo deformiruemogo tela. Tom 1 [Applied mechanics of solid deformable body. Vol. 1]. Moscow: Nauka. 1981. 832 p.
9. Myshkis A.D. Prikladnaya matematika dlya inzhenerov. Spetsial'nye kursy [Applied mathematics for engineers. Special courses]. Moscow: Fizmatlit. 2007. 688 p.
10. Chirkov V.P., Klyukin V.I., Fedorov S.V., Shvydko Y.I. Osnovy teorii proektirovaniya stroitel'nykh konstruksii. Zhelezobetonnye konstruksii [Fundamentals of the theory of design of building structures. Reinforced concrete structures]. Moscow: Publishing house of UMK Ministry of Railways of the Russian Federation. 1999. 371 p.
11. Kudyakov A.I., Steshenko A.B., Heat insulating reinforced air hardened foamed concrete. *Vestnik TSUAB. English version* appendix to 2013. No. 4, 2014. No. 2–6, pp. 60–65. http://www.tsuab.ru/upload/files/additional/6_2014_05_Kudjakov_file_4972_4313_4348.pdf (Date of access 05.12.2016).
12. Mydin Md Azree Othuman, Soleimanzadeh Sara. Effect of polypropylene fiber content on flexural strength of lightweight foamed concrete at ambient and elevated temperatures. *Advances in Applied Science Research*. 2012, Vol. 3. Iss. 5, pp. 2837–2846. <http://www.imedpub.com/articles/effect-of-polypropylene-fiber-content-on-flexural-strength-of-lightweightfoamed-concrete-at-ambient-and-elevated-temperatures.pdf> (Date of access 05.12.2016).

References

1. Morgun L.V. Penobeton: Monografiya [Foam Concrete: Monograph]. Rostov-on-don: Rostov State University of Civil Engineering. 2012. 154 p.
2. Zarubina A.P. Teploizolyatsiya zdaniy i sooruzhenii. Materialy i tekhnologii. [Insulation of buildings and structures. Materials and technologies]. Saint-Petersburg: Bkhv-Peterburg, 2012. 416 p.

Вниманию авторов и читателей!

Ознакомьтесь с правилами и рекомендациями, размещенными на сайте издательства:

www.rifsm.ru/page/7

Информация по оформлению подписки на странице:

www.rifsm.ru/page/5

www.rifsm.ru

Я.И. ВАЙСМАН, д-р мед. наук; А.А. КЕТОВ, д-р техн. наук (alexander_ketov@mail.ru);
П.А. КЕТОВ, инженер-эколог

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29)

Вторичное использование пеностекла при производстве пеностеклокристаллических плит

В течение срока эксплуатации подавляющее большинство строительных материалов теряет свои потребительские свойства, и завершение жизненного цикла предполагает их размещение на полигонах твердых коммунальных отходов. Однако с точки зрения концепции устойчивого развития производство новых материалов для строительства должно быть основано исключительно на возобновляемом сырье. Рассмотрены вопросы вторичного использования пеностеклянных и пеностеклокристаллических плит для производства новых плитных стеклокристаллических материалов ячеистого строения. Показано, что после завершения жизненного цикла плитное пеностекло может быть переработано в пеностеклянный щебень, который в свою очередь может быть наполнителем при производстве новых плитных пеностеклокристаллических материалов. Установлено, что полученные плитные изделия по структуре не отличаются от пеностеклокристаллических плит, произведенных из первичных материалов.

Ключевые слова: пеностеклокристаллические плиты, пеностеклянный щебень, концепция устойчивого развития, энергоэффективность, вторичное использование материалов.

Для цитирования: Вайсман Я.И., Кетов А.А., Кетов П.А. Вторичное использование пеностекла при производстве пеностеклокристаллических плит // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 56–59.

Ya.I. VAYSMAN, Doctor of Sciences (Medicine), A.A. KETOV, Doctor of Sciences (Engineering) (alexander_ketov@mail.ru); P.A. KETOV, Engineer-Ecologist Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Avenue, Perm, 614990, Russian Federation)

Secondary Application of Foam Glass when Producing Foam-Glass-Crystal Slabs

During the operation, overwhelming majority of building materials loses their consumer properties and the completion of the life cycle assumes their location at the polygons of solid communal waste. However, from the point of view of the sustainable development concept, the production of new materials for construction must be based on the renewable raw materials exclusively. Issues of the secondary use of foam glass and foam-glass-crystal slabs for producing new slab glass-crystal materials of cellular structure are considered. It is shown that after the completion of the life cycle, slab foam glass can be processed in foam-glass crushed stone which, in its turn, can be used as a filler when producing new slab foam-glass-crystal materials. It is established that obtained slab products are not structurally differ from foam-glass-crystal slabs produced from the primary materials.

Keywords: foam-glass-crystal slabs, foam glass crushed stone, sustainable development concept, energy efficiency, secondary use of materials.

For citation: Vaysman Ya.I., Ketov A.A., Ketov P.A. Secondary Application of Foam Glass when Producing Foam-Glass-Crystal Slabs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 56–59. (In Russian).

Рассмотрение объектов промышленного и гражданского строительства с точки зрения концепции устойчивого развития и «зеленых» технологий предполагает необходимость не только экологически безопасного производства и эксплуатации строительных материалов, но и их утилизацию по окончании жизненного цикла [1, 2]. В течение срока эксплуатации подавляющее большинство строительных материалов теряет свои потребительские свойства и завершение жизненного цикла предполагает их размещение на полигонах твердых коммунальных отходов. Однако в перспективе производство новых материалов для строительства должно быть основано исключительно на возобновляемом сырье [3], поэтому использование отходов, в частности получение энергоэффективного ячеистого силикатного материала из отходов стекла, может стать выходом из ситуации, отвечающей требованиям устойчивого развития общества [4].

Трудности вторичного использования особенно характерны для теплоизоляционных материалов, что может быть объяснено их высокой удельной поверхностью и, как следствие, особенно высокими скоростями взаимодействия с компонентами атмосферы, прежде всего кислородом и влагой воздуха. Одним из немногих исключений в ряду теплоизоляционных материалов является пеностекло или ячеистая стеклокерамика. Действительно, даже теоретически материал не может взаимодействовать ни с кислородом, ни с парами воды, поэтому срок его эксплуатации фактически неограничен и определяется сроком эксплуатации зданий и соо-

ружений, где он применяется. Структура материала не претерпевает изменений со временем, и потребительские свойства остаются неизменными. Это означает, что наиболее экономически и экологически эффективным методом утилизации пеностекла является его вторичное использование для производства новых строительных изделий.

Ранее было установлено, что большинство современных производителей пеностеклянных плит выпускают фактически окристаллизованный материал, т. е. пеностеклокерамику [5], традиционно называя материал пеностеклом. Эта особенность не имеет существенного значения с точки зрения эксплуатации, но является критичной при вторичной переработке материала, так как наличие кристаллической фазы подавляет термопластичные свойства материала.

На практике извлечь пеностеклянные или пеностеклокристаллические плиты из строительных конструкций в неизменном виде не представляется возможным без механических повреждений. Кроме того, еще на стадии строительства плиты разрезают в соответствии с требованиями проекта, что обуславливает невозможность получения при утилизации строительных конструкций товарных штучных изделий требуемых размеров. Однако всегда можно раздробить извлеченный ячеистый материал в щебень, который по свойствам неотличим от специально произведенного пеностеклянного или пеностеклокристаллического щебня. Поэтому задача вторичного использования пеностеклянных или пеностеклокристаллических плит на прак-

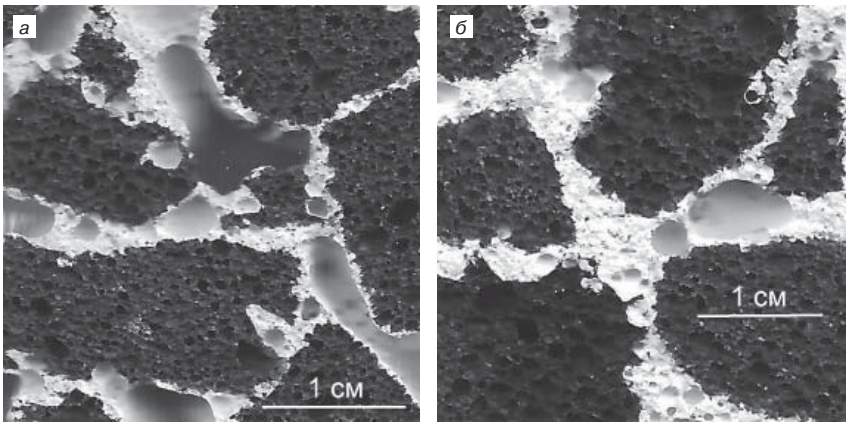


Рис. 1. Фотографии срезов композиционного материала из черного пеностеклянного щебня и белого портландцементного вяжущего при недостатке связующего (а) и при заполнении связующим всего межзернового пространства (б)

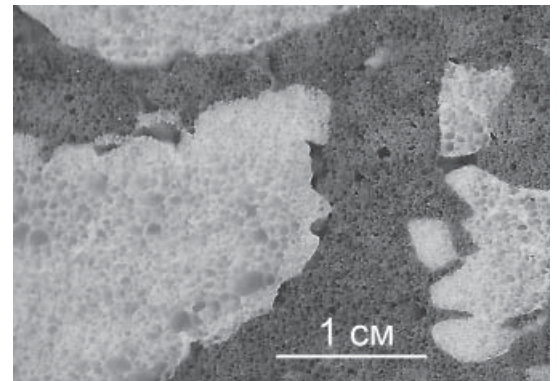


Рис. 2. Фотография среза композиционного материала из белого (окисленного) пеностеклокристаллического щебня на связке из черного (восстановленного) пеностеклокристаллического материала

тике может быть сведена к задаче изготовления новых ячеистых плит из пеностеклянного или пеностеклокристаллического щебня.

Наиболее очевидным решением этой задачи может быть измельчение полученного ячеистого щебня до фракций менее 80–100 мкм и применение такого порошка в технологии ячеистых плит как сырья. Однако такое решение не приводит к желаемому результату прежде всего потому, что измельченная в порошок стеклокерамика не может быть применена в качестве сырья в технологии пеностеклянных плит вследствие отсутствия у стеклокерамики необходимой термопластичности, т. е. заготовка, полученная из такого порошка, не вспенивается при нагреве. Сортировка вторичного ячеистого материала в соответствии с фазовым составом на аморфный и стеклокристаллический весьма затруднительна как с технической, так и с экономической точек зрения.

Как было указано выше, аналогичную задачу по использованию пеностеклянного щебня в строительстве решают и производители. Если оставить в стороне традиционное использование пеностеклянного щебня в строительстве дорог и засыпной теплоизоляции, то продолжают попытки получить плитные изделия на основе пеностеклянного щебня при скреплении частиц щебня тем или иным видом связующего. Получение аналогичных композиционных плит на основе заполнителя в виде пеностеклянного гравия позволяет получить композиционные плиты плотностью от 350 кг/м³ [6]. В отличие от пеностеклянного гравия (гранулята) пеностеклянный щебень имеет принципиально иную структуру поверхности. Фактически поверхность каждой частицы щебня представляет собой скол твердой пены с открытыми ячейками. Это приводит к закономерному обязательному заполнению открытых ячеек каждой частицы связующей композицией еще до того момента, когда оно сможет скрепить куски щебня между собой. Фотографии срезов такого композиционного материала представлены на рис. 1.

Обращает на себя внимание тот факт, что даже при незначительном количестве связующего компонента в композиции происходит обязательное заполнение им поверхности кусков ячеистого материала и только после полного заполнения всех открытых ячеек на поверхности кусков материала возможен процесс скрепления кусков, покрытых оболочкой связующего, между собой. При среднем диаметре ячеек материала 0,8–1,2 мм на поверхности каждого куска потребуются для их скрепления в единый блок корка из связующего материала толщиной не менее указанного диаметра ячеек. Нетрудно рассчитать, что в этом случае плотность готовой компо-

зиционной плиты из ячеистого щебня на связке из портландцемента получится выше 600 кг/м³ и при уменьшении среднего размера кусков щебня плотность плиты будет только возрастать. Поэтому говорить о таких блоках, как теплоизоляционных, не представляется возможным. Для получения теплоизоляционных блоков из пеностеклянного или пеностеклокристаллического щебня необходимо изменить вид связки между кусками щебня.

В связи с изложенным задачу получения штучных пеностеклянных или пеностеклокристаллических изделий невысокой плотности из насыпных ячеистых материалов можно рассматривать шире. По мнению авторов, с точки зрения эксплуатационных характеристик материала не имеет принципиального значения фазовое состояние изделия — материал может быть аморфным или кристаллическим, но важно, чтобы готовое изделие имело точные размеры и обладало низкой плотностью и теплопроводностью. Точно так же является несущественным фазовое состояние и форма насыпного ячеистого материала, применяемого в качестве легкого заполнителя для получения готового изделия. Это может быть как щебень, так и сферический гранулят. Критичным является структура связки такого заполнителя в готовом изделии, необходимо, чтобы связка имела ячеистую структуру.

Проведенные эксперименты показали возможность применения синтезируемого ячеистого стеклокристаллического материала в качестве связки для пеностеклянного или пеностеклокристаллического щебня или гравия. Действительно, ранее было установлено, что при получении пеностеклокристаллического материала по гидратной технологии на первом этапе сырьевая смесь обладает высокими вяжущими свойствами [7]. Это обстоятельство может быть использовано для связки ячеистого щебня в монолитную композицию на стадии подготовки материала для вспенивания. В качестве сырья был выбран пеностеклянный щебень фракции 5–20 мм с насыпной плотностью 105 кг/м³. Характеристики строительных материалов определяли по ГОСТ 17177–94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний».

Полисиликатная связка получена из диатомита Потанинского месторождения и гидроксида натрия по методике, описанной в [7]. В процессе термообработки полученный композиционный материал, состоящий из ячеистого щебня и полисиликатной связки, не изменяет своих геометрических размеров, а полисиликатная связка образует ячеистый стеклокристаллический материал, связывающий ячеистый щебень в единое изделие (рис. 2).

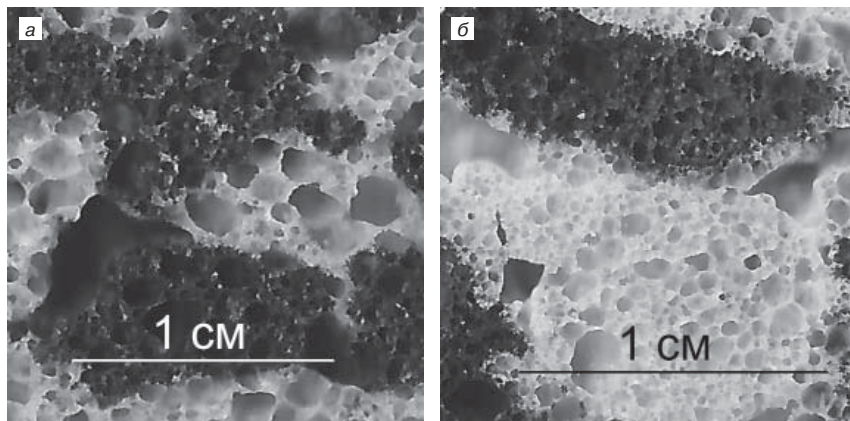


Рис. 3. Фотографии срезов композиционного материала из черного пеностеклянного щебня и белого пеностеклокристаллического вяжущего при заполнении вяжущим межзернового пространства (а) и при избытке вяжущего (б)

Образующийся материал имеет непрерывную однородную ячеистую структуру и по характеристикам неотличим от пеностеклокристаллического материала, полученного по стандартной технологии из первичного сырья. Ячеистый щебень аморфной или стеклокристаллической структуры выполняет роль заполнителя, поэтому наличие или отсутствие у него свойства термопластичности не играет роли в процессе обжига. Интересной особенностью спекания формирующихся из композиционных заготовок материалов является однородность получаемой структуры пены. Это обстоятельство можно использовать для получения ячеистых блоков из сферических заготовок [8]. Поэтому наличие полисиликатной связки между частицами щебня, образующей ячеистый материал при нагревании, приводит к получению пеностеклокристаллического материала в пространстве между частицами щебня. В результате структура пеностеклянного щебня остается неизменной, а пространство между кусками ячеистого щебня заполняется новым пеностеклокристаллическим материалом. Для визуализации этого факта были изготовлены образцы из пеностеклокристаллического щебня, полученного по восстановительному варианту (черного цвета), на связке из пеностеклокристаллического материала окисленного типа (белого цвета) по описанной ранее методике [9]. Очевидно, что ячеистый щебень органично входит в структуру готового материала (рис. 3). Полученный ячеистый материал обладает стеклокристаллической структурой, что было показано ранее [10].

Кажущаяся плотность и прочность на сжатие исследованных образцов ячеистых материалов

| Вид материала | Кажущаяся плотность, кг/м ³ | Прочность при сжатии, МПа |
|---|--|---------------------------|
| Образец производства Pittsburgh Corning | 140 | 0,7 |
| Образец производства «СТЭС-Владимир» | 160 | 1,1 |
| Образец производства НПП «Технология» | 135 | 0,7 |
| Образец, полученный по описанной методике из гранулированного пеностекла производства Vaugran | 260 | 2,1 |
| Образец материала, полученный по описанной методике из пеностеклокристаллического щебня | 290 | 2,3 |

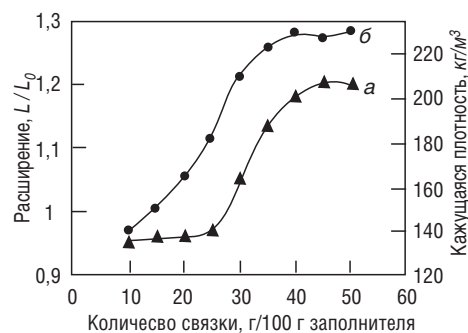


Рис. 4. Зависимость относительного расширения образца (L/L_0) – кривая а и кажущейся плотности – кривая б от количества связки в исходной композиции (г/100 г пеностеклянного щебня) черного (восстановленного) пеностеклокристаллического материала

Отдельной задачей в рамках создания технологии плитного пеностеклокристаллического материала на основе ячеистого щебня является определение количества связки, обеспечивающей заполнение всего свободного пространства между кусками щебня силикатной пеной в процессе термообработки. При свободном расширении в процессе пенообразования заготовки из прессованного порошка [11] или из химически связанного монолитного блока [10] происходит увеличение размеров заготовки и образование ячеистого изделия. В случае расположения полисиликатной связки между частицами щебня предполагается, что увеличение количества силикатной связки в исходной композиции приводит при термообработке к заполнению свободного пространства и только после этого начнут расти линейные размеры образца.

На рис. 4 показаны зависимости относительного расширения образца и кажущейся плотности от количества силикатной связки. Можно предположить, что при количестве силикатной связки менее 26–45 г на 100 г ячеистого щебня происходит заполнение новой силикатной пеной межзернового пространства между кусками пеностеклокристаллического щебня. Одновременно кажущаяся плотность образцов растет, что объясняется замещением воздуха межзернового пространства на образовавшуюся силикатную пену. После того как количество силикатной связки станет достаточным для заполнения всего межзернового пространства, дальнейшее увеличение ее количества приводит к росту блока и удалению кусков заполнителя друг от друга внутри расширяющейся пены. Кажущаяся плотность материала при этом остается неизменной, характеризуя кажущуюся плотность однородной пены.

Сравнение кажущейся плотности и прочности при сжатии полученных изделий с промышленно изготовленными (см. таблицу) позволяет заключить, что получаемый ячеистый стеклокристаллический материал незначительно уступает по теплоизоляционным свойствам известным изделиям, что может быть связано с увеличенной кажущейся плотностью материала. Однако такое увеличение плотности приводит к существенному увеличению прочности, что допускает применение материала не только как теплоизоляционного, но и как самонесущего, а при определенных условиях и как теплоизоляционно-облицовочного, что значительно расширяет область применения [5].

Ранее было показано [10], что в процессе термообработки полисиликата и получения ячеистого материала по гидратной технологии преобладающей кристаллической фазой в полученном материале является α -кварц с незначительной примесью кристобалита. В предложенном методе получения композиционного материала рентгенофазовый анализ подтвердил наличие этих фаз в готовом продукте.

Таким образом, применение полисиликатной связки, лежащей в основе композиции для синтеза пеностеклокристаллического материала по гидратной технологии, позволяет получать на основе пеностеклянного и пеностеклокристаллического щебня и гравия плиты заданных размеров с ячеистой однородной структурой. Полученный материал по своей структуре и потребительским характеристикам близок к пеностеклокристаллическим плитам, полученным по традиционным технологиям, а по некоторым показателям превосходит их, что расширяет области применения материала в строительстве. В результате открывается возможность возвращения пеностеклянных и пеностеклокристаллических плит в повторный жизненный цикл, что в полной мере соответствует стандартам зеленых технологий и устойчивого развития.

Список литературы

1. Теличенко В.И. От принципов устойчивого развития к «зеленым» технологиям // *Вестник МГСУ*. 2016. № 11. С. 5–6.
2. Бенуж А.А., Колчигин М.А. Анализ концепции зеленого строительства как механизма по обеспечению экологической безопасности строительной деятельности // *Вестник МГСУ*. 2012. № 12. С. 161–165.
3. Sieffert Y., Huygen J.M., Daudon D. Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering–architecture collaboration // *Journal of Cleaner Production*. 2014. № 67. Pp. 125–138. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.018>.
4. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks // *Construction and Building Materials*. 2011. № 25. Pp. 4037–4042. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.038>.
5. Кетов А.А. Перспективы пеностекла в жилищном строительстве // *Строительные материалы*. 2016. № 3. С. 79–81.
6. Пузанов С.И. Особенности использования материалов на основе стеклобоя как заполнителей портландцементного бетона // *Строительные материалы*. 2007. № 7. С. 12–15.
7. Вайсман Я.И., Кетов А.А., Кетов П.А. Научные и технологические аспекты производства пеностекла // *Физика и химия стекла*. 2015. Т. 41. № 2. С. 214–221.
8. Qu Y.-N., Xu J., Su Z.-G., Ma N., Zhang X.-Y., Xi X.-Q., Yang J.-L. Lightweight and high-strength glass foams prepared by a novel green spheres hollowing technique // *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. Issue 2. Pp. 2370–2377.
9. Вайсман Я.И., Кетов А.А., Кетов Ю.А., Молочко Р.А. Эффект окисления углерода парами воды при гидратном механизме газообразования при получении ячеистого стекла // *Журнал прикладной химии*. 2015. Т. 88. Вып. 3. С. 375–378.
10. Vaisman I., Ketov A., Ketov I. Cellular glass obtained from non-powder preforms by foaming with steam // *Ceramics International*. 2016. Vol. 42, pp. 15261–15268. Doi: [10.1016/j.ceramint.2016.06.165](http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.06.165).
11. Attila Y., Güden M., Taşdemirci A. Foam glass processing using a polishing glass powder residue // *Ceramics International*. 2013. № 39. Pp. 5869–5877. Doi: [10.1016/j.ceramint.2012.12.104](http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.12.104).

References

1. Telichenko V.I. From the Principles of Sustainable Development to “Green” Technologies. *Vestnik MGSU*. 2016. No. 3, pp. 5–6. (In Russian).
2. Benuzh A.A., Kolchigin M.A. Analysis of the Concept of “Green” Construction as a Vehicle to Ensure the Environmental Safety of Construction Activities. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 12, pp. 161–165. (In Russian).

3. Sieffert Y., Huygen J.M., Daudon D. Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering–architecture collaboration. *Journal of Cleaner Production*. 2014. No. 67, pp. 125–138. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.018>.
4. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Construction and Building Materials*. 2011. No. 25, pp. 4037–4042. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.038>.
5. Ketov A.A. Prospects of Foam Glass in Housing Construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 3, pp. 79–81. (In Russian).
6. Puzanov S.I. Features of Materials Using on the Basis of Glass Cullet as Aggregates in Portland Cement Concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 7, pp. 12–15. (In Russian).
7. Vaisman Ya.I., Ketov A.A., Ketov P.A. The Scientific and Technological Aspects of Foam Glass Production. *Glass Physics and Chemistry*. 2015. Vol. 41. No. 2, pp. 157–162.
8. Qu Y.-N., Xu J., Su Z.-G., Ma N., Zhang X.-Y., Xi X.-Q., Yang J.-L. Lightweight and high-strength glass foams prepared by a novel green spheres hollowing technique. *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. Issue 2, pp. 2370–2377.
9. Vaisman Ya.I., Ketov A.A., Ketov Yu.A., Molochko R.A. Oxidation of Water Vapor in Hydrate Gas-Formation Mechanism in Manufacture of Cellular Glass. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2015. Vol. 88. No. 3, pp. 382–385. (In Russian).
10. Vaisman I., Ketov A., Ketov I. Cellular glass obtained from non-powder preforms by foaming with steam. *Ceramics International*. 2016. Vol. 42, pp. 15261–15268. Doi: [10.1016/j.ceramint.2016.06.165](http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.06.165).
11. Attila Y., Güden M., Taşdemirci A. Foam glass processing using a polishing glass powder residue. *Ceramics International*. 2013. Vol. 39, pp. 5869–5877. Doi: [10.1016/j.ceramint.2012.12.104](http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.12.104).



Вышла в свет книга А. Кетова Бой стекла: трудный путь к ячеистому стеклу от бесполезных отходов

На английском языке.

В книге рассмотрены вопросы накопления и вторичного использования отходов стекла. Показано, что сложности с переработкой стекла связаны с инертностью материала и его высокой стоимостью. Особое внимание уделено химическим и термическим свойствам

стекла как основы для технологии его переработки в востребованные продукты. На основе детального описания ионообменных и термохимических свойств дисперсного стекла предложены методы промышленного использования стеклобоя как сырья.

Подробно описаны технологии производства вяжущих композиций и ячеистых материалов из стеклобоя. Изложены результаты исследований газообразования в термопластичных силикатных композициях. Показано преимущество гидратного механизма газообразования по сравнению с традиционным сульфатным, приводящее к возможности переработки несортного стекла, и технологии обжига заготовок в печи без металлических форм.

Особое внимание уделено потребительским свойствам полученных материалов и рыночным особенностям их применения. Представлены примеры использования полученных ячеистых материалов в различных объектах и обсуждаются возможные новые области применения.

Книга предназначена для широкого круга специалистов в области вторичной переработки отходов стекла и строительных материалов, а также будет полезна студентам природоохранных, материаловедческих и химических специальностей.

Книгу можно приобрести в интернет-магазине

www.morebooks.de

УДК 622.647.82

В.Г. КУЗНЕЦОВ, президент, генеральный директор (ppfp_astiki@mail.ru),

И.П. КУЗНЕЦОВ, коммерческий директор (astik_kp@mail.ru)

ООО «Ас-Тик КП» (109004, г. Москва, Тетеринский пер., 16)

Уплотнительные устройства из ППФП-Астики приемных бункеров ленточных конвейеров

Обычно приемные бункера ленточных конвейеров выполнены в виде двух параллельно установленных щитов с наклоном 20–30° к вертикальной плоскости. К нижней части щитов крепится уплотнение, выполненное, как правило, из технической резины или отработанной конвейерной ленты. При такой конструкции приемного бункера возникают повышенные нагрузки на боковые щиты и резиновые уплотнения, интенсивно изнашивается верхняя рабочая обкладка ленты конвейера на контакте с уплотнениями и образуются значительные просыпы грунта у мест загрузки ленты. Установка уплотнительных полос из ППФП-Астики с раскрывающимся зазором в направлении движения ленты конвейера позволяет исключить заклинивание твердых кусков грунта между лентой и уплотнителями, что приводит к значительному уменьшению продольного полосового износа рабочей стороны ленты, увеличению ее эксплуатационного срока службы, а также позволяет полностью ликвидировать простои бункеров, вызываемых частым обрывом резиновых уплотнителей.

Ключевые слова: приемный бункер, конвейер, грунт, резиновый уплотнитель, лента, уплотнитель из ППФП-Астики.

Для цитирования: Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. Уплотнительные устройства из ППФП-Астики приемных бункеров ленточных конвейеров // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 60–62.

V.G. KUZNETSOV, President, General Director (ppfp_astiki@mail.ru),
I.P. KUZNETSOV, Commercial Director (astik_kp@mail.ru)
ООО «Ас-Тик КП» (16, Teterinsky pereulok, 109004, Moscow, Russian Federation)

Sealing Arrangement Made of PFPF-Astiki for Receiving Hoppers of Belt Conveyers

Usually, the receiving hoppers of belt conveyers are made in the form of two parallel shields with inclination of 20–30° to the vertical plane. Sealing is made, as a rule, of technical rubber or a spent conveyor belt which is fixed to the bottom parts of shields. This design of the receiving hopper causes increased loads on the side shields and rubber sealing, an upper working cover of the conveyor belt intensively wears on the contact with sealing and, as a result, considerable soil spillages are formed near the place of belt loading. The installation of sealing strips of PFPF-Astiki with an opening gap in the direction of movement of the conveyor belt makes it possible to exclude the wedging of solid pieces of soil between the belt and sealers that leads to significant reducing the longitudinal strip wear of the working side of the belt, increasing its operation life as well as making it possible to liquidate downtimes of hoppers caused by the frequent breakage of the rubber sealers.

Keywords: receiving hopper, conveyor, soil, rubber sealer, sealer made of PFPF-Astiki.

For citation: Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. Sealing Arrangement Made of PFPF-Astiki for Receiving Hoppers of Belt Conveyers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 5, pp. 60–62. (In Russian).

Опыт эксплуатации конвейерного транспорта отечественного и импортного производства на карьерах и разрезах России и стран СНГ свидетельствует, что в отказах перегрузочных устройств 10–15% времени составляют простои, вызванные обрывами резиновых уплотняющих устройств, закрывающих щель между неподвижными боковыми щитами и конвейерной лентой с целью предотвращения просыпания горной массы. Обрыв возникает вследствие повышенных динамических нагрузок в момент формирования грузопотока горной массы в направляющих щитах приемных бункеров.

Обычно приемные бункера ленточных конвейеров выполнены в виде двух параллельно установленных металлических щитов с наклоном 20–30° к вертикальной плоскости [1]. К нижней части щитов, как правило, крепится уплотнение из технической резины или отработанной конвейерной ленты (рис. 1). При такой конструкции приемного бункера возникают повышенные нагрузки на боковые щиты и резиновые уплотнения, интенсивно изнашивается верхняя рабочая обкладка ленты конвейера на контакте с уплотнениями и образуются значительные просыпы у мест загрузки (рис. 2).

Было установлено [1], что твердые полимерные материалы, имеющие низкие показатели прилипаемо-

сти увлажненных горных пород и обладающие достаточной ударопрочностью и износостойкостью, можно эффективно использовать в качестве уплотнителей резинотканевых и резиноканальных лент приемных бункеров. Для этой цели рекомендуется применять уплотнители, изготовленные из полимерных противоналипающих футеровочных пластин – Астики (ППФП-Астики) [2–10]. Такие уплотнители (рис. 3) были установлены в приемных бункерах ленточных конвейеров вскрывных роторных экскаваторов, эксплуатирующихся на роторном комплексе SRS-2400 в Яворовском ПО «Сера» (Украина) и вскрывном роторном комплексе ЭР-1250 на Афанасьевском карьере цементного сырья (Россия). Следует отметить, что разрабатываемая горная масса была представлена в основном тяжелыми мергелистыми глинами, сезонная влажность которых изменялась от 20 до 35%. Повышенная влажность глины определяла ее высокую липкость к стальным металлоконструкциям и ленте.

Результаты опытно-промышленных испытаний показали, что установка уплотнительных полос из ППФП-Астики с раскрывающимся зазором в направлении движения конвейерной ленты позволила исключить заклинивание твердых кусков грунта между лентой и уплотнениями. В свою очередь, это привело к



Рис. 1. Установка резиновых уплотнителей в приемном бункере ленточного конвейера



Рис. 2. Фрагмент продольного полосового износа верхней рабочей обкладки резиноканвеевой ленты конвейера

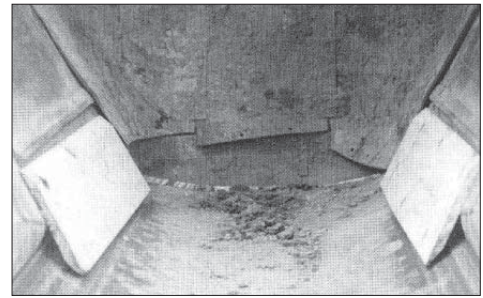


Рис. 3. Установка полимерных уплотнителей на основе ППФП-Астики в приемном бункере ленточного конвейера

уменьшению продольного полосового износа рабочей стороны ленты конвейера, который происходил интенсивно при использовании резиновых уплотнителей. Это существенно (более чем в два раза) увеличило эксплуатационный срок службы ленты. Кроме того, установка таких уплотнителей позволила полностью ликвидировать простои перегрузочных устройств, вызванные частым обрывом ранее используемых резиновых уплотнителей.

Дальнейшим развитием конструкции уплотнительных устройств является вариант борта ленточного конвейера, представленный на рис. 4.

Здесь предусмотрена возможность реагирования уплотнительной полосы в случае попадания между ней и конвейерной лентой твердых включений породы размером большим, чем зазор между лентой и уплотнительной полосой. Борт ленточного конвейера имеет ограждающий щиток 1, к нижней части которого прикреплен с зазором 2 относительно ленты 3 конвейера с возможностью перемещения по вертикали уплотнительная полоса 4 из листового полимерного материала, изготовленного из ППФП-Астики.

Уплотнительная полоса одним концом шарнирно закреплена к борту с возможностью вращательного движения в вертикальной плоскости. Это крепление выполнено с помощью ступенчатого пальца 5 с нарезкой на одном конце гайки 6 и шайбы 7, образующих шарнир. Палец плотно вставлен в тело уплотнительной полосы и свободно пропущен в отверстие, выполненное в ограждающем щитке, диаметр его нарезанной части меньше, чем диаметр смежной ненарезанной, несколько выступающей за борт в направлении шайбы. Такое выполнение шарнирного соединения обеспечивает гарантированный зазор между шайбой 7

и смежной поверхностью щитка и возможность вращательного (качательного) движения уплотнительной полосы.

По длине уплотнительная полоса в направлении движения ленты прикреплена таким образом, что она может перемещаться по вертикали ступенчатыми болтами 8, жестко закрепленными в ее теле и пропущенными в вертикальных пазах 9 щитка. Болты зафиксированы гайками 10 и шайбами 11. Высота паза больше диаметра пропущенного в нем болта 8 на величину хода уплотнительной полосы по вертикали. Такое крепление уплотнительной полосы позволяет зазору раскрываться (увеличиваться) в направлении движения ленты под действием попавшего в него куска грунта. Это способствует скорейшему выходу (выносу) этого куска из зазора, в результате чего уменьшается продольный полосовой износ ленты под уплотнительной полосой.

В вертикальных пазах под болтами установлены упругие элементы 12, которые служат для принудительного возврата уплотнительной полосы в исходное горизонтальное положение.

Устройство работает следующим образом. Грунт, поступающий сверху на движущуюся конвейерную ленту 3, под динамическим напором перемещается ею относительно ограждающих щитков. Поскольку уплотнительные полосы 4 установлены с зазором относительно ленты, ее износ от трения с этими полосами отсутствует. Зазор устанавливается минимальной величины, исключающей касание ленты и уплотнительных полос. Грунт не прилипает к уплотнительным полосам, так как они изготовлены из материала, исключающего налипание. Таким образом, нижняя рабочая часть щитков защищена уплотнительными полосами от налипания грунта и износа. Под действием усилий, направленных поперек конвейерной ленты и сверху, часть грунта перед зазором несколько уплотняется, в значительной мере перекрывая доступ основной его массы в этот зазор.

В случае попадания в зазор твердых абразивных включений грунта с размерами меньшими, чем высота зазора, эти включения не скапливаются в нем из-за прилипания снизу к уплотнительной полосе и далее между собой и не царапают ленту, а выносятся из зазора, так как прилипание к уплотнительной полосе в данном случае исключено. При попадании в зазор под действием динамического поперечного напора твердых включений грунта с размерами большими, чем высота этого зазора при горизонтальном положении уплотнительной полосы, заклинивание их в зазоре, а следовательно, и повышенный полосовой износ верхней обкладки конвейерной ленты исключается. Это происходит потому, что уплотнительная полоса имеет возможность несколько приподниматься под действием попавшего в зазор куска,

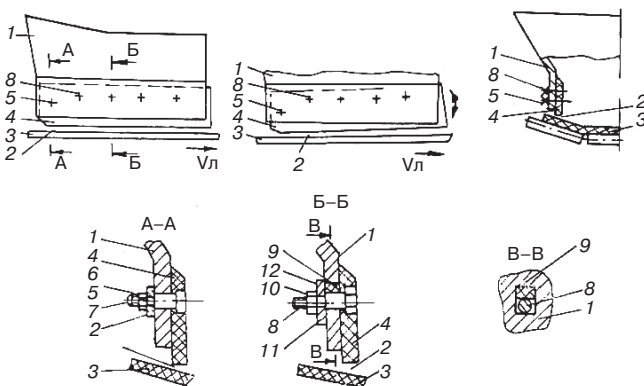


Рис. 4. Схема борта ленточного конвейера [2]: 1 – ограждающий щиток; 2 – зазор; 3 – лента конвейера; 4 – уплотнительная полоса из ППФП-Астики; 5 – ступенчатый палец; 6 – гайка; 7 – шайба; 8 – ступенчатые болты; 9 – вертикальные пазы щитка; 10 – гайка; 11 – шайба; 12 – упругие элементы

повернувшись на шарнире-пальце 5 и сжав упругие элементы 12. При этом зазор раскрывается в сторону движения куска, что способствует этому движению под действием движущейся ленты без заклинивания и существенно уменьшает ее продольный полосовой износ. После выхода твердого включения грунта из раскрывшегося зазора уплотнительная полоса под действием собственной массы и упругих элементов возвращается в исходное горизонтальное положение. Обеспечение возможности возврата уплотнительной полосы в положение с минимальным зазо-

ром существенно снижает количество просыпи грунта с ленты.

Рассмотренные выше конструктивные решения уплотнительных устройств из ППФП-Астики могут широко, надежно и эффективно использоваться как в проектируемых, так и в эксплуатируемых приемных бункерах с нормированными ширинами между их стенками в диапазоне 800, 1000, 1200, 1350, 1750 и 2000 мм в сочетании с ширинами тканевых и резино-тросовых лент конвейеров соответственно 1200, 1600, 1800, 2000, 2500 и 2800 мм [11].

Список литературы

1. Киселев Н.Н., Авигдор Г.А., Кузнецов В.Г. и др. Устранение налипания горной массы в узлах перегрузки вскрышных комплексов непрерывного действия // *Горный журнал*. 1983. № 9. С. 47–48.
2. Кузнецов В.Г., Ильченко С.В. Уплотнительные устройства приемных бункеров ленточных конвейеров // *Промышленность строительных материалов г. Москвы*. 1992. № 3–4. С. 28–32.
3. Кузнецов В.Г., Затковецкий В.М., Кузнецов И.П. и др. Полимерные футеровочные пластины – эффективное решение проблемы налипания увлажненных материалов на рабочие поверхности технологического оборудования // *Строительные материалы*. 2005. № 5. С. 32–34.
4. Кузнецов В.Г., Затковецкий В.М., Кузнецов И.П. Подбор полимерных противоналипающих футеровочных пластин в зависимости от крепости горной породы // *Строительные материалы*. 2005. № 10. С. 86–87.
5. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. Определение толщины полимерной противоналипающей футеровочной пластины для различных условий эксплуатации оборудования // *Строительные материалы*. 2007. № 5. С. 13–14.
6. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Копылов С.В. Оценка экономической эффективности внедрения полимерных противоналипающих футеровочных пластин // *Строительные материалы*. 2006. № 9. С. 48.
7. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Бородин А.А. и др. Заводской выпуск бункеров, оборудованных эффективным средством борьбы с налипанием материалов – ППФП-Астики // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 54–56.
8. Кузнецов В.Г., Кочетов Е.В., Кузнецов И.П. Повышение эффективности использования строительной техники на увлажненных грунтах // *Строительные и дорожные машины*. 2012. № 4. С. 2–4.
9. Кузнецов В.Г., Кочетов Е.В., Кузнецов И.П. Повышение качества рабочих поверхностей технологического оборудования на стадиях проектирования и изготовления за счет применения эффективного средства борьбы с налипанием сырьевых материалов ППФП-АСТИКИ // *Механизация строительства*. 2015. № 1. С. 29–31.
10. Кузнецов В.Г., Киселев Н.Н., Кочетов Е.В., Кузнецов И.П. Снижение влияния липкости горных пород и сырьевых материалов на работоспособность оборудования за счет применения ППФП-Астики // *Строительные материалы*. 2017. № 1–2. С. 99–103.
11. Авигдор Г.А., Ковригин В.А., Кузнецов В.Г. и др. Определение пропускной способности приемной части узла перегрузки. Добыча угля открытым способом // *ЦНИИУголь*. 1978. № 11. С. 16–18.

References

1. Kiselev N.N., Avigdor G.A., Kuznetsov V.G. et al. Elimination of sticking of rock mass in the nodes of overload of overburden complexes of continuous action. *Gornyi zhurnal*. 1983. No. 9, pp. 47–48. (In Russian).
2. Kuznetsov V.G., Il'chenko S.V. Sealing devices of receiving hoppers of belt conveyors. *The construction materials industry in Moscow*. 1992. No. 3–4, pp. 28–32. (In Russian).
3. Kuznetsov V.G., Zatkovetskii V.M., Kuznetsov I.P. and al. Polymer lining plates – an effective solution to the problem of sticking moistened materials on the working surfaces of process equipment. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2005. No. 5, pp. 32–34. (In Russian).
4. Kuznetsov V.G., Zatkovetskii V.M., Kuznetsov I.P. Selection of polymeric antiplaning lining plates depending on the strength of the rock. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2005. No. 10, pp. 86–87. (In Russian).
5. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. Determination of the thickness of the polymer anti-lamination lining plate for various operating conditions of the equipment. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2007. No. 5, pp. 13–14. (In Russian).
6. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Kopylov S.V. Estimation of economic efficiency of introduction of polymer anti-lamination lining plates. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2006. No. 9, p. 48. (In Russian).
7. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Borodin A.A. i dr. factory production of bunkers equipped with efficient means of struggle with adhering of materials – PPFPP-Astiki. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2013. No. 5, pp. 54–56. (In Russian).
8. Kuznetsov V.G., Kochetov E.V., Kuznetsov I.P. Increasing the efficiency of the use of construction equipment on humidified soils. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2012. No. 4, pp. 2–4. (In Russian).
9. Kuznetsov V.G., Kochetov E.V., Kuznetsov I.P. Improvement of quality of working surfaces of technological equipment at the design and manufacturing stages due to the use of an effective means of combating the sticking of raw materials PFPF-Astiki. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 2015. No. 1, pp. 29–31. (In Russian).
10. Kuznetsov V.G., Kiselev N.N., Kochetov E.V., Kuznetsov I.P. Reducing the influence of stickiness of rocks and raw materials on working efficiency of equipment due to application of PPFPP-Astiki. *Stroitel'nye Materialy [Construction materials]*. 2017. No. 1–2, pp. 99–103. (In Russian).
11. Avigdor G.A., Kovrigin V.A., Kuznetsov V.G. et al. Determine the throughput capacity of the receiving part of the overload node. Extraction of coal by open method. *TsNIEUgol'*. 1978. No. 11, pp. 16–18. (In Russian).



ООО «Ас-Тик КП»



ПОСТАВКА ПОЛИМЕРНЫХ ПРОТИВОНАЛИПАЮЩИХ
ФУТЕРОВОЧНЫХ ПЛАСТИН – ППФП-АСТИКИ
ДЛЯ ЭКСКАВАТОРНОГО, ТРАНСПОРТНОГО И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



ООО «Ас-Тик КП» – «ЛИДЕР ОТРАСЛИ 2014 г.»

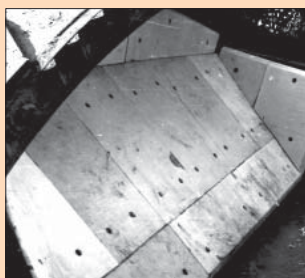
Национальный сертификат Л10.9N20/14209 за высокий вклад в развитие российской экономики, добросовестную уплату налогов, достижение высоких экономических показателей в отраслевом рейтинге по ОКВЭД 25.24.9 «Предоставление услуг в области производства пластмассовых деталей».

Проблема налипания материала на рабочие поверхности оборудования решена!

Противоналипающие полимерные футеровочные пластины ППФП-Астики – эффективное средство борьбы с налипанием различных материалов на рабочие поверхности экскаваторного, транспортного и технологического оборудования.

ППФП-Астики обладают:

- ◆ низким коэффициентом трения;
- ◆ высокой гидрофобностью, износостойкостью, ударопрочностью, химической стойкостью;
- ◆ широким температурным диапазоном эксплуатации.

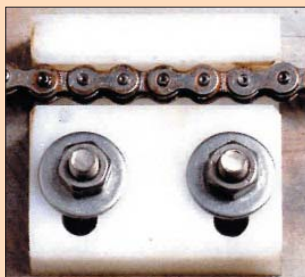


ППФП-Астики выпускаются по ТУ-2246-001-22711279–2008 различных размеров, технологичны, надежны в эксплуатации.

Эффективность ППФП-Астики подтверждается долговременной успешной эксплуатацией в качестве облицовки рабочих поверхностей различного технологического оборудования.



ООО «Ас-Тик КП» осуществляет на договорных условиях выпуск и поставки ППФП-Астики различной износостойкости и долговечности, оказывает необходимые консультации, связанные с выбором ППФП-Астики для конкретных условий эксплуатации экскаваторного, транспортного и технологического оборудования и их эффективным внедрением в производство, а также совместно с заводами металлоконструкций производит в заводских условиях выпуск новых бункеров, оборудованных ППФП-Астикой.



ООО «Ас-Тик КП»

Тел./Факс: (495) 718-48-12 E-mail: astik_kp@mail.ru; ppfp_astiki@mail.ru

Обзор состояния российского рынка щебня и гравия

Приведены сведения о состоянии и основных тенденциях развития российского рынка щебня и гравия: данные об объемах и динамике производства и потребления, уровне цен.

Ключевые слова: щебень, гравий, нерудные материалы, анализ рынка

Товарный сегмент щебня и гравия занимает существенную долю рынка нерудных материалов. При этом учет объемов производства этих видов товарной продукции органами государственной статистики, как и для ряда других видов строительных материалов ведется не вполне корректно. Это обусловлено несколькими факторами.

Во-первых, методологией учета. С 2010 г. Росстат перешел на учет объемов производства товарной продукции в соответствии с классификатором ОКПД. В товарную группу 24.10.10.110 «Галька, гравий, щебень» входили следующие подгруппы: гравий мытый, гравий немый, смесь песчано-гравийная, галька и кремневый гравий, щебень строительный мытый, щебень строительный немый, щебень из пористых горных пород, щебень и гравий из природного камня прочие. При этом разделение данных на товарные подгруппы при оперативном (ежемесячном) учете не проводилось, таким образом включение в учет песчано-гравийных смесей (занимала порядка 20% от общего объема производства по группе «галька, щебень, гравий») привело к заметному «увеличению» объемов производства. С 2017 г. учет ведется в соответствии с новым классификатором ОКПД 2, гармонизированным со Статистической классификацией продукции по видам деятельности в Европейском экономическом сообществе (СРА 2008). При переходе на новый классификатор Росстат планирует провести ретроспективный пересчет индексов производства по месяцам и периодам 2015–2016 гг. с использованием усовершенствованного варианта применявшейся ранее «корзины» товаров-представителей (как за счет включения новых позиций, так и за счет замены сводных группировок товаров их ассортиментным составом). Однако пока пересчет ведется только при сопоставлении данных оперативной производственной статистики 2017 г. с аналогичными периодами 2016 г. При этом в новом классификаторе ОКПД 2 товарные группы «щебень» и «гравий» учитываются и в оперативных данных Росстата.

Во-вторых, ряд предприятий вовсе не предоставляет данные об объемах производства в органы статистики или предоставляет некорректные данные. Эта информация получена аналитиками «ГС-Эксперт» в рамках проведенных опросов нескольких сотен крупных и средних предприятий при выполнении комплексных

исследований региональных рынков щебня и гравия (40 регионов России), выполненных в 2016 г. В частности, некоторые карельские производители щебня отчитываются в тоннах, а не кубических метрах, что приводит к существенному завышению производственных показателей. Также некоторые производители известняков для производства цемента и извести, в том числе и для собственного производства, учитывают выпуск этой продукции как производство щебня, что также ведет к некорректному отражению реальной ситуации.

Таким образом, можно сказать, что проблема учета объемов производства нерудных материалов, в частности, щебня и гравия, носит комплексный системный характер и приводит к искажению данных, которые используются при оперативном и стратегическом планировании на всех уровнях.

По уточненным данным Росстата, объем производства «гальки, щебня, гравия» в 2015 г. составил 221,9 млн м³, что на 7% меньше, чем годом ранее. Согласно оперативным данным, по итогам 2016 г. объем производства этой продукции снизился еще на 0,3% до 219,8 млн м³ (уточненные данные будут доступны не ранее мая-июня текущего года). По оценкам «ГС-Эксперт», объем производства щебня и гравия в 2016 г. составил около 172 млн м³, в том числе щебня — около 161 млн м³. Таким образом, если сопоставить данные с уровнем докризисного 2008 г., то можно увидеть, что в 2016 г., согласно данным Росстата, объем производства вырос на 10%, однако при сопоставлении данных только по щебню и наблюдается падение объемов производства на 14%, т. е. за последние 8 лет промышленность нерудных материалов так и не смогла восстановиться.

Согласно данным Росстата, за 1-й квартал 2017 г. объема производства щебня и гравия в России выросли на 8,4% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года до 33,6 млн м³ (рис. 2).

При этом если во втором полугодии 2016 г. наблюдалось стабильное сокращение объемов производства по сравнению с аналогичными периодами предыдущего года, то в январе-марте 2017 г. органы статистики фиксируют устойчивый рост производственных показателей.

В 2016 г. рост объемов производства наблюдался только в Северо-Западном и Уральском федеральных округах (рис. 3). Положительная производственная ди-

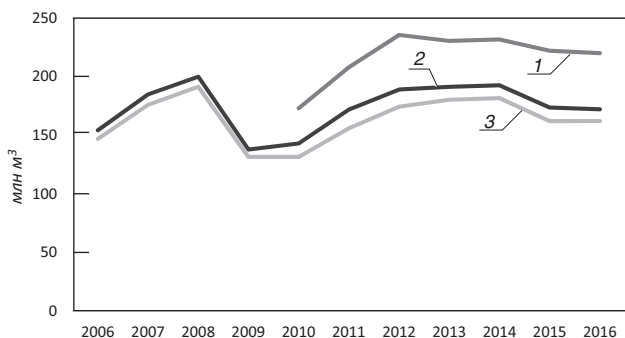


Рис. 1. Объемы производства щебня и гравия в России в 2006–2016 гг. Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»: 1 — галька, гравий, щебень; 2 — щебень и гравий; 3 — щебень

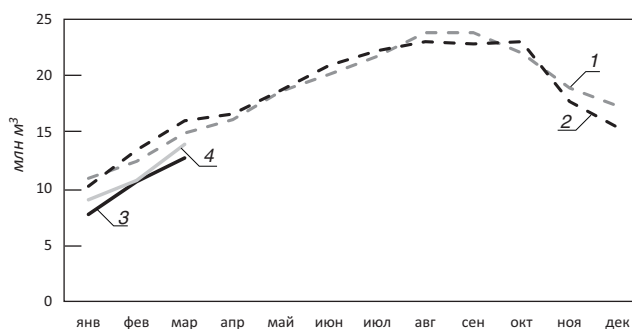


Рис. 2. Ежемесячные объемы производства щебня и гравия в 2016–2017 гг. Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»: 1 — 2015 г.; 2 — 2016 г.; 3 — 2016 г.; 4 — 2017 г. (* — данные 2015–2016 гг. по группе «галька, щебень, гравий»)

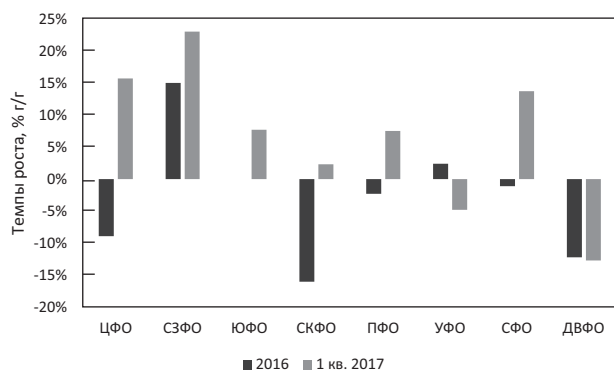


Рис. 3. Динамика производства щебня и гравия в разрезе федеральных округов. Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

динамика отмечена лишь в 26 из 73 субъектов федерации. Лидерами по темпам роста производства стали: Республика Коми – рост в 3,7 раза; Тюменская область – рост в 3 раза; Еврейская АО – рост в 1,8 раза; Архангельская область – рост в 1,7 раза; Сахалинская область – рост в 1,5 раза. Наибольшее падение объемов производства (более чем на 30%) продемонстрировали: Московская, Орловская, Магаданская области, республики Кабардино-Балкария, Адыгея, Чеченская, Удмуртская, Чувашская, Алтай, Саха (Якутия), Ставропольский и Хабаровский края.

По итогам 1-го квартала 2017 г. рост объемов производства щебня и гравия отмечен во всех федеральных округах за исключением Уральского и Дальневосточного. Положительную динамику показали 37 из 68 субъектов федерации. Лидеры по темпам роста производства: Магаданская обл. – рост в 16,8 раза, Республика Коми – рост в 4,4 раза, Ярославская область – рост в 2,7 раза, Сахалинская и Тульская области – рост в 1,8 раза, Калининградская область – рост в 1,5 раза. Наибольшее падение объемов производства (более чем на 40%): Удмуртская Республика, Пензенская область, Республика Адыгея, Чувашская Республика, Кабардино-Балкарская Республика, Псковская область, Республика Бурятия.

После пяти лет стабильного роста объемы импорта щебня в 2015 г. снизились почти в два раза до 9,5 млн м³ благодаря введению постановления Правительства РФ №815 от 06.08.2015 г. «О лицензировании импорта щебня и гравия», которое существенно ограничило поставки украинского щебня. Действие данного постановления неоднократно пролонгировалось. В 2016 г. объем импорта составил всего около 9 млн м³.

При этом около 72% щебня было ввезено в РФ из Беларуси, около 20% – из Украины. Стоит отметить, что зачастую через территорию Беларуси поставлялся и попавший под ограничительные меры украинский щебень. Кроме того, во втором полугодии 2016 г. существенно вырос и легальный импорт украинского щебня. Так, если в 1-м квартале 2016 г. в Россию было поставлено всего 39 тыс. м³ украинского щебня трех производителей, то в 4-м квартале поставки осуществляли уже 14 украинских компаний, суммарно отгрузивших в РФ почти 0,9 млн м³ своей продукции. Всего за 2016 г. в Россию было официально ввезено порядка 1,8 млн м³ украинского щебня.

В январе-марте 2017 г. объем импорта щебня и гравия составил около 2,3 млн м³, что в 2,1 раза превышает уровень 1-го квартала 2016 г.. Около 88% импорта пришлось на долю Белоруссии, 8% - на долю Норвегии (поставки в Калининградскую область), 2% – на долю Украины.

Доля импортного щебня на российском рынке в 1-м квартале 2017 г. увеличилась до 8,6% против 5% в 2016 г.

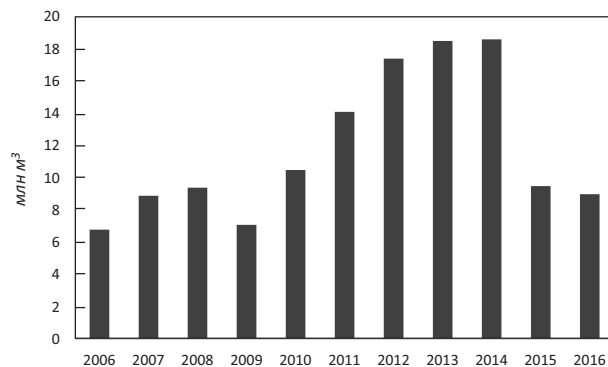


Рис. 4. Объемы импорта щебня и гравия в 2006–2016 гг. Источник: ФТС РФ, Белстат, КГД МФ РК, оценка «ГС-Эксперт»

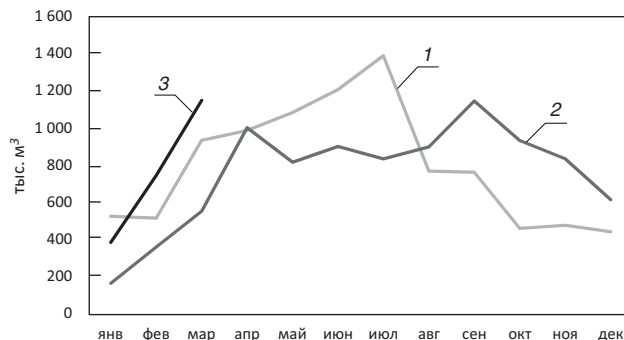


Рис. 5. Помесячные объемы импорта щебня и гравия в 2015–2017 гг. Источник: ФТС РФ, Белстат, КГД МФ РК, оценка «ГС-Эксперт»: 1 – 2015; 2 – 2016; 3 – 2017

Объемы экспорта российского щебня и гравия в последние годы не превышали 300 тыс. м³ в год и практически не оказывали влияния на состояние рынка. В 2016 г. за рубеж было отгружено всего порядка 100 тыс. м³ этой продукции, в 1-м квартале 2017 г. – только 7 тыс. м³. Экспортные поставки осуществляются, преимущественно в Казахстан, Украину (Донецкая область) и Беларусь, т. е. фактически осуществляется приграничная торговля.

В 2016 г., по оценкам «ГС-Эксперт», «видимое» потребление в сегменте «галька, гравий, щебень» (производство + импорт – экспорт) снизилось на 0,4% до 229 млн м³. С учетом изменения нереализованных складских запасов производителей потребление в данном сегменте выросло на 1,6% до 226 млн м³. В сегменте «щебень и гравий» в 2016 г. потребление оценивается в 178 млн м³ (+1,7% к 2015 г.).

В 2016 г. рост объемов потребления щебня и гравия отмечен в 40 регионах России. Крупнейшими рынками сбыта этой продукции стали Москва и Московская область – около 9% общероссийского потребления, Санкт-Петербург и Ленинградская область – около 6% и Тюменская область – порядка 5%.

Средняя цена производителей (без учета НДС и доставки) на щебень, по данным Росстата, в 2016 г. составила 464 р./м³ (+2,2% по сравнению с 2015 г.), в январе-марте 2017 г. – 457 р./м³ (+3,3% к 1 кв. 2016 г.).

Средняя цена приобретения щебня (с учетом НДС, доставки, сбытовых и посреднических расходов) в 2016 г. составила 1065 р./м³ (+6,6% по сравнению с 2015 г.), в январе-марте 2017 г. – 1122 р./м³ (+7,8% к 1 кв. 2016 г.).

А.А. Семенов,
канд. техн. наук, генеральный директор ООО «ГС-Эксперт»
E-mail: info@gs-expert.ru
www.gs-expert.ru

И.Д. УСТИНОВ¹, д-р хим. наук, А.Д. ШУЛОЯКОВ², канд. техн. наук,

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

² ООО «Интерстройпроект» (191036, г. Санкт-Петербург, Невский проспект, 128, лит. А)

Производство кубовидного щебня – инновационный этап развития промышленности строительных материалов

Показано, что повышенный спрос на кубовидный щебень в начале 2000-х гг. привел к усложнению технологических линий, как за счет установки дополнительного главным образом импортного оборудования, так и увеличению числа внутренних возвратных циклов, и как следствие, к значительному росту капитальных и энергетических затрат на производство щебня, а также увеличению отсевов дробления фракции 0–5 мм. Построение математических моделей разрушения твердых материалов в камере дробления позволило теоретически обосновать метод принудительного самоизмельчения материалов внутри собственного слоя под воздействием виброимпульсного сжатия и одновременным сдвигом при дозировании силы воздействия на слой материала по величине предела прочности дефектных поверхностей его структуры. На этой научной основе НПК «Механобр-техника» разработаны и выпускаются в широком конструктивном и типоразмерном диапазоне конусные инерционные дробилки КИД[®]*, в которых жесткая связь между конусами заменена на динамическую. Приведены технические характеристики дробилки КИД-1500 и КИД-1750, которые позволяют получать щебень для железнодорожного балласта фракции 25–60 мм. Показана технологическая схема действующей технологической линии на Тургойском рудоуправлении в Челябинской области, в которой роторная дробилка I-1312 заменена на КИД-1500. Дробление осуществляется в две стадии с выпуском товарных фракций щебня 40–70, 20–40, 5–20 мм. Выход отсевов сократился на 40–50%, а срок службы дробящих футеровок повысился на 60–70%.

Ключевые слова: кубовидный щебень, конусная инерционная дробилка, вибрационный грохот, дробильно-сортировочное оборудование, дезинтеграция, принудительное самоизмельчение, виброимпульсное сжатие.

Для цитирования: Устинов И.Д., Шулояков А.Д. Производство кубовидного щебня – инновационный этап развития промышленности строительных материалов // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 66–68.

I.D. USTINOV¹, Doctor of Sciences (Chemistry); A.D. SHULOYAKOV², Candidate of Sciences (Engineering)

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

² ООО «Интерстройпроект» (128A, Nevsky Prospect, 191036, St. Petersburg, Russian Federation)

Production of Cubiform Crushed Stone is an Innovative Stage of Development of Building Materials Industry

It is shown that the increase demand for cubiform crushed stone in the beginning of the 2000s led to the complication of technological lines both due to the installation of additional, import mainly, equipment and increase in the number of internal return cycles and, as a consequence, to significant growth of capital and energy costs for production of crushed stone as well as to the increase in crushing screenings of 0–5 mm fraction. The construction of a mathematical model of solid materials fracture in the crushing chamber made it possible to theoretically substantiate the method of forced self-crushing of materials inside the own layer under the effect of vibro-impulse compression and simultaneous shear when dosing the effect force on the material layer according to the value of strength limit of defect surfaces of its structure. On this scientific base, REC «Mekhanobr-Tekhnika» has developed and produces in a wide structural and dimension-types range the cone inertial crushers КИД[®] in which the rigid connection between cones was replaced by dynamic one. Technical characteristics of the crushers КИД-1500 and КИД-1750 (KID), which make it possible to receive the crushed stone of a 25–60 mm fraction for railway ballast, are presented. The technological scheme of the operating line at the Turgoyak Mine Management in the Chelyabinsk Region, where the rotor crushed I-1312, was replaced with KID-1500 is shown. Crushing is carried out in two stages with the production of 40–70 mm, 20–40 mm, 5–20 mm commercial fractions of crushed stone. The output of screenings was reduced by 40–50%, the lifetime of crushing linings increased by 60–70%.

Keywords: cubiform crushed stone, cone inertial crusher, vibration crusher, vibrating screen, crushing-sorting equipment, disintegration, forced self-crushing, vibro-impulse compression.

For citation: Ustinov I.D., Shuloyakov A.D. Production of Cubiform Crushed Stone is an Innovative Stage of Development of Building Materials Industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 66–68. (In Russian).

Эффективность промышленного и дорожного строительства во многом определяется состоянием отрасли нерудных строительных материалов. Обладая огромными запасами минерального сырья, Россия все еще уступает зарубежным производителям по производству средств его добычи и переработки. Отставание машиностроительной отрасли в создании современных средств дезинтеграции привело к тому, что технологические линии многих заводов по производству щебня состоят из физически и морально устаревшего оборудования.

Высокий спрос на щебень в 2000-е гг. обеспечил возможность реконструкции многих предприятий, главным образом за счет импортного оборудования. Это позволило удовлетворить потребителя в объемах, но возросшие требования к качеству щебня поставили производителя перед новой задачей. Появившийся спрос на кубовидный щебень широкого фракционного состава привел к усложнению технологических линий, как за счет установки дополнительного, главным образом, импортного оборудования, так

и увеличению числа внутренних возвратных циклов. Такое решение вызвало значительный рост капитальных и энергетических затрат на производство щебня и, как следствие, снижение прибыли производителей. Одним из путей выхода из вновь возникшей проблемы является создание новых видов дробильно-сортировочного оборудования отечественного производства, по сути, импортозамещение.

Значительные успехи в создании дезинтегрирующих систем были достигнуты в результате разработки технологии вибрационного дробления [1, 2]. Построение математических моделей разрушения твердых материалов в камере дробления позволило теоретически обосновать метод принудительного самоизмельчения материалов внутри собственного слоя под воздействием виброимпульсного сжатия и одновременным сдвигом при дозировании силы воздействия на слой материала по величине предела прочности дефектных поверхностей его структуры [2]. Для этого в эксцентриковой дробилке жесткая связь между конусами заменена на динамическую.

* КИД[®] – зарегистрированный торговый знак НПК «Механобр-техника».



Рис. 1. Принципиальная схема размещения оборудования на Тургойском рудоуправлении. 1 – щековая дробилка J-1175, 2 – роторная дробилка I-1312, 3 – конусная инерционная дробилка KID-1500, 4 – грохоты вибрационные

Выпускаемая в широком конструктивном и типоразмерном диапазоне конусная инерционная дробилка КИД® эффективно используется в различных отраслях промышленности. Дробилки типоразмеров от КИД-300 до КИД-1200 многократно прошли проверку на многих зарубежных и отечественных предприятиях [3, 4].

Несмотря на высокую эффективность КИД-технологии, ее широкое распространение сдерживается, прежде всего, недостаточной осведомленностью, как заказчиков, так и проектных организаций. Кроме того, отсутствие больших типоразмеров дробилок КИД затрудняло их сочетание со щековыми дробилками первичного дробления, а также не позволяло получать щебень для железнодорожного балласта фракции 25–60 мм. В связи с этим в «Механобр-технике» разработана техническая документация на дробилки КИД-1500 и КИД-1750. Технические характеристики этих дробилок приведены в таблице.

Для проведения полномасштабных промышленных испытаний проектная организация «Интерстройпроект» обосновала возможность использования новых дробилок в действующих технологических линиях на Тургойском рудоуправлении в Челябинской области и предприятии «Карат» (месторождение «Карьер №7», г. Братск, Иркутской области).

Эксплуатируемая на предприятии «Тургойское рудоуправление» мобильная установка «Тегех» состоит из двух

Технические характеристики дробилок КИД-1500 и КИД-1750

| Диаметр основания дробящего конуса, мм | 1500 | 1750 |
|---|------|------|
| Максимальная крупность исходного куска D_{\max} , мм, не более | 140 | 250 |
| Производительность, $m^3/ч$ | 180 | 310 |
| Максимальная крупность кусков в продукте дробления, d_{\max} , мм | 40 | 70 |
| Установленная мощность двигателя, кВт | 315 | 500 |
| Габаритные размеры, мм: | | |
| – длина | 4490 | 5230 |
| – ширина | 3000 | 3520 |
| – высота | 3850 | 4480 |
| Масса, т | 63 | 104 |

агрегатных самоходных установок (1 и 2) со своими бункерами, питателями, дробилками, грохотами и конвейерами (рис. 1)

Первая стадия дробления осуществляется щековой дробилкой J-1175 с простым качанием щеки. Размер приемного отверстия 1070×762 мм (А), вторая – роторной дробилкой I-1312 с размером приемного отверстия 1100×1200 мм (Б). Дробление известняка на этой установке в две стадии характеризуется высоким выходом отсевов 0–5 мм и повышенным износом дробящих бил на роторной дробилке.

Специалистами НПК «Механобр-техника» и ООО «Интерстройпроект» были проведены шеф-монтажные и пусконаладочные работы по замене роторной дробилки I-1312 на КИД-1500.

Реконструированная схема эксплуатируется следующим образом (рис. 1). Известняк крупностью до 650 мм поступает в щековую дробилку J-1175 (1) и после дробления до -140 мм конвейером подается на вторую стадию в КИД-1500 (3). Затем, дробленый до -70 мм щебень на вибрационных грохотах (4), разделяется на товарные фракции 40–70, 20–40, 5–20 и 0–5 мм. Производительность дробилки КИД-1500 при этом составила 200–250 т/ч.

Проведенные совместные промышленные испытания подтвердили возможность получения более высоких качественных характеристик щебня по сравнению с ранее достигнутыми. Выход отсевов сократился на 40–50%, а срок службы дробящих футеровок повысился на 60–70%.

Проведение промышленных испытаний дробилки КИД-1750 (см. таблицу) планируется на предприятии «Карат» в г. Братск Иркутской области. Следует отметить, что это предприятие уже имеет положительный

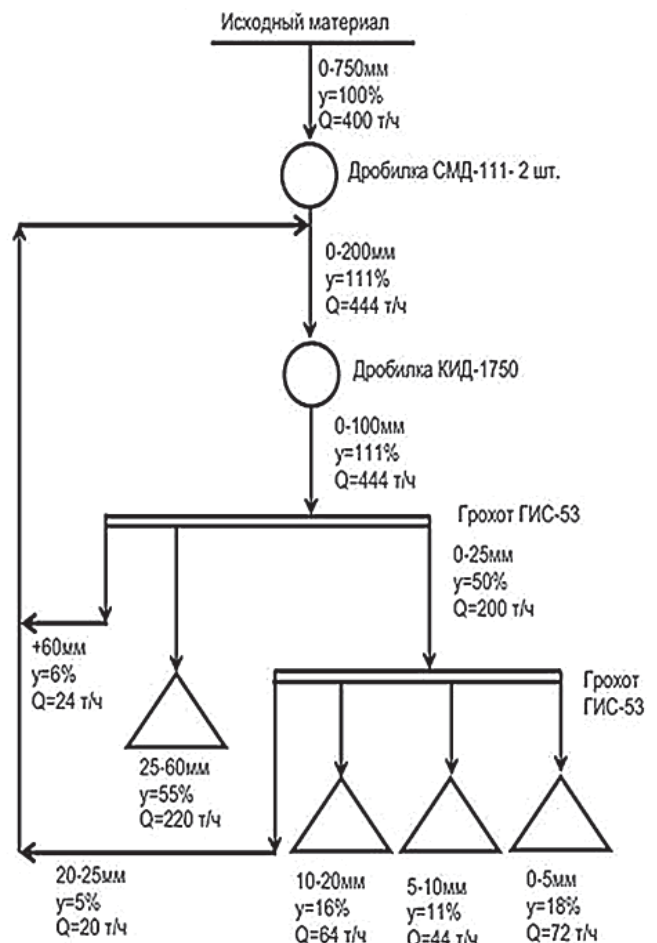


Рис. 2. Технологическая схема производства кубовидного щебня на предприятии «Карат»

опыт по внедрению КИД-технологии. Произведенная несколько лет назад дробилка КИД-1200 и установленная в технологии вместо дробилки КМД-1750 обеспечила снижение выхода зерен пластинчатой и игольчатой формы в диабазовом щебне в 3–4 раза, а отсевов – более чем 2 раза. Переход на двухстадийную схему дробления предполагает монтаж дробилки КИД-1750 на существующий фундамент вместо дробилки КСД-2200. Поставляемая дробилка КИД-1750 оснащена маслостанциями высокого и низкого давления, блоками управления, включающими шкафы управления и преобразователем частоты тока, обеспечивающим регулировку режимов дробления на «ходу» и другими вспомогательными устройствами. По сути, это уже мехатронный комплекс.

Технологическая линия переработки диабазов представлена на рис. 2. Главным достоинством этой линии является максимальное получение наиболее востребованных промышленностью фракций кубовидного щебня в две стадии.

Список литературы

1. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я. Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения. СПб: Издательство ВСЕГЕИ, 2004.
2. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П. Новое поколение щековых и конусных дробилок // *Строительные и дорожные машины*. 2000. № 7. С. 16–21.
3. Арсентьев В.А., Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Шулюков А.Д. Производство кубовидного щебня и строительного песка с использованием вибрационных дробилок. СПб: Издательство ВСЕГЕИ, 2004. 112 с.
4. Вайсберг Л.А., Шулюков А.Д. Технологические возможности конусных инерционных дробилок при производстве кубовидного щебня // *Строительные материалы*. 2000. № 1. С. 8–9.
5. 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.

Первая стадия дробления представлена двумя спаренными щековыми дробилками СМД-111Б. Поступающая из карьера взорванная горная масса размером 0–750 мм дробится до куска 220 мм. Вторая стадия дробления осуществляется в дробилке КИД-1750. Получаемый на выходе из дробилки щебень крупностью 70 мм подается на стадию классификации с выделением товарных фракций 0–5 мм, 5–10 мм, 10–20 мм, 25–60 мм. Классы крупности 20–25 мм, а также более 60 мм направляются на возврат в дробилку КИД-1750 [5]. Планируемая мощность предприятия по горной массе 1600 тыс. т/год.

Таким образом, создание конусных инерционных дробилок КИД-1500 и КИД-1750 практически замыкает необходимый типоразмерный ряд, позволяющий создавать современные технологические линии для производства высококачественного щебня, как для дорожного, так промышленного строительства и значительно укрепило позиции отечественного машиностроения, как на отечественном, так и мировом рынках.

References

1. Vaysberg L.A., Zarogatskiy L.P., Turkin V.Ya. Vibratsionnye drobilki. Osnovy rascheta, proektirovaniya i tekhnologicheskogo primeneniya [Vibratory crushers. Basics of calculation, design and technological application]. Saint Petersburg: VSEGEI. 2004.
2. 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).
3. 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 cubical crushed stone and building sand using vibrating crushers]. Saint Petersburg: VSEGEI. 2004. 112 p.
4. Vaysberg L.A., Shuloyakov A.D. Technological capabilities of cone inertial crushers in the production of cubical crushed stone. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2000. No. 1, pp. 8–9. (In Russian).
5. 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).

26-29 СЕНТЯБРЯ
УФА 2017

ФОРУМ УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ



СТРОИТЕЛЬСТВО

XXVII специализированная выставка

ДЕРЕВООБРАБОТКА


III специализированная выставка

НЕДВИЖИМОСТЬ

XI специализированная выставка

ОРГАНИЗАТОР:  **БВК** БАШКИРСКАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

ПОДДЕРЖКА:



 ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
 ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ
 РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



 МИНИСТЕРСТВО
 ТРАНСПОРТНОЙ
 ИНФРАСТРУКТУРЫ
 РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН


 МИНИСТЕРСТВО ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
 РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН


 АССОЦИАЦИЯ
 СТРОИТЕЛЕЙ
 РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

СОДЕЙСТВИЕ:


 РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН


 ИТО СТРОИТЕЛЕЙ

Место проведения
ВДНХ ЭКСПО
ул. Менделеева, 158

 **БВК** БАШКИРСКАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

 #БВК #стройБВК

(347) 246-42-38, 246-42-37
e-mail: stroy@bvkexpo.ru
www.stroybvk.ru

#стройбvk
#строительнаявыставкауфа
#деревообработкауфа
#недвижимостьуфа

УДК 622.735.095:622.73

В.Н. АМИНОВ¹, д-р техн. наук, Е.Е. КАМЕНЕВА¹, канд. техн. наук; И.Д. УСТИНОВ², д-р хим. наук¹ Петрозаводский государственный университет (185910, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33)² НПК «Механобр-техника» (199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 22-я линия, 3)

Инновационные разработки для повышения точности оценки физико-механических свойств строительных горных пород при геологической разведке

С целью определения принципиальной возможности использования горных пород для производства щебня в лабораторных условиях исследуют ряд их параметров в соответствии с нормативами. Полученные данные являются основой для проектирования технологии переработки и предварительной оценки возможных направлений использования конечной товарной продукции. Известно, что содержание зерен пластинчатой и игловатой формы в щебне является фактором, существенно снижающим его физико-механические характеристики. Щебень для испытаний получают из исходной ядерной или штупной геологической пробы путем одностадийного дробления в лабораторных щековых дробилках, особенностью которых является повышенное содержание зерен пластинчатой и игловатой формы в продукте дробления. На примере испытаний гранитного щебня одного из месторождений Карелии показано, что это приводит к заниженным значениям основных прочностных характеристик – прочности, истираемости и морозостойкости и существенно снижает достоверность прогнозной оценки качества щебня. НПК «Механобр-техника» предложена новая конструкция лабораторной щековой дробилки 2ЩДС 100×200, которая обеспечивает прием исходного питания крупностью до 100 мм и получение дробленого продукта крупностью 0–40 мм. Сложные возвратно-поступательные и эллиптические движения щек обеспечивают приложение к дробимому материалу усилий сдвига и сжатия и позволяют получать щебень с низкой долей зерен пластинчатой и игловатой формы, что соответствует содержанию таких зерен в щебне, получаемом в промышленных условиях. Это позволяет корректно сравнивать физические свойства промышленного щебня и щебня, получаемого в лабораторных условиях.

Ключевые слова: щебень, дробление, кубовидные зерна, зерна пластинчатой и игловатой формы, лабораторные испытания щебня, лабораторная щековая дробилка.

Для цитирования: Аминов В.Н., Каменева Е.Е., Устинов И.Д. Инновационные разработки для повышения точности оценки физико-механических свойств строительных горных пород при геологической разведке // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 69–72.

V.N. AMINOV¹, Doctor of Sciences (Engineering), E.E. KAMENEVA¹, Candidate of Sciences (Engineering); I.D. USTINOV², Doctor of Sciences (Chemistry)¹ Petrozavodsk State University, (33, Lenin Street, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation)² Research and Engineering Corporation «Mekhanobr-Tekhnika» (22, Line 3, Vasilevsky Ostrov, 199106, Saint Petersburg, Russian Federation)

Innovative Developments for Improving the Accuracy of Assessment of Physical-Mechanical Properties of Construction Rocks at Geological Exploration

For determining the principal possibility to use rocks for production of crushed stone, some their parameters are studied under the laboratory conditions according to normatives. The data obtained are the basis for designing the processing technology and preliminary assessment of possible ways for using final marketable products in a particular type of construction. It is known that the content of grains of plate and needle-shaped forms is a factor which significantly reducing their physical-mechanical characteristics. Crushed stone for testturn is produced from an initial core or massive geological sample by means of one-stage crushing in the laboratory screw crushers, a feature of which is a high content of plate and needle-shaped grains in the product of crushing. On the example of tests of granite crushed stone from one of the Karelian deposits, it is shown that this leads to conservative values of main strength characteristics (durability, abrasability and frost resistance) and significantly reduces the accuracy of predictive assessment of the crushed rock quality. «Mekhanobr-Tekhnika» Research and Engineering Corporation proposes a new design of the laboratory screw crusher 2SHCHDS 100×200 which provides the receiving of initial feeding of up to 100 mm fineness and obtaining of the crushed product of 0–40 mm fineness. Complex reciprocating and elliptical motions of a crushing jaw provides the application of shear and compression forces to the material being crushed and makes it possible to obtain the crushed stone with a low share of plate and needle-shaped grains that corresponds to the content of such grains in the crushed stone produced in the production conditions. This makes it possible to compare correctly physical properties of industrial crushed stone and crushed stone produced under the laboratory conditions.

Keywords: crushed stone, crushing, cubiform grains, plate and needle-shaped grains, laboratory tests of crushed stone, laboratory screw crusher.

For citation: Aminov V.N., Kameneva E.E., Ustinov I.D. Innovative Developments for Improving the Accuracy of Assessment of Physical-Mechanical Properties of Construction Rocks at Geological Exploration. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 69–72. (In Russian).

Технологические исследования минерального сырья – важная часть геологических работ, обеспечивающих инвестиционную и коммерческую оценку месторождений.

Приоритетной целью изучения физико-механических свойств строительных горных пород является определение принципиальной возможности их использования для производства щебня. Для этого определяют следующие параметры породы: предел прочности при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии, водопоглощение, пористость, минеральную и среднюю плотность, наличие слабых разностей, содержание вредных компонентов и примесей,

активность естественных радионуклидов. При соответствии этих показателей установленным требованиям проводятся испытания щебня фракции 10–20 мм, полученного при дроблении исходных горных пород в лабораторных условиях. Согласно ГОСТ 31436–2011 «Породы горные скальные для производства щебня для строительных работ. Технические условия и методы испытаний» контролируемые показатели – прочность, истираемость, морозостойкость, средняя и минеральная плотность, водопоглощение. Полученные данные являются основой для проектирования технологии переработки и предварительной оценки возможных направлений использования ко-

Таблица 1

Характеристика лабораторных дробилок (НПК «Механобр-техника»)

| Тип дробилки | Модель | Крупность питания, не более, мм | Крупность дробленого продукта, мм | Назначение |
|----------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Щековая | ДЩ 60×100 | 50 | 0–40 | Для хрупких пород средней прочности |
| Щековая | ДЩ 100×200 | 90 | 0–40 | Для хрупких пород средней прочности |
| Конусная инерционная | КИД-60 * | 5 | 0–2 | Для хрупких пород различной прочности |
| Конусная инерционная | КИД-100 * | 10 | 0–3 | Для хрупких пород различной прочности |

* КИД – конусная инерционная дробилка, зарегистрированный товарный знак.

Таблица 2

Сравнительные результаты испытаний щебня из гранита

| Показатели | Результаты лабораторных опытов* | Результаты испытаний промышленно выпускаемого щебня |
|--|---------------------------------|---|
| Содержание зерен пластинчатой и игольчатой формы, % | 47,2–54,7 | 6,9–13,6 |
| Дробимость (потеря массы при сжатии в цилиндре), % | 14,3–17,8 | 8,6–10,3 |
| Истираемость (потеря массы при испытании в полочном барабане), % | 20,1–22,3 | 15,5–18,2 |
| Морозостойкость (потеря массы при испытании), % | 3,2–4,1 | 1,8–2,1 |

* Фракции щебня получены при дроблении керновой пробы в лабораторной щековой дробилке ДЩ 60×100.

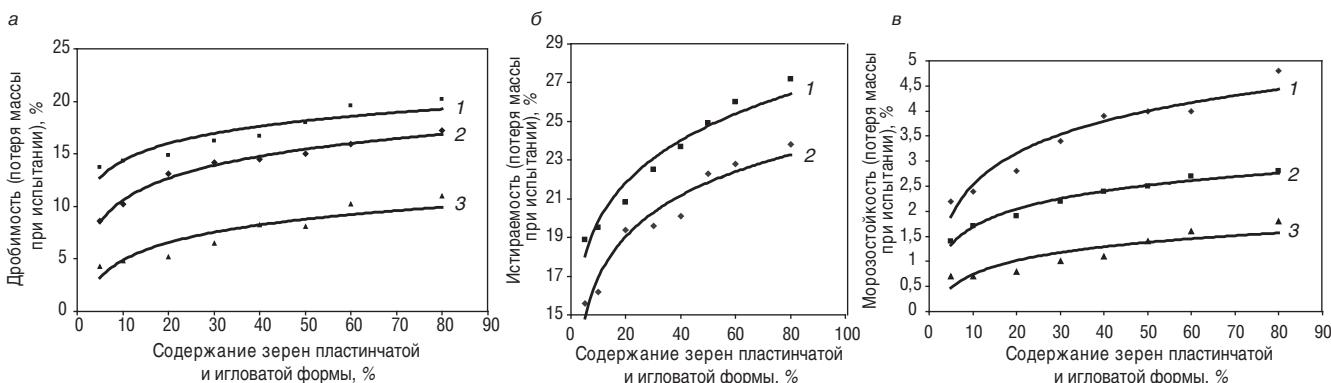


Рис. 1. Влияние содержания зерен пластинчатой и игольчатой формы на дробимость (а), истираемость (б) и морозостойкость (в) щебня фракции 10–20 мм из разновидностей гранита 1–3: 1 – гнейсогранит; 2 – микролин-плагиоклазовый гранит; 3 – плагиогранит

нечной товарной продукции в том или ином виде строительства.

Согласно установленным требованиям, щебень для испытаний должен быть получен из исходной керновой или штупной геологической пробы путем одностадийного дробления и классификации по крупности (грохочения). Существующая методика предусматривает применение лабораторной дробилки, тип которой нормативными документами не регламентируется.

Практика исследовательских лабораторий показывает, что для дробления геологических проб горных пород, как правило, применяют щековые дробилки ДЩ 60×100 или ДЩ 100×200, обеспечивающие прием исходного куска не крупнее 50–90 мм и получение продукта требуемой крупности для дальнейших испытаний. Применение конусных лабораторных дробилок исключается ввиду того, что они принимают сравнительно мелкий кусок, а крупность их дробленого продукта не превышает 2–3 мм (табл. 1).

Применение щековых дробилок, разрушающих материал преимущественно за счет усилий сжатия, приво-

дит к получению щебня с высоким содержанием пластинчатых и игольчатых зерен, что особенно заметно при дроблении керновых проб. Многочисленными опытами установлено, что при дроблении керновых проб горных пород в лабораторной щековой дробилке ДЩ 60×100 в одну стадию содержание зерен пластинчатой и игольчатой формы в пробах щебня достигает 55–65% для пород массивной текстуры и 60–80% для сланцеватых пород.

Форма зерен щебня определяется как текстурно-структурными особенностями исходного сырья, так и типом применяемого оборудования, количеством стадий дробления [1–3]. На дробильно-сортировочных предприятиях щековые дробилки применяются только на стадии крупного дробления. Готовый товарный щебень получают на стадиях среднего и мелкого дробления, при этом кубовидная форма зерен достигается за счет применения конусных и ударных дробилок, работающих в замкнутом цикле. Испытания промышленно выпускаемого гранитного щебня фракций 5–10 мм и 10–20 мм показывают, что содержание зерен пла-

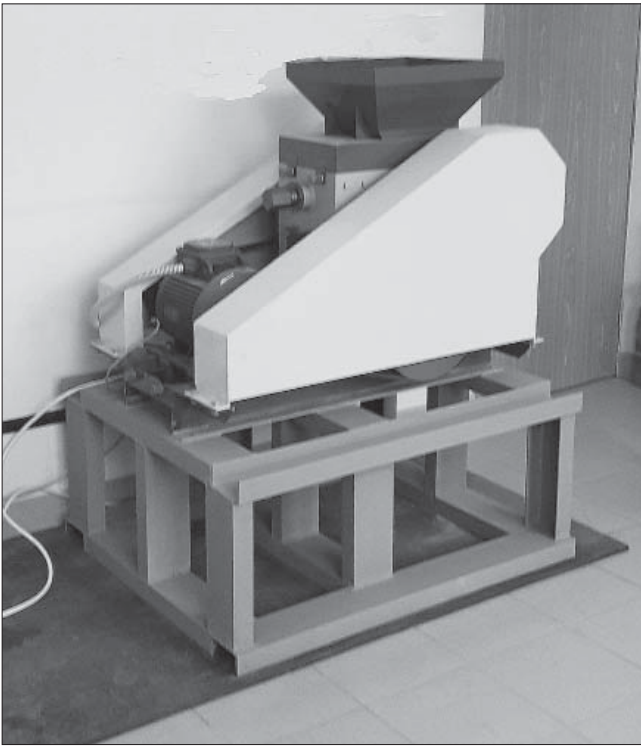


Рис. 2. Общий вид дробилки 2ЩДС 100×200

стинчатой и игловатой формы в них не превышает 13–15% при использовании в III стадии конусных дробилок и 6–10% – центробежно-ударных.

В то же время содержание зерен пластинчатой и игловатой формы в щебне является фактором, существенно снижающим его физико-механические характеристики для дальнейшего использования [4].

Лабораторными опытами на искусственно сформированных фракциях щебня из гранита установлено, что при увеличении содержания зерен пластинчатой и игловатой формы отмечается рост дробимости (снижение прочности) и истираемости (рис. 1, а, б), а также снижение морозостойкости щебня (рис. 1, в).

Таким образом, высокое содержание зерен пластинчатой и игловатой формы в щебне, полученном в лабораторных условиях с применением традиционных щековых дробилок, приводит к заниженным значениям основных прочностных характеристик – прочности, истираемости и морозостойкости, что существенно снижает достоверность прогнозной оценки качества щебня.

В табл. 2 приведены сравнительные результаты испытаний гранитного щебня одного из месторождений Карелии, выполненные в сопоставимых условиях. Видно, что промышленно выпускаемый щебень (содержание зерен пластинчатой и игловатой формы 6,9–13,6%) характеризуется более высокими прочностными характеристиками по сравнению со щебнем, полученным в лабораторных условиях при испытании на стадии геологической разведки (содержание зерен пластинчатой и игловатой формы 47,2–54,7%).

Противоречие между фракционным составом щебня, полученного в традиционных лабораторных щековых дробилках, и фракционным составом промышленного щебня может быть устранено при использовании новой лабораторной щековой дробилки 2ЩДС 100×200, разработанной в НПК «Механобртехника» (рис. 2). Усовершенствованная конструкция дробилки 2ЩДС 100×200 обеспечивает прием

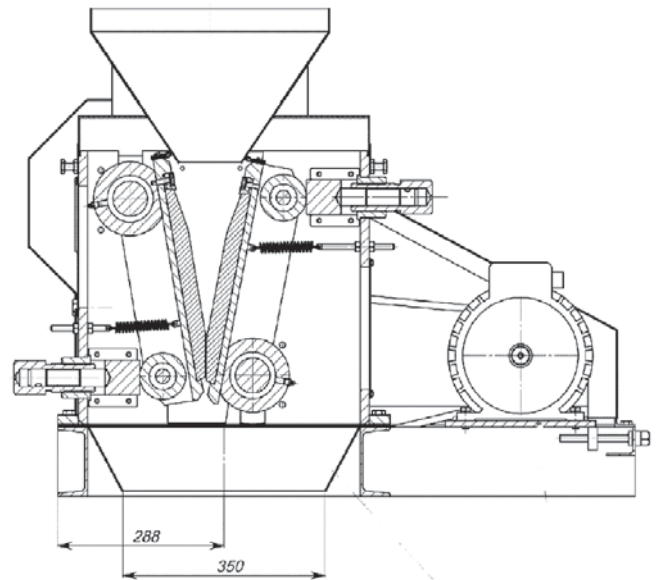


Рис. 3. Схема дробилки 2ЩДС 100×200



Рис. 4. Внешний вид щебня фракции 10–20 мм из габбро-диабазы, полученного с использованием дробилок ДЩ 100×200 (а) и 2ЩДС 100×200 (б)

Таблица 3

Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы в щебне фракции 10–20 мм

| Дробилка | Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы зерен, % | | |
|--------------|--|--------------------------------|------------------------|
| | Щебень из пробы гранита | Щебень из пробы габбро-диабазы | Щебень из пробы гнейса |
| ДЩ 100×200 | 58,4 | 61,4 | 73,3 |
| 2ЩДС 100×200 | 12,7 | 13,5 | 19,7 |

исходного питания крупностью до 100 мм и получение дробленого продукта крупностью 0–40 мм.

Рабочими органами дробилки являются две кинематически связанные синхронно работающие щеки, совершающие сложные возвратно-поступательные и эллиптические движения. Такой характер движения щеки обеспечивает приложение к дробимому материалу усилий сдвига и сжатия и позволяет получать щебень с низкой долей зерен пластинчатой и игловатой формы. При использовании этой машины также может быть достигнута высокая степень сокращения крупности материала в процессе дробления.

В табл. 3 приведены результаты сравнительных опытов по оценке формы зерен щебня фракции 10–20 мм, полученного при дроблении керновых

проб горных пород в лабораторных дробилках ДЩ 100×200 и 2ЩДС 100×200.

Анализ полученных данных показывает, что применение лабораторной щековой дробилки 2ЩДС 100×200 обеспечивает получение щебня, содержащего не более 12,7–19,7% зерен пластинчатой и игловатой формы (рис. 4), что практически соответствует содержанию таких зерен в щебне, полученном в промышленных условиях.

Список литературы

1. 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.
2. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П. Новое оборудование для дробления и измельчения материалов // *Горный журнал*. 2000. № 3. С. 49–52.
3. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П. Новое поколение щековых и конусных дробилок // *Строительные и дорожные машины*. 2000. № 7. С. 16–21.
4. Арсентьев В.А., Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Шулояков А.Д. Производство кубовидного щебня и строительного песка с использованием вибрационных дробилок. СПб.: Издательство ВСЕГЕИ, 2004. 112 с.

Таким образом, применение лабораторной щековой дробилки 2ЩДС 100×200 обеспечивает получение дробленого продукта преимущественно кубовидной формы, что позволяет корректно сравнивать физические свойства промышленного щебня и щебня, полученного в лабораторных условиях. Указанная дробилка может быть рекомендована для дробления проб строительных горных пород в испытательных лабораториях.

References

1. 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).
2. Vaysberg L.A., Zarogatskiy L.P. New equipment for crushing and grinding materials *Gornyi zhurnal*. 2000. No. 3, pp. 49–52. (In Russian).
3. 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).
4. 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. 2004. 112 p.

18-я международная выставка

**ИНДУСТРИЯ
КАМНЯ**



**STONE
INDUSTRY**

Добыча, обработка и использование природного камня

Россия, Москва

27–30 ИЮНЯ 2017

ВДНХ, Павильон 75



Организатор
Выставочная компания ЭКСПОДИЗАЙН РА
При участии CONFINDUSTRIA MARMOMACCHINE –
Assomarmomacchine (ИТАЛИЯ)
HUMMEL GMBH (ГЕРМАНИЯ)
Под патронатом
Торгово-промышленной палаты РФ

При поддержке
Ассоциации строителей России
Российского общества инженеров строительства
Российского союза строителей
Союза архитекторов России
Союза дизайнеров Москвы
Союза московских архитекторов

Тел. +7 (495) 783-06-23 +7 (499) 181-41-26 www.stonefair.ru stonefair@expo-design.ru

*Опечатка.
В журнале «Строительные материалы»[®] № 4-2017, стр. 44 в табл. 2, 3 название колонки «Кристаллит» следует читать «Кристаллическая фаза».*

УДК 624:691.535/537

В.Г. ХОЗИН¹, д-р техн. наук (Khozin@kgasu.ru),
 А.А. АБДУЛХАКОВА¹, магистрант (abdulkhakova.alina@gmail.com),
 И.А. СТАРОВОЙТОВА¹, канд. техн. наук (irina-starovoitova@yandex.ru),
 Е.С. ЗЫКОВА², инженер (barblzka@mail.ru)

¹ Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

² ООО «НПФ «РЕКОН» (420033, Республика Татарстан, ул. Восстания, 100, Технополис «Химград», зд. 7)

Цементные композиции, модифицированные водной эмульсией эпоксидного олигомера

Разработаны рецептурно-технологические параметры изготовления полимерцементных композиций на основе портландцемента и водной эпоксидной эмульсии, отверждаемой алифатическим полиамином. Исследована концентрационная зависимость технологических и физико-химических свойств материала. Установлено оптимальное полимерцементное соотношение ($P/C=0,5$). Исследована степень отверждения эпоксидной смолы в составе композиций на разных этапах их твердения. С помощью электронной микроскопии с элементным анализом исследована структура полимерцементных композиций при $P/C=0,5$, в которой дисперсионной средой является эпоксидный полимер, а дисперсной фазой – цементный камень. Прочность этой полимерцементной композиции в 2,75 раза превосходит прочность «чистого» цементного камня.

Ключевые слова: полимерцементные композиции, водные эмульсии эпоксидных смол, состав, структура, прочность, износостойкость.

Для цитирования: Хозин В.Г., Абдулхакова А.А., Старовойтова И.А., Зыкова Е.С. Цементные композиции, модифицированные водной эмульсией эпоксидного олигомера // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 73–77.

V.G. KHOZIN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (Khozin@kgasu.ru), A.A. ABDULKHAKOVA¹, Magstrand (abdulkhakova.alina@gmail.com),

I.A. STAROVOITOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (irina-starovoitova@yandex.ru), E.S. ZYKOVA², Engineer (barblzka@mail.ru)

¹ Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

² «NPF «RECON» ООО (Building 7, Technopolis «Khimgrad», 100, Vosstania Street, 420033, Republic of Tatarstan, Russian Federation)

Cement compositions modified with an aqueous emulsion of an epoxy oligomer

The prescription and technological parameters for manufacturing polymer cement compositions based on portland cement and aqueous epoxy emulsion cured by aliphatic polyamine were developed. The concentration dependence of the technological and physico-chemical properties of the material was studied. The optimum polymer-cement ratio is established ($P/C=0,5$). The degree of curing of epoxy resin in the composition of the compositions was studied at different stages of their hardening. With the aid of electron microscopy with elemental analysis there was investigated the structure of polymer-cement compositions at $P/C=0,5$, in which the dispersion medium is an epoxy polymer, and the disperse phase – a cement stone. The strength of this polymer-cement composition is 2.75 times higher than the strength of a “pure” hardened cement paste.

Keywords: polymer-cement compositions, aqueous emulsions of epoxy resins, proportion, structure, strength, wear resistance.

For citation: Khozin V.G., Abdulkhakova A.A., Starovoitova I.A., Zykova E.S. Cement compositions modified with an aqueous emulsion of an epoxy oligomer. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 73–77. (In Russian).

Полимерцементный бетон занимает нишу между «чистым» цементным бетоном и полимербетоном. Он обладает более сложной структурой, которая формируется при отверждении смеси двух реакционноспособных систем: цементной и полимерной.

Совмещение минерального и органического вяжущих приводит к взаимному влиянию на структурообразование каждого компонента. В присутствии полимерных добавок изменяется кинетика гидратации клинкерных минералов, при этом продукты гидратации также оказывают влияние на отверждение полимера. Безусловно, система из двух типов отверждающихся компонентов (органической и неорганической природы) должна приводить к образованию композитного материала со структурой типа ВПС (взаимопроникающих структур) или структурой матричного типа (дисперсионная среда – дисперсная фаза).

Исследованиями в области совмещения полимеров с цементом занимались многие авторы. Ю.С. Черкинским [1] были исследованы полимерцементные (П/Ц) композиции, содержащие добавки синтетического латекса и поливинилацетатной эмульсии (ПВАЭ). По результатам оценки влияния полимеров на твердение и свойства получаемого материала было определено оптимальное соотношение П/Ц, которое составило 0,1–0,25. Ф.В. Матвеевич [2] рас-

сматривал целесообразность применения водных дисперсий синтетического латекса СКС-65 ГП в бетоне для труб с металлическим сердечником. Количество латекса менялось от 1 до 10% от массы цемента, что привело к повышению прочности при раскалывании и снижению водопоглощения. В работе [3] авторами изучены противоскользкие свойства тонких полос из полимерцементного состава на основе эпоксидного олигомера и цемента на тротуарных плитках. Исследования проводились путем измерения длины хода мини-тележки. Установлено, что наилучший противоскользкий эффект (снижение длины хода тележки) составило 38% на сухой полимерцементной полосе по сравнению с цементобетонным образцом при П/Ц 0,2–0,25.

Критерием выбора полимерного компонента гибридного вяжущего служат различные требования, которые предъявляются к готовому материалу по износостойкости, деформационной прочности, химической стойкости и ряду других показателей. Наиболее применяемые полимеры: ПВА и синтетические латексы имеют ряд недостатков, таких как сниженная водо- и химстойкость. Основная трудность применения эмульсий карбамидных смол связана с необходимостью применения кислот для их отверждения, что усложняет твердение портландцемента. Отверждение

Таблица 1

Физико-химические свойства эпоксидной эмульсии

| Наименование показателя | Норма |
|--|---------------------------|
| Внешний вид | Белая однородная жидкость |
| Массовая доля нелетучих веществ, % | 68–74 |
| Кажущаяся вязкость по Брукфильду (25°C, 20 об/мин), Па·с | 2–12 |
| Показатель pH | 6–10 |
| Стабильность при разбавлении 1:10, %, не менее | 98 |
| Средний размер частиц, нм | 350–1000 |

полиэфирных смол сопровождается значительной усадкой – до 10 об. %, что может привести к появлению трещин в композиционном материале.

Эпоксидные полимеры обладают известным комплексом ценных свойств, а именно высокой прочностью, в том числе адгезионной, хорошей химической стойкостью. Главными преимуществами эпоксидных композиций является их водостойкость [4] даже при использовании водорастворимых аминных отвердителей и, безусловно, способность к разным способам модификации [5].

Первый патент на модифицированную эпоксидной смолой цементную композицию был получен Д. Доннели в 1965 г. [6]. В соответствии с ним для получения такой системы эпоксидная смола предварительно эмульгируется с водой и затем перемешивается с заранее подготовленной смесью цемента с заполнителями. Однако производство полимерцементных композиций таким способом не получило дальнейшего развития из-за повышенной трудоемкости и стоимости. Технология осложнена процессом совмещения эпоксидной смолы с цементом из-за высокой вязкости эпоксидной смолы (~ 20 Па·с). Также существует проблема с условиями твердения системы. В работе [7] для достижения конечных характеристик авторы проводят «сушку» в два этапа: тепловлажностную и сухую. Авторами [8] совместно с научно-производственной фирмой ООО «Рекон» разработаны устойчивые коллоидно-дисперсные водные эмульсии диановых эпоксидных смол (табл. 1). Они обладают высокой стабильностью при разбавлении водой и имеют средний размер частиц смолы в пределах 350–1000 нм. В качестве эмульгатора использованы водорастворимые анион-активные ПАВ на основе полиэфиркарбоксилатов, которые одновременно являются эффективными пластификаторами цементных композиций.

Исходя из вышесказанного целью настоящей работы являлось получение полимерцементных (цементно-полимерных) композиций путем затворения портландцемента водной эмульсией эпоксидной смолы, исследование кинетики их твердения, а также структуры и свойств.

В работе использованы:

– водная эмульсия эпоксидного олигомера (далее эмульсии ВЭП), соответствующая ТУ 2241-027-12963063–2014 (ООО «НПФ Рекон»);

– отвердитель полиэтиленполиамин (ПЭПА) согласно ТУ 2413-357-00203447–99;

– портландцемент ЦЕМ I 42,5Б Мордовского цементного завода, соответствующий ГОСТ 31108–2016 «Цементы общестроительные. Технические условия».

Приготовление образцов для испытаний осуществлялось путем последовательного смешения эмульсии с отвердителем, добавлением необходимого количества воды для достижения нормальной густоты цементно-полимерной композиции (вода вводилась сверх того количества, которое содержится в эмульсии ВЭП) и последующим смешением с цементом.

В качестве основных факторов, определяющих изменение исследуемых параметров, были приняты: полимерцементное отношение (П/Ц); условия твердения композиции (время, температура, влажность среды).

Изначально модифицирование цементной системы планировалось путем введения ВЭП при П/Ц от 0 до 1. Однако в ходе исследования было установлено, что при П/Ц > 0,5 происходит расслоение смеси в связи с разностью размера и плотности частиц цемента ($\rho = 3,1 \text{ г/см}^3$, размер частиц 20–50 мкм) и частиц эпоксидной смолы ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$, размер частиц 0,74 мкм). При расчете отношения полимера к цементу в полимерную часть входит эпоксидная смола совместно с отвердителем (на 100 м. ч. смолы приходится 18 м. ч. ПЭПА). Водоцементное отношение (В/Ц) для каждого П/Ц было подобрано путем определения нормальной густоты цементно-полимерного теста.

Влияние добавки ВЭП на технологические параметры П/Ц композиций указано в табл. 2.

Установлено, что введение эпоксидной эмульсии оказывает пластифицирующий эффект на композицию; в связи с этим при П/Ц > 0,3 было принято установить В/Ц = 0,18 (теоретически необходимое количество воды для полной гидратации цемента).

На первом этапе исследовано влияние П/Ц отношения на прочность при сжатии отвержденной композиции, для чего формовали образцы-кубики размером 20×20×20 мм, затем отверждали их в металлической форме при нормальных условиях ($t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $w = 100\%$). Прочность определяли на 7, 14, 28, 60, 90-е сутки твердения.

Обнаружено, что нарастание прочности в цементно-полимерных смесях в первые сутки идет намного медленнее, чем в «чистой» цементной системе. К 28-м суткам твердения прочностные показатели «чистой» цементной и цементно-полимерной систем почти одинаковы. При дальнейшем твердении нарастание прочности полимерцементных композиций намного превышает цементные системы, что отражено кривыми «прочность–время» на рис. 1.

Как видно из этих кривых, наиболее высокими прочностными показателями обладает образец с П/Ц = 0,5,

Таблица 2

Влияние П/Ц на технологические свойства

| Параметры | Полимерцементное соотношение | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------|---------------|--------------|---------|---------|
| | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| Начало схватывания, мин:с | 1:40 | 2:30 | 3:30 | 5:25 | 6:40 | 8:30 |
| Конец схватывания, мин:с | 3:70 | 5:45 | 6:50 | 9:10 | - | - |
| В/Ц | 0,28 | 0,27 | 0,23 | 0,2 | 0,18 | 0,18 |
| Подвижность (вязкость) смеси | Норм. густоты | Норм. густоты | Норм. густоты | Вязкотекучая | Текучая | Текучая |

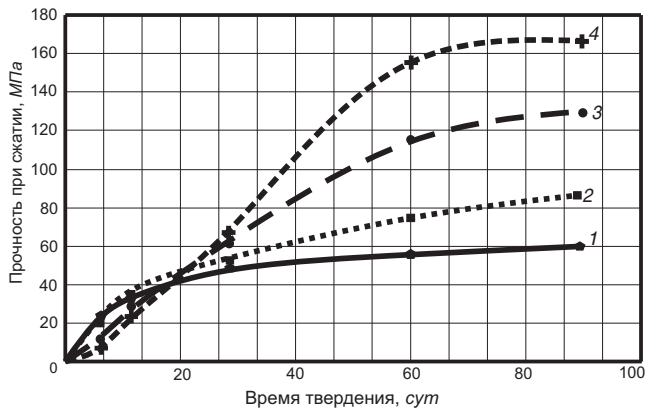


Рис. 1. Кинетика набора прочности цементно-полимерных композиций в условиях нормального твердения (1 – «чистый» цемент; 2 – П/Ц=0,1; 3 – П/Ц=0,3; 4 – П/Ц=0,5)

его прочность на 60 и 90-е сутки твердения превышает прочность «чистого» цемента в 2,75 раза. Замедление твердения водных органо-неорганических композиций можно объяснить следующим образом. Полимерная составляющая (смола, отвердитель, ПАВ-эмульгатор), оказывая высокое пластифицирующее действие на цементное тесто, замедляет гидратацию цемента вследствие адсорбции на активных центрах частиц цемента. Такое замедление твердения полимерцементных систем было отмечено в работах [9, 10]. В то же время отвердитель эпоксидной смолы (ПЭПА) хорошо растворим в воде, что в свою очередь, замедляет образование сетчатого эпоксидного полимера и гидратацию цемента. По мере изменения соотношения вода : ПЭПА и снижения В/Ц скорость обеих реакций структурообразования возрастает (до 60 сут), увеличивается вклад в прочность композита полимерного компонента.

Далее было исследовано влияние полимера на свойства, определяющие износостойкость и водостойкость композиций ГОСТ 13087–81 и ГОСТ 12730.3–78 (рис. 2).

Изменение водопоглощения композита с ростом П/Ц в значительной степени обусловлено снижением пористости цементного камня в связи с уменьшением В/Ц и объемной доли этого минерального компонента. Второй компонент – эпоксидный полимер, как известно, характеризуется очень малым водопоглощением (менее 1%) [5]. Однако присутствие поверхностно

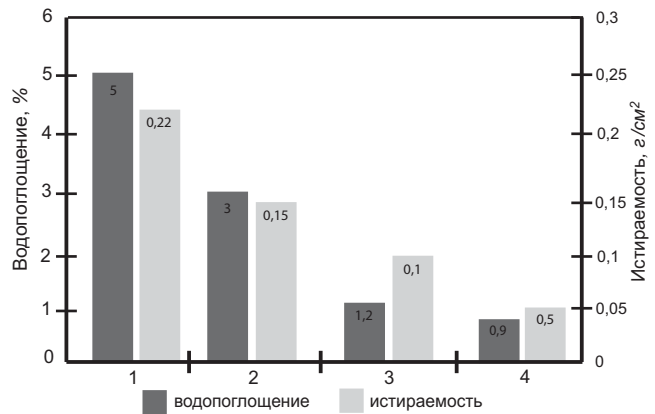


Рис. 2. Показатели водопоглощения и истираемости цементно-полимерных композиций (1 – «чистый» цемент; 2 – П/Ц=0,1; 3 – П/Ц=0,3; 4 – П/Ц=0,5)

Таблица 3
Экстрагирование золь-фракции из эпоксидного полимера – состав № 4 (П/Ц=0,5)

| Золь-фракция, % | Возраст полимерцементных композиций, сут | | | |
|-----------------|--|------|------|------|
| | 3 | 7 | 14 | 28 |
| G | 0,11 | 0,08 | 0,07 | 0,03 |

активного вещества – эмульгатора и пластификатора способствует воздухововлечению при перемешивании и развитию замкнуто-ячеистой поровой структуры. Однако даже в этом случае капиллярное водопоглощение не возрастает.

Истираемость модифицированного цементного камня снижается в 2–5 раз, и этот рост износостойкости обусловлен влиянием полимерной составляющей и соответственно величиной П/Ц: чем оно выше, тем сильнее композиционный материал сопротивляется абразивному износу.

Дальнейшее исследование проходило на образцах при П/Ц 0,5, так как данная концентрация обладает наиболее высокими характеристиками.

Для определения степени отверждения эпоксидной смолы в П/Ц-композиции нами был принят наиболее надежный метод – экстрагирование золь-фракции, не связанной с полимерной сеткой. Результаты исследо-

Таблица 4
Содержание элементов, %

| Элемент | Точка 1 | | Точка 2 | | Точка 3 | |
|---------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Вес. | Атом. | Вес. | Атом. | Вес. | Атом. |
| O | 43,16 | 63,31 | 51,45 | 70,83 | 9,19 | 7,32 |
| Na | 0,16 | 0,17 | 0,39 | 0,38 | – | – |
| Mg | 0,17 | 0,16 | 0,51 | 0,46 | 0,16 | 0,08 |
| Al | 0,8 | 0,7 | 1,64 | 1,33 | 0,3 | 0,14 |
| Si | 12,89 | 10,77 | 8,98 | 7,04 | 1,41 | 0,64 |
| K | 0,48 | 0,29 | 0,16 | 0,09 | 0,08 | 0,03 |
| Ca | 41,17 | 24,1 | 34,21 | 18,8 | 2,66 | 0,85 |
| Ti | 0,21 | 0,1 | 0,29 | 0,13 | – | – |
| Cl | – | – | – | – | 0,36 | 0,13 |
| C | – | – | – | – | 85,48 | 90,69 |
| Mn | – | – | 0,21 | 0,08 | – | – |
| Fe | 0,95 | 0,4 | 2,16 | 0,85 | 0,13 | 0,03 |

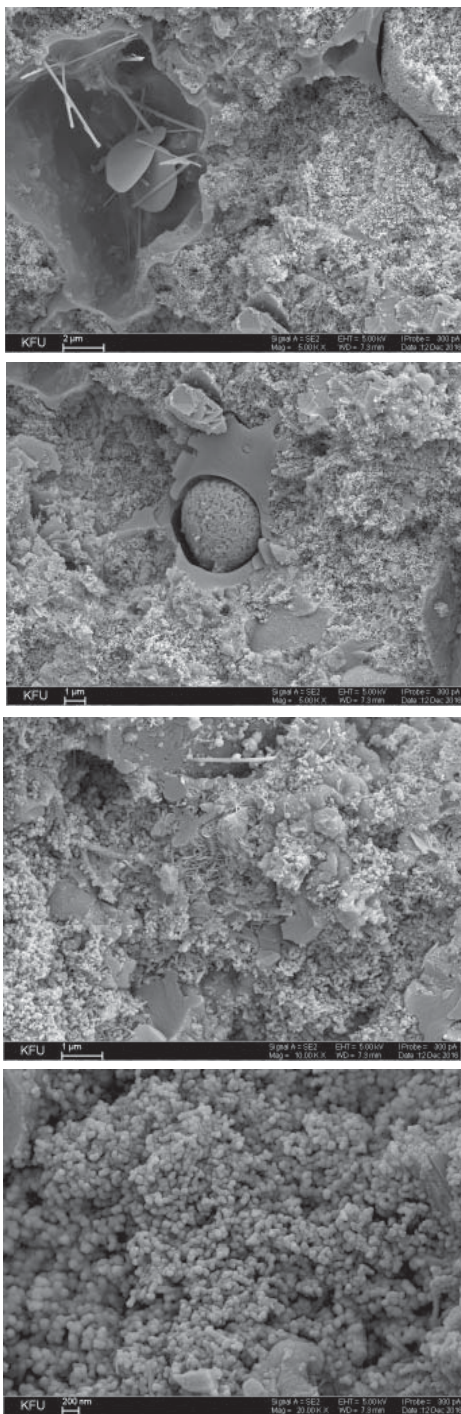


Рис. 3. Вид структуры полимерцементной композиции (П/Ц=0,5) в электронном микроскопе

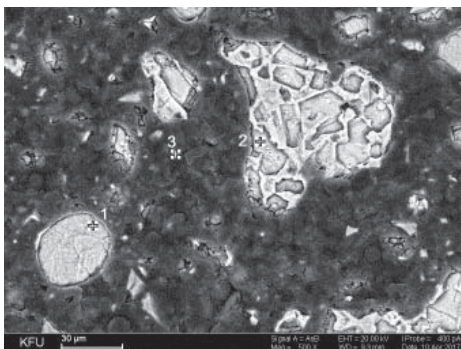


Рис. 4. Шлиф полимерцементной композиции (П/Ц=0,5) в СЭМ

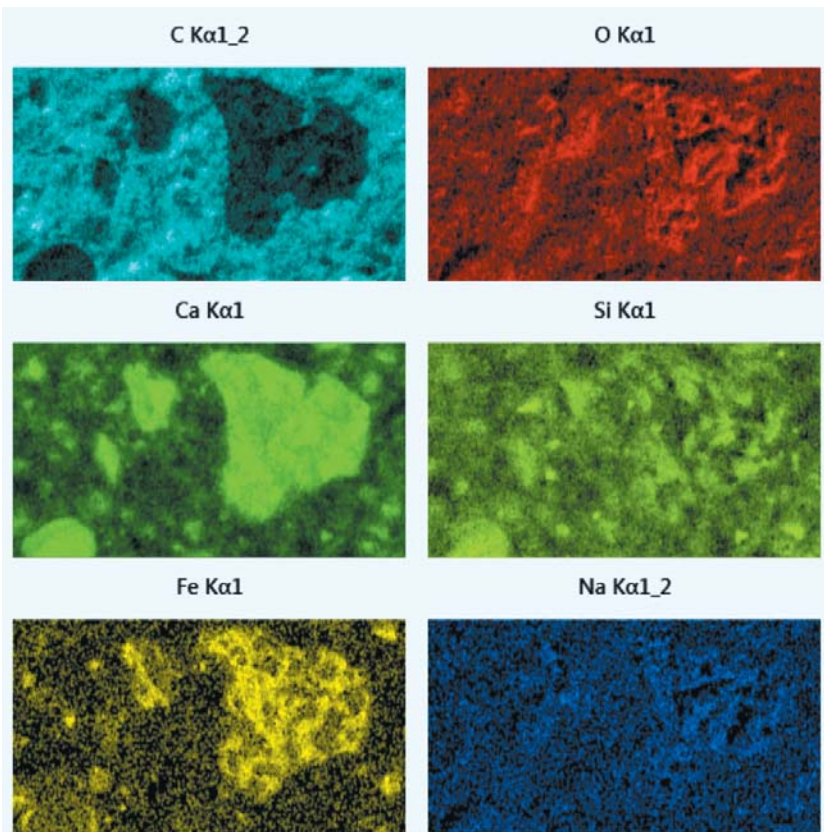


Рис. 5. Морфология поверхности с отображением элементного контраста

ваний представлены в табл. 3. Степень отверждения эпоксидной смолы определяли путем экстрагирования ее из пробы цементополимера в аппарате Сокслета конденсатом паров ацетона. Для этого полимерцементные составы в возрасте 3, 7, 14, 28 сут тщательно измельчали в тонкодисперсный порошок.

Исследование фазовой структуры отвержденного цементно-полимерного композита проводили на автоэмиссионном высокоразрешающем сканирующем электронном микроскопе Merlin компании Carl Zeiss (разрешение спектрометра 127 эВ) в междисциплинарном центре «Аналитическая микроскопия» при Казанском федеральном университете.

На рис. 3 представлены фотографии структуры полимерцементного композита при П/Ц=0,5.

Для выявления органической и минеральной составляющих был проведен элементный анализ (рис. 4, 5; табл. 4).

По содержанию элементов видно, что наибольшее количество углерода содержится в точке 3, а кальция – в точках 1 и 2. Исходя из этих данных можно сделать вывод, что полимерный компонент является дисперсионной средой, матрицей в полученном композите (темное поле). А кристаллогидраты цементного камня представлены в ней в виде включений (светлые агрегаты).

Таким образом, модификация цементного вяжущего водной эмульсией эпоксидной смолы, отверждаемой полиэтиленполиамином, существенно замедляет скорость твердения композиции в нормальных условиях твердения за счет замедления как гидратации портландцемента, так и реакции эпоксидного олигомера с полиамином в возрасте до 20 сут. Далее оба процесса ускоряются вплоть до 60 сут, с образованием высокопрочного полимерцементного композита с прочностью при сжатии, в 2,75 раза превышающей прочность «чистого» цементного камня (при П/Ц=0,5). Отвержденные полимерцементные композиции имеют структуру матричного типа, где дисперсионная среда представлена сетчатым полимером, а дисперсная фаза – кристаллогидратами цементного камня. Для практического применения полимерцементного бетона целесообразно оптимизировать технологические параметры (условия твердения и применение ускоряющих факторов, опираясь на установленные концентрационные зависимости и параметры структурообразования.

Список литературы

1. Черкинский Ю.С. Полимерцементный бетон. М.: Стройиздат, 1984. 213 с.
2. Федоров В.М. Мелиоративные трубы из полимерцементного бетона // *Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2010. № 64(10). С. 1–10.
3. Бусел Д.А., Кошевар В.Д., Шкадретова В.Г., Кажуро И.П., Островская Е.Ф. Полимерцементный состав для создания полос противоскольжения // *Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность*. 2016. № 2. С. 99–104.
4. Anagnostopoulos C.A., Sapidis G., Papastergiadis E. Fundamental properties of epoxy resin-modified cement grouts // *Construction and Building Materials*. 2016. № 125. pp. 184–195.
5. Хозин В.Г. Усиление эпоксидных полимеров. М.: Дом печати, 2004. 446 с.
6. Donnelly J. H. U.S. Patent 3,198,758; Aug. 3, 1965.
7. Ильин А.Н. Полимерцемент как электроизоляционный материал для электротехнических систем // *Электротехнические системы и комплексы*. 2015. № 1 (26). С. 25–27.
8. Старовойтова И.А., Дрогун А.В., Зыкова Е.С., Семенов А.Н., Хозин В.Г., Фирсова Е.Б. Коллоидно-химическая устойчивость водных дисперсий эпоксидных смол // *Строительные материалы*. 2014. № 10. С. 74–77.
9. Черкинский Ю.С., Слипченко Г.Ф. Гидратация и твердение цементов в присутствии полимеров // *VI Международный конгресс по химии цемента*. М.: Стройиздат, 1976. Т. 3. С. 305–308.
10. Anagnostopoulos C.A. Effect of different superplasticizers on the physical and mechanical properties of cement grouts // *Construction and Building Materials*. 2014. № 50. pp. 162–168.

References

1. Cherkinskii Yu.S. Polimertsementnyi beton [Polymer cement concrete]. Moscow: Stroizdat, 1984. 213 p.
2. Fedorov V.M. Meliorative pipes from polymer-cement concrete. *Politechnicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2010. No. 64(10), pp. 1–10. (In Russian).
3. Busel D.A., Koshevar V.D., Shkadretsova V.G., Kazhuro I.P., Ostrovskaya E.F. Polymer composition for creation of antislip strip. *Trudy BGTU. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*. 2016. No. 2, pp. 99–104. (In Russian).
4. Anagnostopoulos C.A., Sapidis G., Papastergiadis E. Fundamental properties of epoxy resin-modified cement grouts. *Construction and Building Materials*. 2016. No. 125. pp. 184–195.
5. Khozin V.G. Usilenie epoksidnykh polimerov [Strengthening of epoxy polymers]. Moscow: Dom pechati, 2004. 446 p.
6. Donnelly, J. H. U. S. Patent 3,198,758; Aug. 3, 1965.
7. Il'in A.N. Polymer-Modified Cement as Electroinsulated Material for Electrotechnical Systems. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы*. 2015. No. 1(26), pp. 25–27. (In Russian).
8. Starovoitova I.A., Drogun A.V., Zykova E.S., Semenov A.N., Khozin V.G., Firsova E.B. Colloidal stability of aqueous dispersions of epoxy resins. *Stroitel'nye materialy*. [Construction Materials] 2014. No. 10, pp. 74–77. (In Russian).
9. Cherkinskii, Yu.S., Slipchenko G.F. Hydration and curing of cements in the presence of polymers. *The VI International congress in cement chemistry*. Moscow: Stroizdat, 1976. T. 3, pp. 305–308.
10. Anagnostopoulos C.A. Effect of different superplasticizers on the physical and mechanical properties of cement grouts. *Construction and Building Materials*. 2014. No. 50, pp. 162–168.

KazBuild 
WorldBuild Almaty

Главная международная
 строительная и интерьерная
 выставка Казахстана

5-8 сентября 2017
 Атакент, Алматы, Казахстан

подробная информация:
www.worldbuild-almaty.kz



 a WorldBuild event

Опыт применения поликарбоксилатных пластификаторов в производстве ССС

Производители сухих строительных смесей все больше и больше усложняют свое производство. Технологические линии дополняются переделами по подготовке сырья. Многие средние и крупные производители имеют в арсенале не только установки для сушки песка, но и оборудование для выпуска гипсового вяжущего. При этом собственники, стремясь снизить затраты на строительство, как правило, не позволяют устанавливать в производственную цепочку холодильники для снижения температуры песка после сушки или гипса после варки. Предполагается, что сырье успеет остыть во время транспортировки и хранения перед загрузкой в смеситель для производства сухой строительной смеси.

Кроме того, сознательно выбирается менее эффективная схема движения теплоносителя относительно минерального сырья. И если для варки гипса в трубных печах использование прямого тока оправданно снижением риска образования растворимого ангидрита III, то в случае с песком кпд барабанных сушил выше при применении схемы противотока. При этом теплоемкость материалов настолько высока, что, несмотря на все ухищрения, в смеситель попадают компоненты с температурой выше 60°C. И в этом случае констатировать факт повышенной температуры компонентов сухой смеси в смесителе удастся только на этапе применения продукта, когда у потребителей вдруг напольные самовыравнивающие составы «не текут» и «трещат» штукатурки на потолках и стенах.

Причиной тому низкая устойчивость химических добавок к высокой температуре. И если даже каждый компонент способен выдерживать краткосрочный нагрев до 200°C, то при хранении в горячем состоянии происходят обменные реакции с участием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и образованием нерастворимых в воде соединений. И даже если температура термодеструкции достаточно высока, зачастую наблюдается сплавление частичек полимерного порошка, ведь большая часть химических добавок для производства ССС — это полимеры, способные к плавлению.

Одним из таких чувствительных к нагреву химических аддитивов являются поликарбоксилатные эфиры. Данный тип пластификаторов изначально рекомендован для производства высокоподвижных или высоко-

прочных систем на основе цемента. В начале 2000-х гг. пластификатор внедрен в производство наливных полов на основе гипсоцементно-пушчолоанового вяжущего. В настоящее время существует несколько технологий по производству поликарбоксилатных эфиров (РСЕ), при этом изначально сложные продукты по структуре — привитые сополимеры (рис. 1) — имеют не только различную эффективность по отношению к субстрату — минеральному сырью, которое надо диспергировать, но и различные физические свойства.

Для многих не является секретом, что вещества, полученные различными способами, будут иметь различные свойства. Так, один из самых простых полимеров — полиэтилен $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$, полученный при высоком давлении (ПЭВД), имеет большее количество боковых ответвлений, чем полиэтилен, произведенный при низком давлении (ПЭНД). Вследствие этого они имеют различную степень кристалличности: ПЭВД — 50–65% и ПЭНД — 75–90%. При этом отличаются и температура плавления этих полимеров, и ограничения по температуре использования изделий из них. Так, ПЭВД характеризуется $t_{\text{пл}}=103-110^\circ\text{C}$, $t_{\text{экспл}} < 60^\circ\text{C}$ (ГОСТ 16337–77 «Полиэтилен высокого давления. Технические условия»); ПЭНД характеризуется $t_{\text{пл}}=125-132^\circ\text{C}$, $t_{\text{экспл}} < 100^\circ\text{C}$ (ГОСТ 16338–85 «Полиэтилен низкого давления. Технические условия»).

Ввиду сложности структуры поликарбоксилатных эфиров, разного распределения по молекулярной массе, строения и различ-



Рис. 2. Оперативная проверка возможности использования РСЕ при производстве ССС



Рис. 3. Конкурентный поликарбоксилатный пластификатор через 30 с нагрева



Рис. 4. Melflux 5581F после нагрева в течение 30 с

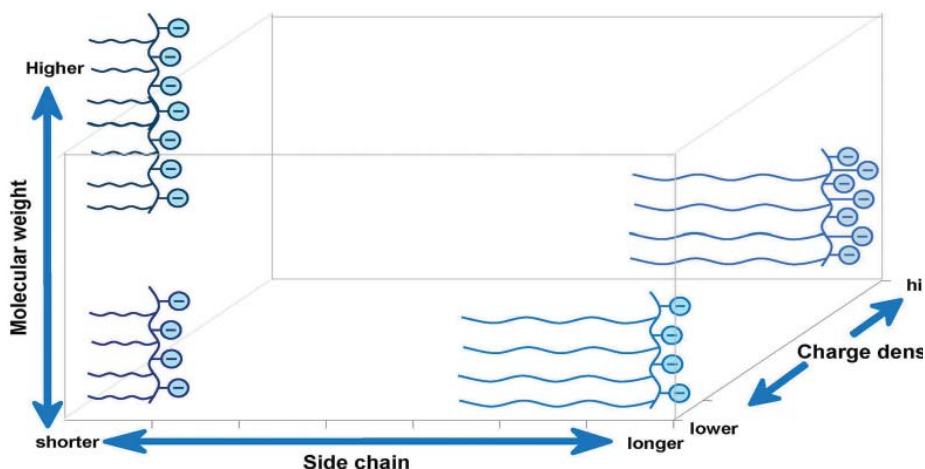


Рис. 1. Разнообразие типов РСЕ марок MELFLUX и компаундов на их основе MAPF

ных способов их производства утверждать, что все они имеют одинаковые физические свойства, неверно. Некоторые из этих соединений имеют очень низкую температуру плавления и применение их в ССС недопустимо.

Производители химических добавок, либо боясь ответственности, либо конкуренции, зачастую уходят от предоставления точных данных по температуре термодеструкции, спекания или плавления материалов. Тем более что во всех случаях процессы растянуты во времени. В случае со спеканием важно, чтобы частицы полимера были распределены в сухой смеси, и тогда последнее уже невозможно. С температурой плавления на первый взгляд не все так критично.

Производители ССС сейчас имеют мощные смеси-тели, которые позволяют производить смешение компонентов за 30–180 с. При этом в первые 30 с происходит основное смешение. Таким образом, можно предположить, что если материал остается стабильным в первые 30–60 с нагрева и температура смеси будет в дальнейшем снижаться, то этот материал можно рассматривать для производства ССС на данной линии. Конечно, тепловое старение — окисление или сшивание молекул также возможно уже в упакованной в мешки сухой смеси, но этими процессами чаще всего пренебрегают.

Решено было проверить поликарбоксилатный эфир производства BASF Construction Solutions торговой марки Melflux, российский компаунд на его основе MAPF, а также ряд продуктов, которые коллеги из конкурирующих фирм называют «аналоги Melflux» — поликарбоксилатные эфиры от других производителей (рис. 2, 3, 4).

Материал в ложке при таком способе нагрева за столь короткий промежуток времени успевает достичь 45–60°C.

Чем чревато расплавление или спекание химической добавки в смеси? Прежде всего это увеличение сроков растворения. При машинном нанесении время контакта смеси с водой может составлять 6–10 с. При этом пластификатор должен не только полностью раствориться, но и успеть адсорбироваться на субстрате — гипсе или цементе. В противном случае подвижность смеси будет значительно отличаться от заявленного. В случае же увеличения количества воды затворения от рекомендованного будет наблюдаться увеличение подвижности раствора во времени, седиментация, снижение прочности и появление трещин затвердевшего состава. Потребитель при этом, вызвав на рекламу сотрудника производителя ССС, услышит в свой адрес, что он нарушил регламент и добавил избыточное количество воды. И строитель, и производитель ССС расстанутся твердо убежденными, что каждый из них прав. Производитель же ССС только через некоторое время с удивлением обнаружит, что потерял рынок.

Для обеспечения максимальной скорости диспергирования фирма BASF создала новый гиперпластификатор — Melflux 6681F. Скорость его растворения и диспергирования позволяет за 6 с контакта смеси с водой достичь заданных параметров по вязкости раствора и по пределу текучести.

Проведенное исследование показало, что термостойкость продуктов Melflux и MAPF выше, чем у конкурентных продуктов, на 20–30°C. Это позволяет производителям ССС повысить производительность своего оборудования в летний сезон и быть уверенными в выпускаемой ими продукции.

П.Г. Василик, И.В. Голубев
ООО «ЕвроХим-1 ФД»


Реклама

настоящая
ХИМИЯ
будущего

ВСЕ ДОБАВКИ
 ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ
 ИЗ ОДНИХ РУК



РСЕ-суперпластификатор
Melflux®





SICIT2000 S.p.A.
компания Группы SICIT, Б.р.А.

129164, Москва,
Ракетный бульвар, д.16
тел.: (495) 781-66-56,
(495) 540-61-21
e-mail: mix@eurohim.ru
www.chem.eurohim.ru
еврохим1.рф

Состояние российской экономики и ее влияние на строительный комплекс России

Отраслевая конференция с таким названием состоялась 29 марта 2017 г. в Москве. Ее организаторами выступили Российский союз промышленников и предпринимателей совместно с группой КНАУФ. Для участия в конференции были приглашены более 240 владельцев, руководителей и ведущих специалистов компаний застройщиков, производителей и поставщиков строительных материалов из регионов России. Коллеги обсудили состояние строительной отрасли, проблемы и текущие задачи, а также перспективы выхода из кризиса.

Президент РСПП **Александр Шохин**, приветствуя участников конференции, отметил, что строительная отрасль, одна из наиболее пострадавших от кризиса, за последние два года показала глубокое падение – в 2016 г., по данным Росстата, объем строительных работ сократился на 4,3%. Он отметил, что наиболее важными проблемами и препятствиями для ведения бизнеса у отечественных компаний, согласно результатам опросов, были снижение спроса, рост цен и тарифов и недостаток квалифицированных кадров. Многие в решении этих проблем будет зависеть от того, какие меры по стимулированию экономики предпримет правительство – к концу мая оно должно представить президенту комплексный план действий до 2025 г. РСПП представил к рассмотрению свои предложения к этому документу и строительный блок нашел в них отражение.

Совладелец компании КНАУФ, почетный консул России в Германии **Николаус Кнауф** начал работать с Россией задолго до начала производства КНАУФ в нашей стране, поэтому социально-экономические перипетии и нюансы развития бизнеса он знает лучше многих предпринимателей-соотечественников. Его оценки текущего состояния экономики и перспектив развития российской строительной отрасли всегда отличаются взвешенностью и позитивом даже в самых острых ситуациях. И в рамках приветствия участников конференции он остановился именно на положительных моментах. Николаус Кнауф отметил, что российская строительная отрасль имеет очень высокий потенциал, так как здесь имеется вся необходимая база для производства, а невысокая по сравнению с Европой стоимость сырья и энергоресурсов позволяет говорить не только об импортозамещении, но и об активном экспорте продукции. Кроме того, по его личной оценке, например, на предприятиях группы КНАУФ в России персонал необычайно восприимчив к внедрению новых информационных технологий, в то время как на Западе многие относятся к ним с большой осторожностью. А активное внедрение BIM-технологий может придать стремительное ускорение развитию бизнеса.

Являясь одним из самых крупнейших инвесторов в строительную отрасль России, Николаус Кнауф оценил перспективы дальнейших инвестиций весьма оптимистично, напомнив, что российские цены на электроэнергию в полтора раза дешевле западноевропейских, а на газ – на 70%. Также в России огромный внутренний рынок для производства высококачественных продуктов. Это позволяет вместо импорта производить востребованную высококачественную продукцию с клеймом «Сделано в России».

Что касается российской экономики, то в новом тысячелетии несмотря на кризис 2008–2009 гг. она укреплялась значительно сильнее, чем это происходило в Западной Европе. Например, после распада Советского Союза Россия приняла на себя его обязательства и погасила все долги стран, входивших в состав СЭВ, в размере 140 млрд долл. США. Сравнивая госдолг России и Евросоюза, можно отметить, что задолженность стран Европейского Союза по отношению к их валовому национальному продукту достигает 84%, а у России соответствующий показатель 13%.

По мнению министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ **Михаила Меня**, в сложившейся ситуации девелоперам жизненно необходимо перестраиваться под кардинально меняющийся спрос, а государству – помогать бизнесу в вопросах, значительно влияющих на развитие отрасли. И такая поддержка уже осуществляется. Выделено 20 млрд р. на создание инфраструктуры в микрорайонах комплексной застройки по всей стране и столько же на благоустройство дворов и знаковых общественных пространств в каждом муниципальном образовании от 1000 жителей.

В ходе панельных дискуссий с докладами выступили 14 экспертов, среди которых Виктор Цветков, начальник отдела развития промышленности строительных и нерудных материалов Министерства промышленности и торговли России; Наталья Кожина, эксперт по правовым вопросам, вопросам технического регулирования и ВТО НО «СОЮЗЦЕМЕНТ»; Дмитрий Горюшков, директор по маркетингу, АО «Северсталь Менеджмент»; Максим Любомудров, Член Правления, заместитель генерального директора АО «Федеральная корпорация по развитию малого и среднего предпринимательства»; Кирилл Холопик; руководитель аппарата Ассоциации «Национальное объединение застройщиков жилья»; Сергей Пугачев, заместитель исполнительного директора НОСТРОЙ, Николай Шумаков, президент Союза архитекторов России; Виктор Новоселов, президент Союза проектировщиков России; Григорий Веретельников, первый вице-президент Российского Союза строителей; Юрий Хомик, генеральный директор РПО «Албес».

Управляющий партнер компании КНАУФ **Манфред Грудке** рассказал об опыте локализации производства КНАУФ в России. По его словам, оборот российских предприятий компании КНАУФ составляет примерно 40 млрд р., на них заняты около 4 тыс. работников. В 2017 г. инвестирует около 5–10% от оборота в оборудование и обновление производства, несмотря на существенный рост расходов на закупку сырья и материалов, связанные последние два-три года с волатильностью рубля.

В настоящее время в Самарской области строится завод сухих строительных смесей с проектной мощностью 120 тыс. т продукции в год. Общий объем инвестиций составляет 25 млн евро. Вместо изначально запланированных 88 млн р. на закупку отечественного оборудования потрачено почти 300 млн р. Примерно 60% оборудования, поставляемого для завода, произведено в России.

Также Манфред Грудке представил коллегам перспективный проект создания жилых зданий по технологии модульного строительства. Это 3–4-этажные дома, отвечающие мировым стандартам энергоэффективности.

Формат конференции был признан удачным. Александр Шохин предложил в следующем году провести мероприятие в рамках Недели российского бизнеса.



УДК 666.972

Г.И. БЕРДОВ, д-р техн. наук, С.А. ВИНОГРАДОВ¹, инженер (semenvinogradov@yandex.ru);
А.Ф. БЕРНАЦКИЙ², д-р техн. наук (bernatsky@sibstrin.ru)

¹ Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
(630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113)

² Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств
(630099, г. Новосибирск, ул. Красный проспект, 38)

Влияние тепловлажностной обработки на структуру и свойства цементного камня

Приведены результаты рентгенофазового анализа, дифференциально-термического анализа, определения механической прочности и диэлектрических свойств образцов цементного камня, твердевших в течение 3–28 сут в нормальных условиях, а также после тепловлажностной обработки при 80°C. Такая обработка способствует более глубокой гидратации цемента, что проявляется в снижении интенсивности рефлексов C_3S , C_2S , повышении содержания $Ca(OH)_2$, увеличении общей потери массы при нагревании. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери (на частоте 1,5 МГц) уменьшаются при увеличении срока твердения. Эти изменения коррелируют с повышением прочности образцов. Диэлькометрия показывает более высокую упорядоченность структуры образцов цементного камня нормального твердения.

Ключевые слова: цементный камень, тепловлажностная обработка, рентгенофазовый анализ, дифференциально-термический анализ, диэлектрические свойства.

Для цитирования: Бердов Г.И., Виноградов С.А., Бернацкий А.Ф. Влияние тепловлажностной обработки на структуру и свойства цементного камня // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 81–85.

G.I. BERDOV, Doctor of Sciences (Engineering), S.A. VINOGRADOV¹, Engineer (semenvinogradov@yandex.ru);
A.F. BERNATSKY², Doctor of Sciences (Engineering) (bernatsky@sibstrin.ru)

¹ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (113, Leningradskaya Street, Novosibirsk, 630008, Russian Federation)

² Novosibirsk State University of Architecture, Design and Art (38, Krasny Avenue, Novosibirsk, 630099, Russian Federation)

Effect of Thermal-Humidity Treatment on Structure and Properties of Cement Stone

Results of the X-ray phase analysis, differential-thermal analysis, determination of mechanical strength and dielectric properties of cement stone samples which were hardened during 3–28 days under the normal conditions as well as after the thermal-humidity treatment at 80°C are presented. This treatment stimulates the deeper hydration of cement that manifests in reducing the intensity of C_3S , C_2S reflexes, increasing the $Ca(OH)_2$ content, increasing the total loss of mass when heating. Dielectric permeability and dielectric losses are reduced (at 1.5 MHz frequency) when the hardening time increases. These changes are correlated with the increase in samples strength. Dielectricometry shows the higher orderliness of the structure of cement stone samples of normal hardening.

Keywords: cement stone, thermal-humidity treatment, X-ray phase analysis, differential-thermal analysis, dielectric properties.

For citation: Berdov G.I., Vinogradov S.A., Bernatsky A.F. Effect of thermal-humidity treatment on structure and properties of cement stone. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 5, pp. 81–85. (In Russian).

Портландцемент – широко используемый в строительстве материал. С целью ускорения его гидратационного твердения в составе бетона успешно применяется тепловлажностная обработка [1]. Для изучения структуры и свойств цементного камня используется рентгенофазовый и дифференциально-термический анализ, оптическая и электронная микроскопия и другие виды физико-химического анализа.

Вместе с тем важную информацию о процессе гидратационного твердения цемента позволяют получить исследования диэлектрических свойств цементного теста, цементного камня и бетона [2–7].

В процессе твердения портландцемента клинкерные минералы вступают во взаимодействие с водой, образуя кристаллогидраты. Вода является сильно полярной жидкостью, что обуславливает высокое значение ее диэлектрической проницаемости ($\epsilon=80$) и диэлектрических потерь. При переходе молекул воды в связанное состояние свойства твердеющей системы портландцемент – вода существенно изменяются. Это создает возможность по изменению диэлектрических характеристик в процессе твердения портландцемента получить важную информацию о процессе гидратационного твердения.

В данной работе исследовано влияние тепловлажностной обработки (ТВО) на изменение структуры и свойств цементного камня. При этом произведен рент-

генофазовый и дифференциально-термический анализ, диэлькометрия (исследования диэлектрических свойств) и определение прочности образцов цементного камня.

Исследован портландцемент марки ПЦ500Д0 (ОАО «Искитимцемент», Новосибирская обл.). Его минералогический состав, мас. %: C_3S – 60–65; C_2S – 16–20; C_3A – 8–13; C_4AF – 10–13. Удельная поверхность – 410 кг/м². Химический состав цемента, мас. %: SiO_2 – 19,1; Al_2O_3 – 6,3; Fe_2O_3 – 4,4; CaO – 68,2; MgO – 1,2; SO_3 – 0,4; ППП – 0,5.

Образцы цементного камня имели размеры 20×20×20 мм. Водоцементное отношение – 0,27. Твердение образцов происходило как в нормальных условиях (температура 20±2°C, относительная влажность не менее 95%), так и после ТВО по режиму: подъем температуры до 80°C – 3 ч; изотермическая выдержка – 7 ч; охлаждение – 2 ч.

Рентгенофазовый и комплексный термический анализ осуществлен в институте неорганической химии СО РАН. Рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре Shimadzu XRD-700. Трубка с медным анодом, схема Брегга–Брентона, шаг 0,03. Время накопления 1 с.

Комплексный термический анализ проведен на приборе Netzsh TG209 F1, тигель стандартный корундовый, поток гелия 60 см³/мин. Скорость нагрева 10 К/мин.

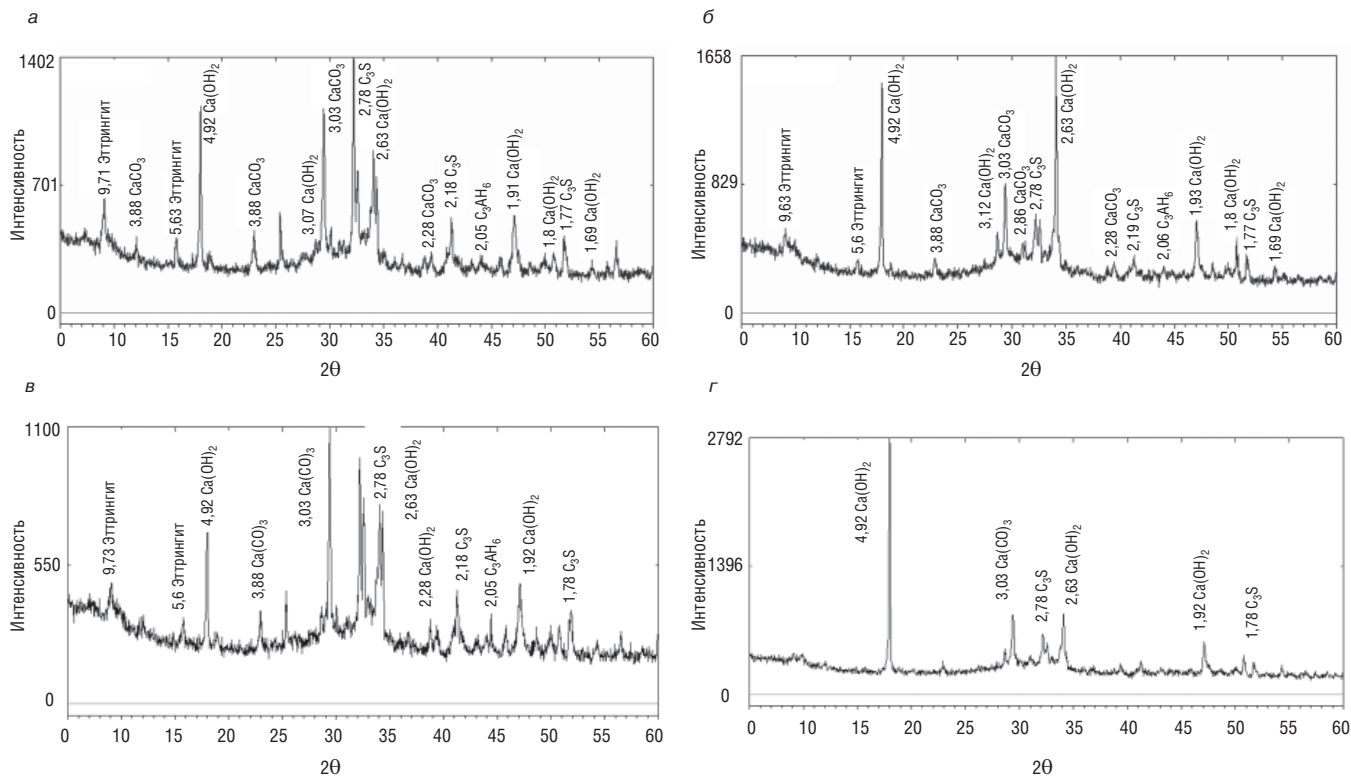


Рис. 1. Дифрактограммы образцов цементного камня, твердевших в течение 3 сут: НУ (а); ТВО (б); 28 сут: НУ (в); ТВО (г)

Таблица 1

| Соединение | Рефлексы, $d/n, 10^{-10}$ м | Время и условия твердения | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------|--------|-----------|
| | | 3 сут | | 28 сут | |
| | | НУ | после ТВО | НУ | после ТВО |
| C_3S | 3,039 | 808 | 422 | 898 | 652 |
| | 2,776 | 1186 | 420 | 778 | 348 |
| | 2,608 | 624 | 204 | 595 | 378 |
| | 2,748 | 528 | 261 | 261 | 192 |
| $\beta\text{-C}_2\text{S}$ | 2,748 | 564 | 384 | 690 | 348 |
| | 2,609 | 528 | 284 | 269 | 192 |
| | 2,149 | 314 | 117 | 260 | 163 |
| Ca(OH)_2 | 4,9 | 903 | 1240 | 506 | 256 |
| | 3,1 | 177 | 300 | 184 | 276 |
| | 2,628 | 674 | 1441 | 620 | 792 |
| Этtringит | 9,73 | 292 | 182 | 249 | 120 |
| | 3,88 | 227 | 128 | 167 | 141 |
| | 3,48 | 329 | 66 | 245 | 102 |
| | 3,24 | 108 | 128 | - | 108 |
| | 2,209 | 314 | 115 | 122 | 135 |

Исследованы образцы, твердевшие в течение 3 и 28 сут в нормальных условиях, а также образцы в возрасте 3 и 28 сут, подвергнутые ТВО по указанному режиму.

Дифрактограммы образцов цементного камня, твердевшего в течение 3 и 28 сут в нормальных условиях и после ТВО, приведены на рис. 1. Интенсивность рефлексов, соответствующих различным соединениям, указана в табл. 1. Приведены относительные интенсивности рефлексов C_3S , C_2S , Ca(OH)_2 . Рефлексы других клинкерных минералов (C_3A , C_4AF), а также образовавшихся гидратных соединений малы, практически неотличимы от фона. В табл. 1 и далее по тексту межплоскостные расстояния указаны в 10^{-10} м.

Как следует из полученных результатов, ТВО приводит к значительному снижению интенсивности рефлексов основных клинкерных минералов C_3S (2,776; 2,608; 2,606) и $\beta\text{-C}_2\text{S}$ (2,609; 2,149) по сравнению с образцами нормального твердения. В то же время существенно повышается интенсивность рефлексов, соответствующих порландиту Ca(OH)_2 (4,9; 3,1; 2,628). Интенсивность рефлексов этtringита больше у образцов, твердевших в нормальных условиях (табл. 1).

После 28 сут твердения эти особенности в основном сохраняются (табл. 1). У образцов, твердевших в нормальных условиях, интенсивность рефлексов C_3S (2,776; 2,608; 2,606) уменьшается по сравнению с образцами трехсуточного твердения. Такая же закономерность прослеживается с интенсивностью рефлексов $\beta\text{-C}_2\text{S}$

Таблица 2

| Время твердения, сут | Условия твердения | Эндоэффекты | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------|-------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|----------|----------------|-------|----------------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | | T, °C | $\Delta m, \%$ | T, °C | $\Delta m, \%$ | T, °C | $\Delta m, \%$ | T, °C | $\Delta m, \%$ | T, °C | $\Delta m, \%$ |
| 3 | НУ | 55 | 2,9 | 92 | 4,03 | 420 | 1,37 | 689 | 1,66 | - | - |
| | После ТВО | 70 | 5,05 | 95 | 3,6 | 440 | 2,16 | 692 | 1,62 | - | - |
| 28 | НУ | 43 | 5,05 | 92 | 4,5 | 430 | 1,4 | 642; 685 | 3,7 | 800 | 1,6 |
| | После ТВО | 40 | 0,5 | 86 | 3,9 | 445 | 1,7 | 672; 698 | 4,3 | 810 | 1,3 |

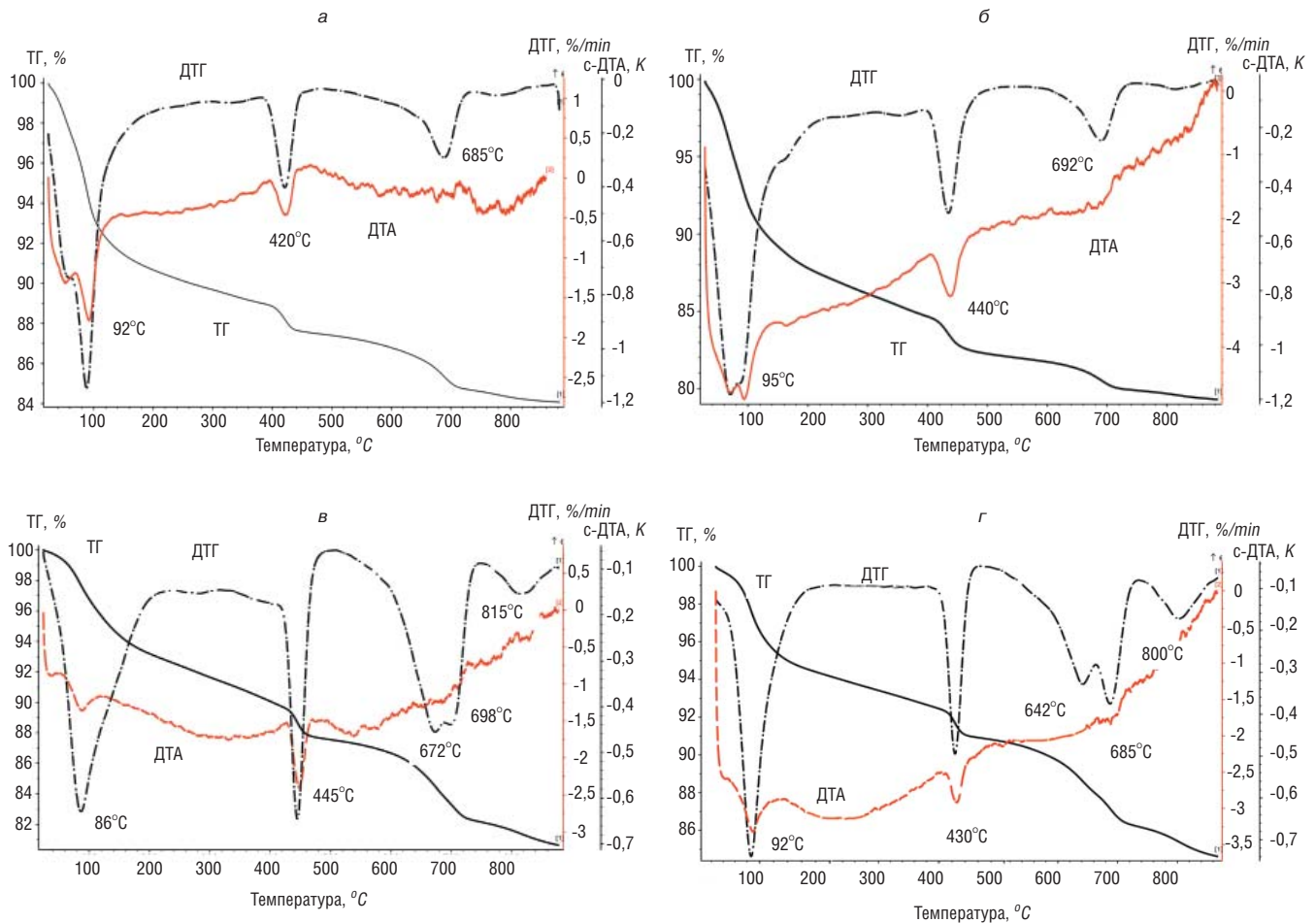


Рис. 2. Дериватограммы образцов цементного камня, твердевших в течение 3 сут: НУ (а); ТВО (б); 28 сут: НУ (в); ТВО (г)

(2,609; 2,149). Интенсивность рефлексов портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (4,9; 2,628) у образцов, твердевших в нормальных условиях в течение 28 сут, снижается по сравнению с образцами, твердевшими в течение 3 сут. Аналогичные изменения наблюдаются у рефлексов, соответствующих эттрингиту (9,73; 3,88; 3,48; 3,24; 2,209).

У образцов, твердевших после ТВО в течение 28 сут, по сравнению с образцами, твердевшими в течение 3 сут, заметно снижается интенсивность рефлексов C_2S (2,748 и 2,609) в случае C_3S интенсивность рефлексов понижается (2,748 и 2,609), а рефлекс 2,609 повышается.

Судя по рефлексу 4,9, количество портландита после 28 сут твердения возрастает по сравнению с трехсуточными образцами после ТВО. Вместе с тем интенсивность других рефлексов (3,1; 2,628) снижается.

Следует отметить, что интенсивность рефлексов эттрингита (9,73; 3,88; 3,48; 3,24; 2,209) меньше у образцов после ТВО.

Таким образом, полученные результаты показывают значительно более глубокую гидратацию минералов портландцемента по сравнению с образцами, твердевшими в нормальных условиях. Эта гидратация сопровождается уменьшением интенсивности рефлексов основных клинкерных минералов C_3S и C_2S и увеличением интенсивности портландита.

Результаты комплексного термического анализа цементных образцов приведены на рис. 2 и в табл. 2.

Эндоэффекты при 40–70°C и 86–95°C обусловлены удалением адсорбционно-связанной воды. Эндоэффект при 420–448°C соответствует разложению портландита, а эндоэффект при 640–698°C, вероятно, связан с разложением вторичного карбоната кальция. У образцов,

твердевших в течение 28 сут, данный эндоэффект сдвинут. Возможно, это обусловлено ступенчатым протеканием процесса декарбонизации. У образцов, твердевших в течение 28 сут, проявляется эндоэффект при 800–810°C, который может быть связан с разложением новообразований в цементном камне.

Сопоставляя результаты анализа образцов, прошедших ТВО и не проходивших ее, можно отметить следующее: у образцов, твердевших в течение 3 сут после ТВО (рис. 2), наблюдается более высокая потеря массы в интервале 55–99°C. Повышена потеря массы и в области 420–440°C (с 1,37 до 2,16%). При этом температура эндоэффекта у таких образцов (440°C) более высокая, чем у образцов, не подвергавшихся обработке. Это свидетельствует о большем количестве портландита и о его более прочной структуре. Температура эндоэффектов и потеря массы в области 690°C практически одинаковы, как при твердении образцов после ТВО, так и при твердении образцов в нормальных условиях.

Общая потеря массы (20,5%) больше в случае образцов, прошедших ТВО, по сравнению с потерями массы (16%) у образцов нормального твердения. Этот результат обусловлен потерей массы при разложении портландита и удалении адсорбированной воды, что свидетельствует о большей степени гидратации цементных минералов.

Анализируя дериватограммы образцов, твердевших в течение 28 сут, можно отметить следующее (табл. 2). Температура эндоэффектов и потеря массы в области, соответствующей удалению адсорбированной воды, примерно одинаковы, как в случае образцов, прошедших ТВО, так и для образцов нормального твердения.

Таблица 3

| Свойства, цементного камня (НУ) | Время твердения, сут | | | |
|--|----------------------|-------|-------|-------|
| | 3 | 7 | 14 | 28 |
| Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа | 24,9 | 46,5 | 54,2 | 62,6 |
| Диэлектрическая проницаемость ϵ | 34,3 | 34,8 | 28,2 | 24,5 |
| Тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ | 0,746 | 0,721 | 0,731 | 0,665 |
| Добротность Q | 26 | 27 | 31 | 38 |

Таблица 4

| Свойства, цементного камня (ТВО) | Время твердения, сут | | | |
|--|----------------------|-------|-------|-------|
| | 3 | 7 | 14 | 28 |
| Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа | 54,3 | 57,1 | 58,3 | 60,1 |
| Диэлектрическая проницаемость ϵ | 29,2 | 26,8 | 25,9 | 25,4 |
| Тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ | 0,735 | 0,746 | 0,731 | 0,719 |
| Добротность Q | 29,2 | 31,4 | 32,9 | 34 |

В области, соответствующей разложению портландита, потери массы и температура эндоэффектов выше у образцов, прошедших ТВО. Этот результат обусловлен отмеченным выше более высоким содержанием портландита и его более прочной структурой в образцах цементного камня, подвергавшихся ТВО.

В области температуры 800–810°C потери массы у образцов нормального твердения выше, чем у образцов, прошедших ТВО, что может свидетельствовать об увеличении новообразований в цементном камне.

Диэлькометрические исследования проведены с использованием измерителя добротности Tesla VM-560 на частоте 1,5 МГц при 20°C. Используемая частота является наиболее информативной при исследовании веществ, содержащих полярные молекулы воды [8].

На торцевые поверхности образцов наносились графитовые электроды. Подключение к измерителю добротности осуществлялось посредством стальных пластин, плотно контактирующих с графитовыми электродами. Каждый образец испытан не менее четырех раз, в каждой серии испытывалось не менее трех образцов. После диэлектрических измерений испытывалась прочность при сжатии, что позволило корректно сопоставить значения прочности и диэлектрических свойств цементного камня.

Определены диэлектрическая проницаемость (ϵ), тангенс угла диэлектрических потерь ($tg\delta$) и добротность образцов цементного камня (Q). Добротность отражает потери энергии электрического поля в образце. По ее значению рассчитывается $tg\delta$. Диэлектрическая проницаемость характеризует поляризацию образца при действии электрического поля. Следует отметить,

Список литературы

1. Кузнецова Т.В., Юрович Б.Э. Бетоны – пути развития // *Цемент и его применение*. 2005. № 5. С. 68–69.
2. Chen W., Shen P., Shui Z. Determination of water content in fresh concrete mix based on relative dielectric

что полученные значения ϵ близки к указанным в литературе [4, 6].

Сопоставление рассмотренных изменений структуры со значениями прочности и диэлектрических свойств цементного камня, твердевшего в НУ и после ТВО, приведенных в табл. 3 и 4, показывает следующее.

В процессе тепловлажностной обработки образцов цементного камня значительно ускоряется взаимодействие клинкерных минералов с водой. Это проявляется, как отмечено ранее, в снижении интенсивности рефлексов C_3S и C_2S и увеличении их у $Ca(OH)_2$ по сравнению с образцами нормального твердения. Прочность при сжатии образцов цементного камня при твердении в течение 3 сут после ТВО составляет 54,3 МПа, у образцов нормального твердения прочность равна 24,9 МПа.

Этому соответствуют значения диэлектрических свойств при измерении на частоте 1,5 МГц. Так, у образцов, прошедших ТВО, $\epsilon=29,2$; $tg\delta=0,735$. У образцов нормального твердения $\epsilon=34,3$; $tg\delta=0,714$. Таким образом, ТВО способствует более глубокой гидратации цемента, интенсивному связыванию молекул воды в его структуре, что и проявляется в более низком уровне диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь [9, 10].

При твердении в течение 28 сут в нормальных условиях происходит дальнейшее связывание воды в составе кристаллогидратов и совершенствование структуры цементного камня. При этом прочность образцов после ТВО возрастает до 60,1 МПа, диэлектрическая проницаемость снижается до 25,4, а $tg\delta$ до 0,719.

Такое развитие процесса гидратационного твердения сопровождается снижением интенсивности рефлексов C_3S и C_2S (табл. 1).

Значительные изменения структуры цементного камня (табл. 1) происходят у образцов, твердевших в течение 28 сут в нормальных условиях. При этом прочность образцов увеличивается до 62,6 МПа, что превышает соответствующее значение прочности образцов, прошедших ТВО, а диэлектрические свойства ($\epsilon=24,5$; $tg\delta=0,669$) имеют соответственно более низкие значения.

Результаты рентгенофазового анализа показывают, что высокая прочность цементного камня при твердении в нормальных условиях по сравнению с образцами, прошедшими ТВО, достигается при более низком уровне гидратации и невысоком содержании портландита. Это проявляется при сопоставлении рефлексов C_3S , C_2S и $Ca(OH)_2$ и показывает, что возможность дальнейшего совершенствования структуры цементного камня сохраняется более высокой у образцов нормального твердения.

Таким образом, высокочастотный диэлькометрический анализ позволяет оценить качество цементного камня и бетона без проведения трудоемких дорогостоящих испытаний и использования сложного оборудования. Он может быть использован для определения содержания воды в бетоне с помощью подповерхностного радиолокатора, исследования процесса химического и физического связывания воды при твердении цемента, оптимизации технологических процессов получения бетона и количества вводимых добавок.

References

1. Kuznetsova T.V., Yurovich B.E. Concretes – ways of development. *Cement i ego primenenie*. 2005. No. 5, pp. 68–69. (In Russian).
2. Chen W., Shen P., Shui Z. Determination of water content in fresh concrete mix based on relative dielectric

- constant measurement // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 34, pp. 306–312.
3. Lai W.L. [et al.] Characterization of concrete properties from dielectric properties using ground penetrating radar // *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39. No. 8, pp. 687–695.
 4. Yoon S.S., Kim S.Y., Kim H.C. Dielectric spectra of fresh cement paste below freezing point using an insulated electrode // *Journal of Materials Science*. 1994. Vol. 29. No. 7, pp. 1910–1914.
 5. Haddad R.H., Al-Qadi J.L. Characterization of Portland cement concrete using electromagnetic waves over the microwave frequencies // *Cement and Concrete Research*. 1998. Vol. 28. No. 10, pp. 1379–1391.
 6. Gu P., Beaudoin J.J. Dielectric behavior of hardened cement paste systems // *Journal of Materials Science Letter*. 1996. Vol. 15. No. 2, pp. 182–184.
 7. Levita G. [et al.] Electrical properties of fluidified Portland cement mixes in the early stage of hydration // *Cement and Concrete Research*. 2000. Vol. 30. No. 6, pp. 923–930.
 8. Водопьянов К.А. Температурно-частотная зависимость для диэлектрических потерь в кристаллах с полярными молекулами // *Доклады АН СССР*. 1952. Т. 94. № 5. С. 919–921.
 9. Машкин А.Н., Бердов Г.И., Виноградов С.А., Хританков В.Ф. Диэлькометрический анализ процесса твердения цементного камня // *Известия вузов. Строительство*. 2015. № 3. С. 23–27.
 10. Бердов Г.И., Машкин А.Н., Виноградов С.А. Высокочастотный диэлькометрический контроль процесса твердения цементных материалов // *Строительные материалы*. 2016. № 1–2. С. 107–109.
- constant measurement. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 34, pp. 306–312.
3. Lai W.L. [et al.] Characterization of concrete properties from dielectric properties using ground penetrating radar. *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39. No. 8, pp. 687–695.
 4. Yoon S.S., Kim S.Y., Kim H.C. Dielectric spectra of fresh cement paste below freezing point using an insulated electrode. *Journal of Materials Science*. 1994. Vol. 29. No. 7, pp. 1910–1914.
 5. Haddad R.H., Al-Qadi J.L. Characterization of Portland cement concrete using electromagnetic waves over the microwave frequencies. *Cement and Concrete Research*. 1998. Vol. 28. No. 10, pp. 1379–1391.
 6. Gu P., Beaudoin J.J. Dielectric behavior of hardened cement paste systems. *Journal of Materials Science Letter*. 1996. Vol. 15. No. 2, pp. 182–184.
 7. Levita G. [et al.] Electrical properties of fluidified Portland cement mixes in the early stage of hydration. *Cement and Concrete Research*. 2000. Vol. 30. No. 6, pp. 923–930.
 8. Vodop'yanov K.A. Temperature – frequency dependence for dielectric losses in crystals with polar molecules. *Doklady AN SSSR*. 1952. T. 94. No. 5, pp. 919–921. (In Russian).
 9. Mashkin A.N., Berdov G.I., Vinogradov S.A., Chritankov V.F. Dielectric measurement analysis of the process of cement stone hardening. *Izvestiya vusov. Stroitel'stvo*. 2015. No. 3, pp. 23–27. (In Russian).
 10. Berdov G.I., Mashkin A.N., Vinogradov S.A. High-frequency dielectric measurement control of the process of cement materials hardening. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 1–2. pp. 107–109. (In Russian).

ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

При поддержке Правительства Республики САХА (Якутия)

КОТТЕДЖ-2017

МАЛОЭТАЖНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ. МЕБЕЛЬ. ИНТЕРЬЕР. ЛАНДШАФТ
НЕДВИЖИМОСТЬ. ИПОТЕКА. СТРОИТЕЛЬСТВО. ИНВЕСТИЦИИ

26-28 сентября 2017 г. ЯКУТСК



Организаторы:



Выставочная компания
Сибэкспосервис
г. Новосибирск



Выставочная компания
СахаЭкспоСервис
г. Якутск

Тел: (383) 3356350 - многоканальный
E-mail: vkses@yandex.ru, www.ses.net.ru

16+

Г.Ф. АВЕРИНА, инженер, Т.Н. ЧЕРНЫХ, д-р. техн. наук, А.А. ОРЛОВ, канд. техн. наук, Л.Я. КРАМАР, д-р техн. наук (kramar-l@mail.ru)

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

Выявление возможности использования магнезиальных отходов ГОК для производства вяжущих

Рассмотрена возможность расширения сырьевой базы для производства магнезиальных вяжущих и строительных материалов за счет использования отходов горно-обогатительных комбинатов и огнеупорных производств. Разработана методика оценки пригодности таких отходов на примере отвалов ОАО «Групп Магнезит» г. Сатки, принятых в качестве сырья, и предложена методологическая схема технологии производства вяжущих. Исследование включает фракционирование пород и анализ их минералогического состава с помощью рентгенофазового и дериватографического анализа. В качестве сырья приняты магнезиты 3-го и 4-го сортов из отвалов комбината. В результате установлены особенности распределения примесей в породах в зависимости от фракционного состава; предложена технология производства вяжущего, включающая комбинированный метод обжига с применением добавок-интенсификаторов, что позволяет исключить присутствие в нем потенциально вредных примесей.

Ключевые слова: магнезиальное вяжущее, минералогический и фракционный состав, магнезит, доломит, кальцит.

Для цитирования: Аверина Г.Ф., Черных Т.Н., Орлов А.А., Крамар Л.Я. Выявление возможности использования магнезиальных отходов ГОК для производства вяжущих // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 86–89.

G.F. AVERINA, Engineer, T.N. CHERNYKH, Doctor of Sciences (Engineering), A.A. ORLOV, Candidate of Sciences (Engineering), L.Ya. KRAMAR, Doctor of Sciences (Engineering) (kramar-l@mail.ru)
South Ural State University (National Research University) (76, Lenina Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation)

Revealing Possibilities to Use Magnesite Wastes of Mineral Processing Plant for Manufacturing Binders

A possibility to expand the raw materials base for manufacturing magnesite binders and building materials due to the use of wastes of mineral processing plants and refractory productions is considered. Methods for assessing the suitability of such wastes on the example of dumps of ОАО «Групп Магнезит», the city of Satka, adopted as a raw material have been developed and a methodological scheme of technology of binders production was proposed. The study includes fractioning of rocks and an analysis of their mineralogical composition with the help of X-ray phase and derivatographic analyses. Magnesites of the 3rd and 4th grade from the dumps of the plant are adopted as raw materials. As a result, features of the distribution of admixtures in rocks depending on the fraction composition was established; the technology of binder production, which includes the combined method of burning with the use of additive-intensifiers that makes it possible to exclude the presence of potentially harmful impurities, is proposed.

Keywords: magnesite binder, mineralogical and fractional composition, magnesite, dolomite, calcite.

For citation: Averina G.F., Chernykh T.N., Orlov A.A., Kramar L.Ya. Revealing possibilities to use magnesite wastes of mineral processing plant for manufacturing binders. *Stroitel'nyye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 5, pp. 86–89. (In Russian).

Рациональное природопользование и энергоэффективность в настоящее время являются основными принципами развития отрасли строительных материалов в Российской Федерации, которые в полной мере могут быть реализованы в технологии магнезиальных вяжущих строительного назначения и материалов на их основе. Магнезиальные вяжущие вещества можно получить умеренным обжигом магнезитовых, бруситовых и доломитовых пород. Но при этом на балансе Российской Федерации, по статистическим данным «Государственного баланса запасов полезных ископаемых Российской Федерации», числятся запасы категории С2 в виде отходов производств магнезита – 1,78 млрд т, доломитов металлургических – 530–700 тыс. т, доломитов строительных – 1,87 млрд т и бруситов низких сортов – до 4 млн т. Вопрос утилизации таких отходов на сегодняшний день актуален, так как они занимают огромные площади плодородных земель, способствуют загрязнению грунтовых вод и воздушного бассейна. Одно из направлений утилизации магнезиальных отходов связано с их применением в строительном производстве, при этом наиболее эффективным и рациональным является получение магнезиальных вяжущих и материалов.

В настоящее время самым распространенным способом получения вяжущего из магнезиальных пород является умеренный обжиг природных кристаллических магнезитов древних осадочных толщ при темпера-

туре 800–1000°C, бруситов и пелитоморфных магнезитов (гидромагнезитов) до 1100°C [1]. Такой способ требует значительных энергетических затрат для достижения необходимых свойств вяжущих и обусловлен влиянием на процесс обжига примесей, присутствующих в породах [2–4]. Как правило, примеси доломита, гидромагнезита, серпентинитов и кальцитов повышают энергозатраты на производство и влияют на качество получаемого вяжущего. С целью снижения энергозатрат при производстве вяжущих разработаны новые высокоэффективные технологии обжига.

Для доломитовых пород известен ряд методов регулирования термического разложения минерала $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. В первую группу входят технологические методы:

- обжиг узких фракций кускового доломита [5];
 - обжиг при температуре 830°C с применением изотермической выдержки длительностью 15 мин при крупности щебня 15–25 мм [6];
 - обжиг при контролируемой температуре и давлении CO_2 [7];
 - режим обжига, оптимизированный по величине суммарного эффекта от степени разложения сырья [8].
- Ко второй группе относят физико-химические методы влияния на диссоциацию доломита:
- обжиг при введении добавок-интенсификаторов (содовый плав и кальцинированная сода) [9, 10];
 - ускорение диссоциации доломитов с использованием фосфатов [11];

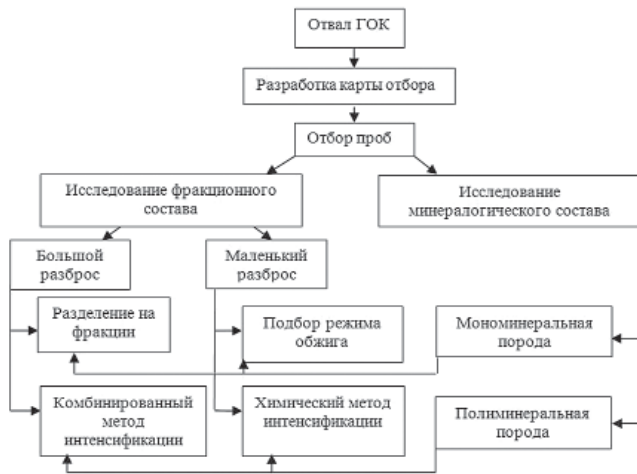


Рис. 1. Методологическая схема назначения технологии производства вяжущих из магнезиальных отходов ГОК

– снижение температуры первой ступени диссоциации доломита с помощью нитратов, фторидов, хлоридов, сульфатов и карбонатов [12].

Наиболее эффективным является комбинированный метод, сочетающий технологические и физико-химические методы, заключающийся в совместном помолу доломитовой породы с добавкой-интенсификатором, последующей их грануляции и обжиге [13]. Из других магнезиальных пород, например бруситовых, также возможно получение магнезиальных вяжущих по комбинированной технологии интенсификации обжига, включающей грануляцию с введением добавок и обжиг во вращающихся или пересыпных печах.

Все вышеперечисленные методы оптимизации режимов обжига магнезиальных пород различного генезиса разработаны на основе известных данных о минералогическом и фракционном составе сырья. Необходимость учета фракционного состава заключается в особенностях совместного обжига крупных и мелких фракций [14], а исследование минералогического состава необходимо для выявления присутствия примесей в породе.

Наиболее проблемными примесями являются минералы, содержащие одновременно серпентины с кальцитом или доломитом. Для магнезиального вяжущего примесь оксида кальция, образующаяся при разложении доломита и кальцита, считается вредной и должна быть ограничена 5% по ГОСТ 1216–87. Отрицательное влияние оксида кальция на качество магнезиального вяжущего подтверждается многими, в том числе зарубежными, исследователями [15–20]. Присутствие серпентинов в бруситовых и гидромагнезитовых породах сдерживает полное удаление химически связанной воды, вследствие чего замедляет кристаллизацию оксида магния и требует повышения энергозатрат на обжиг [21].

При использовании рассматриваемых отходов производств и пород, содержащих большое количество потенциально вредных примесей, наиболее эффективным можно считать применение комбинированного способа оптимизации обжига с возможностью выбора конкретной для каждого случая добавки-интенсификатора. Таким образом, выбор технологии производства зависит от двух основных характеристик сырья: его фракционного и минералогического состава с обязательным учетом вида и количества примесей.

Целью данной работы явилась разработка и апробация единой методики исследования отходов магнезиальных производств, выявление пригодности их применения в качестве сырья для получения строительного вяжущего и назначения технологии его производства.

Основные этапы комплексной оценки сырья включают:

- изучение фракционного состава шихты;
- минералогический анализ отдельных фракций с целью выявления состава примесей;
- назначение технологии и режима обжига сырьевой шихты.

Для исследования был принят кристаллический магнезит 3-го и 4-го сортов Саткинского месторождения с размером зерен 60–0 и 40–0 мм нерегулируемого минералогического состава. Фракционный состав определяли рассевом проб на ситах по ГОСТ 6613–86. Сырьевые материалы подвергали комплексному исследованию с применением дериватографии, рентгенофазового анализа и стандартных методов. Термический анализ минералов проводили на дериватографе системы «Luxh STA 409» («Netsch», Германия). Скорость подъема температуры в печи – 10°C/мин, максимальная температура нагрева 1000°C. Для испытания использовали платиновые тигли, нагревали в среде азота.

Рентгенофазовый анализ проводили на приборе ДРОН-3М, модернизированном приставкой PDWin, при напряжении 30 кВт, силе тока 10 мА и ширине выходной щели 1 мм. Съемки вели в интервале углов 6–70°.

Согласно проведенному теоретическому исследованию возможностей переработки отходов магнезиальных ГОК с целью получения магнезиальных вяжущих была разработана методологическая схема назначения оптимальной технологии (на рис. 1).

Апробация методики проводилась на магнезите 3-го и 4-го сортов Саткинского месторождения. Первый этап оценки заключался в исследовании фракционного состава сырья. С этой целью был произведен отбор 38 проб, которые в дальнейшем рассевали на ситах 40, 20, 10. Полученные остатки на ситах вычисляли в процентах от массы пробы (табл. 1).

Полученные результаты позволяют выявить нестабильный полифракционный состав отвалов Саткинского месторождения. Зерна более 40 мм при совместном обжиге с мелкими фракциями по стандартной технологии могут снизить качество получаемого вяжущего за счет увеличения процента слабообожженного материала (недожога). Согласно методике для пород с большим разбросом по фракционному составу проведение обжига без предварительного фракционирования или комбинированного метода интенсификации невозможно.

На втором этапе устанавливали минералогический состав исследуемой породы и присутствие примесных минералов.

Рентгенофазовый анализ позволил установить, что помимо основного минерала карбоната магния $MgCO_3$ ($d/n = 2,7987; 2,1276; 1,6986\text{\AA}$) в пробах исследуемых фракций присутствуют примеси кальцита $CaCO_3$ ($d/n = 3,0345; 1,8463; 1,8021\text{\AA}$), доломита $CaMg(CO_3)_2$ ($d/n = 2,8837; 2,1905; 1,7843\text{\AA}$) и железистых включений Fe_2O_3 ($d/n = 2,6671; 2,5365; 1,698\text{\AA}$).

Для определения количественного содержания потенциально вредных примесей кальцита и доломита в различных фракциях сырьевой шихты использовали дериватографию. Отбор материала осуществляли из усредненных проб фракций 10–0, 20–10, 40–20 и ≥ 40 мм (рис. 2).

Из полученных дериватограмм следует, что фракция ≥ 40 мм состоит преимущественно из карбоната кальция (кальцита), имеет в своем составе примеси карбоната магния и доломита, что делает эту фракцию непригодной

Таблица 1
Среднее содержание фракций в пробах

| Материал | Фракция, мм | | | |
|---------------|-------------|-------|-------|------|
| | > 40 | 40–20 | 20–10 | 10–0 |
| Содержание, % | 0–26 | 2–40 | 2–34 | 8–38 |

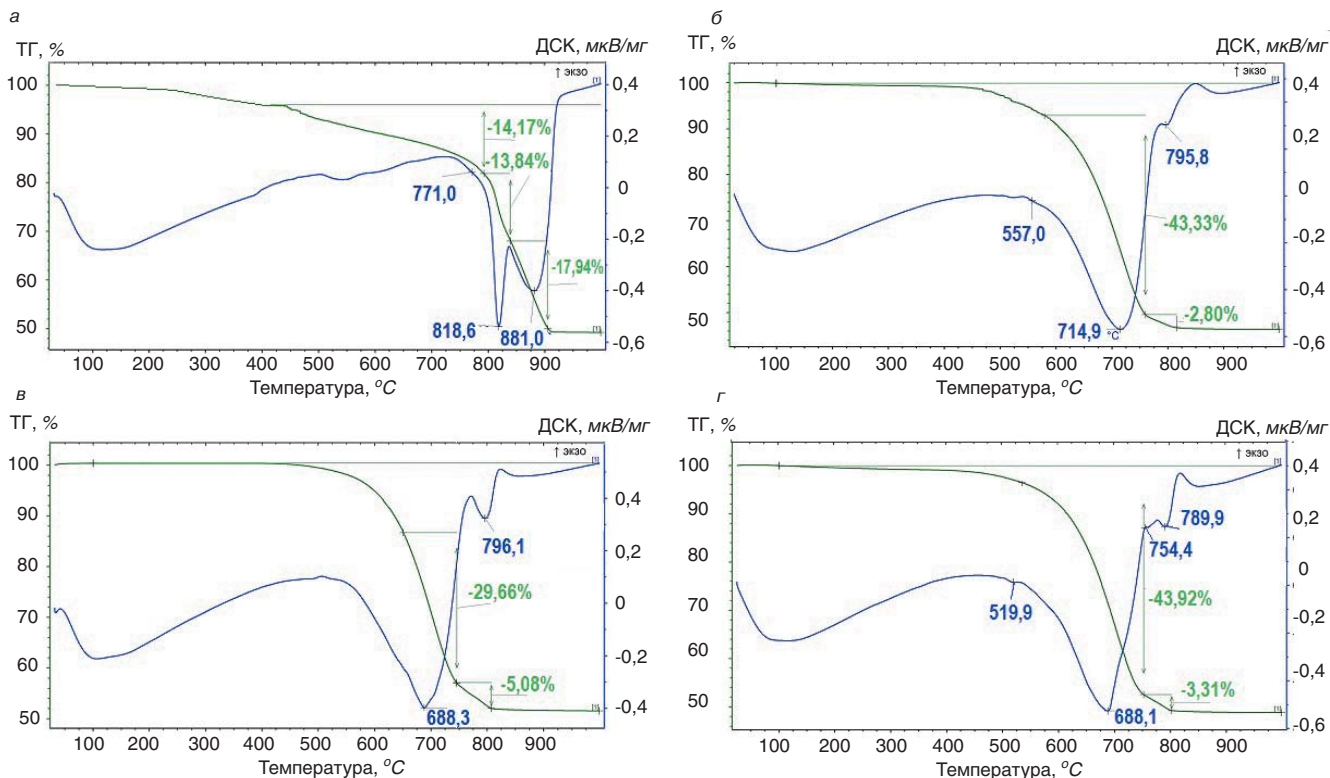


Рис. 2. Дериватограммы усредненной пробы магнезита 3-го и 4-го сортов Саткинского месторождения фракции: а – ≥ 40 мм; б – 20–40 мм; в – 10–20 мм; г – 10–0 мм.

для получения магнезиального вяжущего. Во фракциях 40–20, 20–10 и 10–0 мм преобладает минерал доломит, а также присутствуют примеси магнезита, кальцита и оксида железа. Используя стехиометрические уравнения, установили процентное содержание минералов в зернах исследуемых фракций. Результаты количественного анализа минералогического состава сырья различных фракций представлены в сводной таблице (табл. 2).

Согласно методологической схеме обжиг полиминеральных пород допускается проводить с применением химического или комбинированного методов интенсификации.

Анализ полученных результатов выявил, что отвалы комбината ОАО «Групп Магнезит» разнородны как по фракционному, так и по минералогическому составу и представлены в основном доломитизированным магнезитом. Фракция больше 40 мм имеет наибольший процент содержания карбоната кальция и должна быть полностью исключена из состава сырьевой шихты для предотвращения появления в порошке вяжущего примеси оксида кальция. Фракции менее 40 мм практически полностью состоят из доломита. Следовательно, для использования их в качестве сырья необходимо проводить мероприятия по интенсификации обжига с целью увеличения температурного интервала разложения карбонатов магния и кальция в доломите.

На третьем этапе осуществлялся подбор технологии обжига сырьевой шихты согласно полученным результатам. Учитывая высокий разброс сырья по фракцион-

ному и минералогическому составу, добиться полного разложения карбонатов магния и его соединений без образования примеси оксида кальция по традиционной технологии обжига с использованием любых видов печей невозможно.

По методологической схеме для полиминеральных пород с большим разбросом по фракционному составу необходимо проводить обжиг с комбинированным методом интенсификации. Комбинированный метод обжига для исследуемого материала является более рациональным, так как не требует дополнительных трудовых ресурсов и энергозатрат на фракционирование сырья, а также на переналадку оборудования, что обеспечивает в большей степени постоянство качества получаемого материала.

Выводы.

По результатам исследования разработана методика комплексной оценки пригодности отходов магнезиальных производств с целью их использования в качестве сырья для строительных вяжущих. Она включает исследование особенностей фракционного и минералогического состава сырья, что позволяет назначить наиболее эффективную технологию производства магнезиальных вяжущих.

Для магнезиального сырья 3-го и 4-го сортов Саткинского месторождения установлено, что кроме магнезита порода включает в значительных количествах примеси доломита и кальцита. При этом зерна фракции >40 мм непригодны для использования в качестве сырья в производстве вяжущего строительного назначения из-за высокого содержания кальцита CaCO₃ (более 40%).

В связи с большим разбросом сырья по фракционному и минералогическому составу для получения магнезиального вяжущего из фракций 40–0 мм рационально проведение обжига, интенсифицированного по комбинированной технологии, включающей размол, грануляцию и обжиг в присутствии добавок-интенсификаторов.

Исследовательская работа проводилась при поддержке ОАО «Групп Магнезит».

Таблица 2

Минералогический состав фракций магнезита

| Фракция | MgCO ₃ , % | CaCO ₃ , % | CaMg(CO ₃) ₂ , % | Угисто-хлористое вещество, % |
|----------|-----------------------|-----------------------|---|------------------------------|
| >40 мм | 18–19 | 40–41 | 38–39 | 3–4 |
| 40–20 мм | – | 6–4 | 90–91 | 3–4 |
| 20–10 мм | 18–19 | 10–11 | 69–70 | < 1 |
| 10–5 мм | 17–18 | 4–5 | 78–80 | < 1 |

Список литературы

1. Будников П.П., Матвеев М.А., Яновский В.К., Харитонов Ф.Я. Спекание высокочистой окиси магния с добавками // *Неорганические материалы*. 1967. № 5. С. 840–848.
2. Магнезиальный суперпол «Maglit» // *Строительные материалы*, 2000. № 3. С. 30–31.
3. Мирюк О.А. Магнезиальные композиции оксихлоридного твердения // *Цемент и его применение*. 2003. № 4. С. 38–40.
4. Монолитные бесшовные полы на магнезиальном вяжущем // *Строительные материалы*. 1998. № 6. С. 31.
5. Истомин М.Ю. Эффективные стеновые материалы на основе магнезиально-доломитового цемента и отходов промышленности. Дис... канд. техн. наук. Улан-Удэ. 1998. 145 с.
6. Кузьменков М.И., Бахир Е.Н. Получение древесно-минерального композиционного материала на магнезиальном вяжущем из каустического доломита // *Энерго- и ресурсосбережение в производстве цемента и других вяжущих материалов: Сборник докладов Международной конференции*. Белгород: БелГТАСМ, 1997. Т. 1. С. 83–87.
7. Маткович В., Рогич И. Модифицированный магнезиальный цемент (цемент Сореля) // *VI Международный конгресс по химии цемента*. М.: Стройиздат, 1976. Т. 2. С. 94–100.
8. Шелихов Н.С. Особенности формирования активной фазы MgO в доломитовом цементе // *Строительные материалы*. 2008. № 10. С. 32–33.
9. Марчик Е.В. Получение из доломита магнезиально-цементного и пенобетона на его основе. Дисс... канд. техн. наук. Минск. 2010. 121 с.
10. Кузьменков М.И., Марчик Е.В., Мельникова Р.Я. Интенсификация процесса декарбонизации доломита солевыми добавками // *Работа в рамках ГКПНИ «Химические реагенты и материалы»*. Минск: БГТУ, 2009. 192 с.
11. Иванов А.Е. Разработка основ технологии водостойких магнезиальных вяжущих из доломита. Дисс... канд. техн. наук. Иваново 1996. 117 с.
12. Вайвад А.Я., Гофман Б.Э., Карлсон К.П. Доломитовые вяжущие вещества. Рига: Наука 1958. 240 с.
13. Носов А.В. Доломитовое вяжущее строительного назначения и материалы на его основе. Дисс... канд. техн. наук. Челябинск. 2014. 118 с.
14. Аверина Г.Ф., Черных Т.Н., Крамар Л.Я. Влияние фактора фракционной неоднородности магнезиального сырья на свойства получаемого вяжущего // *Сборник докладов XIII Международной конференции «Тенденции развития науки и образования»*. Самара: НИЦ «Л-Журнал», 2016. С. 5–7.
15. Вайвад А.Я. Магнезиальные вяжущие вещества. Рига: Наука, 1971. 315 с.
16. Beruto D.T., Vecchiattini R., Giordani M. Effect of mixtures of H₂O (g) and CO₂ (g) on the thermal half-decomposition of dolomite natural stone in high CO₂ pressure regime // *Thermochimica Acta*. 2003. pp 25–33.
17. Noll W. Uber den halbgebrannten Dolomit. // *Angew. Chem.*, 1950, 62, 23/24, z. 567–572.
18. Haul R.A., Heystek H. Differential Thermal Analysis of the Dolomite Decomposition. – *Am. Mineralogist*. 1952. pp. 166–179.
19. Hedvall J.A. Uber die thermischem Zersetzung von Dolomit. *Z. anorg.allg. Chem.* 1953. pp. 22–24.
20. Chernykh T.N., Nosov A. V., Kramar L.Ya. Dolomite magnesium oxychloride cement properties control method during its production // *International Scientific Conference of Young Scientists: Advanced Materials in Construction and Engineering*. 2015. V. 71. 4 p.

References

1. Budnikov P.P., Matveev M.A., Yanovskii V.K., Kharitonov F.Ya. Sintering of high-purity magnesium oxide with additives. *Neorganicheskie materialy*. 1967. No. 5, pp. 840–848. (In Russian).
2. Magnesian Super fields «Maglit». *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2000. No. 3, pp. 30–31. (In Russian).
3. Miryuk O.A. Magnesian compositions of oxychloride curing. *Tsement i ego primenenie*. 2003. No. 4, pp. 38–40. (In Russian).
4. Monolithic seamless floors on magnesian knitting. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 1998. No. 6, pp. 31. (In Russian).
5. Istomin M.Y. Effective wall materials based on magnesia-dolomite cement and industrial wastes. *Cand. Diss. (Engineering)*. Ulan-Ude. 1998. 145 p. (In Russian).
6. Kuzmenkov M.I., Bahir E.N. Production of wood-mineral composite material on a magnesia astringent of caustic dolomite. *Energy-saving in the production of cement and other cementitious materials: Proceedings of the International Conference*. Belgorod. 1997. Vol. 1, pp. 83–87. (In Russian).
7. Matkovic V., Rogich I. Modified magnesia cement (Sorel cement). *The Sixth International Congress of cement chemistry*. Moscow. 1976. Vol. 2, pp. 94–100. (In Russian).
8. Shelikhov N.S. Features of the formation of the active phase of MgO in dolomitic cement. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2008. No. 10, pp. 32–33. (In Russian).
9. Marchik E.V. Production of dolomite and magnesia cement foam on its basis. *Cand. Diss. (Engineering)*. Minsk. 2010. 121 p. (In Russian).
10. Kuzmenkov M.I., Marchik E.V., Melnikova R.Ya. The intensification of the process of decarbonising dolomite salt additives. *Work under GKПNI "Chemical reagents and materials"*. Minsk: Belarusian State Technological University. 2009. 192 p. (In Russian).
11. Ivanov A.E. Development of bases of technology reconstituted magnesia binders of dolomite. *Cand. Diss. (Engineering)*. Ivanovo. 1996. 117 p. (In Russian).
12. Vaivade A.Ya., Hoffman B.E., Carlson K.P. Dolomitovye vyazhushchie veshchestva [Dolomite binders]. Riga: Nauka. 1958. 240 p.
13. Nosov A.V. Dolomite astringent construction application and materials on its basis. *Cand. Diss. (Engineering)*. Chelyabinsk. 2014. 118 p. (In Russian).
14. Averina G.F., Chernikh T.N., Kramar L.Ya. Impact factor fractional heterogeneity magnesia raw materials on the properties of the resulting binder. *Proceedings of the XIII International Conference "Trends in the development of science and education"*. Samara. 2016, pp. 5–7. (In Russian).
15. Vayvade A.Ya. Magnezial'nye vyazhushchie veshchestva [Magnesium binders]. Riga: Nauka. 1971. 315 p.
16. Beruto D.T., Vecchiattini R., Giordani M. Effect of mixtures of H₂O (g) and CO₂ (g) on the thermal half-decomposition of dolomite natural stone in high CO₂ pressure regime. *Thermochimica Acta*. 2003. Vol. 404. Iss. 1–2, pp. 25–33.
17. Noll W. Uber den halbgebrannten Dolomit. *Angewandte Chemie*. 1950. Vol. 62. Iss. 23/24, pp. 567–572. (In German).
18. Haul R.A., Heystek H. Differential thermal analysis of the dolomite decomposition. *American Mineralogist*. 1952. Vol. 37. pp. 166–179.
19. Hedvall J.A. Uber die thermische Zersetzung von Dolomit. *Zeitschrift fur anorganische und allgemeine Chemie*. 1953. Vol. 272. Iss. 1–4, pp. 22–24. (In German).
20. Chernykh T.N., Nosov A.V., Kramar L.Ya. Dolomite magnesium oxychloride cement properties control method during its production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2015. Volume 71. Conference 1. <http://iop-science.iop.org/article/10.1088/1757-899X/71/1/012045/pdf>.

IX Международная конференция «Нанотехнологии в строительстве: NTC-2017»

17–21 марта 2017 г. в Шарм-эль-Шейхе (Египет) состоялась IX Международная конференция «Нанотехнологии в строительстве: NTC-2017». Ее организаторами традиционно выступают с египетской стороны: Министерство жилищно-коммунального хозяйства и градостроительства (городского развития), Национальный исследовательский центр жилья и строительства, Египетско-Российский университет; с российской стороны – Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова. Неизменным информационным партнером конференции выступает журнал «Строительные материалы»®.

The IX International Conference «Nanotechnologies in Construction: NTC-2017» was held on March 17–21, 2017 in Sharm El Sheikh (Egypt). Its organizers traditionally are, from the Egyptian side, the Ministry of Housing, Utilities and Urban Development, Housing and Building National Research Center, Egyptian Russian University, from the Russian side – Kalashnikov Izhevsk State Technical University (Izhevsk). Constant information partner of the Conference is the journal «Construction Materials»®.



Профессор Шариф Хелми – канд. техн. наук, профессор бетонных конструкций в университете Хелван (Helwan), инженерный факультет в Матарее (Matara), президент Египетско-Российского университета.

В 1963 г. с отличием окончил инженерный факультет Каирского университета. В 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию по окончании аспирантуры знаменитого советского научно-исследовательского института по бетону и железобетону (НИИЖБ).

Профессор Шариф имел огромный опыт в обучении студентов, а также инженерном проектировании и консалтинге. Руководил исследованиями по нескольким кандидатским и магистерским диссертациям. Основным направлением его научных интересов были работы по гражданскому строительству, включая бурение грунта и скважин; внедрение цементного раствора через скважины в плотины и другие сооружения с целью их укрепления. Он проектировал и контролировал строительство нескольких высотных зданий, фабрик и мостов, был знатоком местных и национальных правил и строительного законодательства Египта.

За время обучения в Москве он приобрел много друзей и через всю жизнь пронес любовь к России.

Профессор Шариф содействовал развитию партнерских отношений между университетами Египта и России, был одним из инициаторов создания Египетско-Российского университета. Именно ему принадлежала идея проведения Конференции «Нанотехнологии в строительстве».

Несколько лет профессор Шариф был иностранным членом редакционного совета журнала «Строительные материалы»®.

Заслуги профессора Ш.С. Хелми высоко оценены в России. Ему было присвоено звание заслуженного профессора Ижевского государственного технического университета; он был избран почетным членом Российского центра научного и культурного сотрудничества Министерства иностранных дел за вклад в дружбу; выиграл грант: медаль первого космонавта Земли – Юрия Гагарина за вклад в сферу космонавтики; награжден Почетная грамота ученого совета Российского университета дружбы народов за большой вклад в развитие сотрудничества с Хелуанским университетом (Helwan university)

Продолжение работы Египетско-российского университета, продолжение тесного сотрудничества египетских и российских ученых, продолжение работы конференции «Нанотехнологии в строительстве» будет лучшей памятью о нашем дорогом коллеге и друге профессоре Шарифе Хелми.

В этом году конференция была омрачена трагическим событием – за несколько дней до начала ушел из жизни ее основоположник и идейный вдохновитель, президент Египетско-российского университета профессор **Ш.С. Хелми**.

В работе конференции приняли участие более 100 ученых из университетов и научных организаций, руководители и ведущие специалисты министерств и ведомств Египта, Йемена, Судана, Чехии, России и др. Спонсорами мероприятия выступили New Urban Communities, Tolaat Moustafa Group, Alex Group, CMB Group и BASF Company – крупные производители строительных материалов.

Деловая программа была насыщена докладами и научными дискуссиями. За три рабочих дня было заслушано и обсуждено более 50 докладов.

Традиционно интерес участников вызывают работы, выполненные российскими учеными. С развернутой лекцией выступил профессор, д-р техн. наук **Г.И. Яковлев** (Ижевский государственный технический университет) – «Строительная керамика, модифицированная дисперсиями многослойных углеродных нанотрубок». Также интерес вызвало выступление **А. Эльрефаи** (Aly Elrefaey), ученика Г.И. Яковлева, который в 2016 г. в России защитил диссертацию на соискание степени



кандидата технических наук по теме «Повышение прочности, водонепроницаемости и морозостойкости тяжелого бетона наномодификаторами». На конференции он представил доклад, подготовленный совместно с коллегами из Ижевска «Комбинирование добавок различного генезиса для повышения эффективности модификации цементных бетонов». Доклады российских делегатов опубликованы в журнале «Строительные материалы»[®] № 1–2, изданном на русском и английском языках, который был представлен на конференции. Также с ними можно ознакомиться на сайте журнала (<http://rifsm.ru/editions/journals/1/2017/616/>).

Многие из докладов египетских коллег были связаны непосредственно со строительными материалами. Отметим выступление **Н.А. Таха** (Национальный исследовательский центр жилья и строительства Египта) (Nihal A. Taha, Housing and Building National Research Center), в котором она представила результаты работы по введению нано-глинистых частиц (замена части цемента) в бетоны, и исследование их свойств при повышенной температуре (получение жаропрочных бетонов).

Профессор **С.А. Али** (Salah A. Aly) представил участникам Super Crete (Icon) – один из типов полимерных бетонов, который был разработан недавно во многих странах и по-прежнему считается новым материалом, особенно в Египте. Это бетон без крупнозернистого заполнителя, который состоит из порошкового материала, содержащего высокий процент силиката кальция, и полимерной жидкости. Использование порошкового материала и полимерной жидкости для производства новых типов бетона является одним из распространенных способов достижения более экологически чистого бетона. Исследования подтвердили высокие показатели прочности при сжатии, долговечность, быстрое время отверждения и низкую проницаемость. Он широко используется в архитектуре, таких как декоративные элементы, фасад и облицовка.

Активно обсуждалась одна из значительных проблем Египта – загрязнение окружающей среды и влияние ее на жизнь человека. Основными причинами загрязнения воздуха являются выбросы от автомобилей, промышленные выбросы и многое другое. В своем выступлении **М.А. Шебл** (Университет Менуфии, Египет) (Mohamed Adel Shebl, Menoufia University) представил специальные покрытия, в состав которых входят наночастицы. Они позволяют защищать фасады зданий и сооружений от поглощения вредных газов, которые оказывают негативное влияние на здоровье пользователей.

Однако конференция охватила намного больший спектр применения наноматериалов и нанотехнологий, чем строительная отрасль. Были представлены доклады о применении нанотехнологий в энергетике, медицине и т. д. Интерес представляет работа **М.А. Элनावи** (Хелуанский университет, Египет) (Mohamed Alaa Elnawawy, Helwan University) по созданию стерильных помещений (Cleanroom), предназначенных для аэрокосмической отрасли, микроэлектроники, фармацевтики, здравоохранения, продуктов питания и др. с применением методов наномодифицирования и наноматериалов.

Много вопросов и активную дискуссию вызвало лекционное выступление профессора **Т.М.Т. Маттара** (Центральный металлургический научно-исследовательский институт, Египет) (Taha Mohamed Taha Mattar, Central Metallurgical Research & Development Institute) о нанотехнологиях и нано-модификаторах в металлургической промышленности. Он подчеркнул, что в настоящее время много промышленных и научных фирм и учреждений работают над созданием новых инновационных и прогрессивных стальных материалов. Тенденцией в этой области является улучшение свойств стальных сплавов за счет измельчения размера зерна и получения новых центров кристаллизации. Этот метод подразумевает по сути введение центров кристаллизации, которыми являются наноразмерные частицы тугоплавких соединений.

В завершение научного мероприятия был отмечен уровень организации конференции, который с каждым годом становится все выше, качество представленных докладов и принято решение о проведении следующей конференции в апреле 2018 г.

Т.А. Абакумова
инженер химик-технолог



До встречи на X юбилейной конференции «Нанотехнологии в строительстве», которая по решению оргкомитета пройдет в Хургаде!

М.И. КОЖУХОВА^{1,2}, канд. техн. наук (kozuhovamarina@yandex.ru);
И.Л. ЧУЛКОВА³, д-р техн. наук, (chulkova_il@sibadi.org);
А.Н. ХАРХАРДИН¹, д-р техн. наук; К.Г. СОБОЛЕВ², д-р философии (sobolev@uwm.edu)

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

² Университет Висконсин – Милуоки (3200, ул. Н. Крамер, Милуоки, WI 53211, США)

³ Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СИБАДИ) (644080, г. Омск, пр. Мира, 5)

Оценка эффективности применения гидрофобных водных эмульсий с содержанием нано- и микроразмерных частиц для модификации мелкозернистого бетона*

Известно, что эффективность гидрофобизаторов в значительной степени зависит от химического состава, дисперсности и концентрации составляющих их компонентов. В рамках работы было изучено влияние различных факторов на гидрофобные характеристики водной эмульсии на основе полиметилгидросилоксана, предлагаемой для использования в качестве поверхностного защитного покрытия в цементно-песчаных системах. С использованием топологических расчетов доказана целесообразность использования минеральных наполнителей микрокремнезема и метакеолина в составе гидрофобизирующей силоксановой эмульсии с точки зрения их энергетической (физико-химической) эффективности. Выявлено, что рациональное содержание минерального тонкодисперсного компонента (микрокремнезема или метакеолина) составляет 1% соответственно, поскольку данное количество указанных компонентов позволяет обеспечить высокую стабильность эмульсии и требуемые вязкотекучие характеристики при нанесении ее на обрабатываемую поверхность бетона.

Ключевые слова: силоксановая эмульсия, микрокремнезем, метакеолин, гидрофобное покрытие, краевой угол смачивания.

Для цитирования: Кожухова М.И., Чулкова И.Л., Хархардин А.Н., Соболев К.Г. Оценка эффективности применения гидрофобных водных эмульсий с содержанием нано- и микроразмерных частиц для модификации мелкозернистого бетона // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 92–97.

M.I. KOZHUKHOVA^{1,2}, PhD (kozuhovamarina@yandex.ru);

I.L. CHULKOVA³, Doctor of Sciences (Engineering) (chulkova_il@sibadi.org);

A.N. KHARKHARDIN¹, Doctor of Sciences (Engineering); K.G. SOBOLEV², PhD, (sobolev@uwm.edu)

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

² University of Wisconsin-Milwaukee (3200, N. Cramer Street, Milwaukee, 53211, WI, USA)

³ The Siberian Automobile and Highway University (SIBADI) (5, Mira Avenue, Omsk, 644080, Russian Federation)

Estimation of Application Efficiency of Hydrophobic Water-Based Emulsions Containing Nano- and Micro-Sized Particles for Modification of Fine Grained Concrete*

It is well known, that the efficiency of hydrophobic admixtures drastically depends on chemistry, dispersity and concentration of containing ingredients. This study reports on the effect of different factors on hydrophobic characteristics of polymethylhydrosiloxane (PMHS) containing water-based emulsions applied as a coating for concrete wearing surfaces. Calculations of topological characteristics proved the effectiveness of mineral additives such as silica fume and metakaolin in the formulation of hydrophobic siloxane emulsions, in terms of their physical-and-chemical potential. It was demonstrated that the emulsions produced with 1% of mineral nano- and micro-sized particles (silica fume/metakaolin) showed a high stability of emulsions and required workability when applied to concrete surfaces.

Keywords: siloxane emulsion, silica fume, metakaolin, hydrophobic coating, contact angle.

For citation: Kozhukhova M.I., Chulkova I.L., Kharkhardin A.N., Sobolev K.G. Estimation of application efficiency of hydrophobic water-based emulsions containing nano- and micro-sized particles for modification of fine grained concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 92–97. (In Russian).

В настоящее время ассортимент материалов на строительном рынке очень широк. Как правило, он характеризуется не только наличием традиционных материалов, таких как цементные, силикатные, гипсовые и т. д. [1–4], но также новых перспективных аналогов на основе альтернативных и эффективных видов сырьевых ресурсов [5–8]. При этом необходимо отметить, что материалы специального назначения благодаря их уникальным или специфическим характеристикам выделяются в отдельную группу.

Зачастую обеспечение тех или иных специфических характеристик материалов этой группы в большей степени связано с выбором определенных сырьевых компонентов надлежащего качества, т. е. требуемого мине-

рально-химического состава, структуры, морфологии, гранулометрии, дисперсности и т. д.

Так, среди актуальных материалов специального назначения необходимо отметить гидрофобные бетоны, обладающие водоотталкивающими характеристиками.

Ранее была доказана возможность получения гидрофобных бетонов с использованием поверхностной гидрофобизации [9–11], в том числе с применением кремнийорганических гидрофобизирующих компаундов [12]. Однако эффективность применения и потенциальные возможности таких гидрофобизаторов имеют высокую значимость и зависят от ряда факторов, одним из которых является размерность и концентрация составляющих компонентов.

* Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 15-33-50279.

* The work was carried out within the framework of the RFBR grant No. 15-33-50279.

Таблица 1

Критический размер микро- и наночастиц и их агрегаций в интервале проявления их физико-химической активности

| Показатель степени n для нано-, микрочастиц | Средний эффективный размер агрегаций частиц (d , нм) с плотностью упаковки в них элементов структуры η_1 | | | |
|---|--|----------------|-----------------|---------------|
| Для микрокремнезема | | | | |
| 3,33 | При $d = 0,79$ | | При $d = 0,96$ | |
| | 0,76 | 0,8 | 0,76 | 0,8 |
| | 316 | 375 | 384 | 463 |
| Для метакаолина | | | | |
| 3,33 | При $d = 1,4$ | | При $d = 1,6$ | |
| | 0,76 | 0,8 | 0,76 | 0,8 |
| | 561 | 677 | 641 | 753 |
| Для подтверждения достоверности полученных результатов был проведен расчет наименьших критических размеров частиц и агрегаций с учетом их роста | | | | |
| 3,33 | Для микрокремнезема | | Для метакаолина | |
| | При $d = 0,79$ | При $d = 0,96$ | При $d = 1,4$ | При $d = 1,6$ |
| В первом приближении при $\eta_1 = 0,64$ | 10,79 | 13,11 | 19,12 | 21,86 |
| Во втором приближении при $\eta_1 = 0,86$ | 373 | 456 | 668 | 754 |

В данной работе представлены исследования по изучению эффективности эмульсий типа «масло в воде» на основе полиметилгидросилоксана в зависимости от дисперсности и концентрации содержащихся в ее составе нано- и микроразмерных минеральных частиц, эмульгатора, а также гидрофобизирующего агента.

При получении силиконовых эмульсий в рамках работы использовались следующие сырьевые материалы:

- в качестве эмульгатора – поливиниловый спирт ПВС;
- в качестве гидрофобизатора – полиметилгидросилоксан ПМГС (XIAMETER MNX-1107, производство Dow Corning);
- в качестве армирующего наполнителя – ПВС-фибра производства Kuralon (Япония);
- в качестве нано- и микроразмерных наполнителей – метакаолин (производство Burgess Optipozz, США) и микрокремнезем (производство Elkem, США).

Изучение степени стабильности эмульсионной системы проводили с помощью оптического микроскопа Olympus BH-2.

Приготовление гидрофобных силиконовых эмульсий осуществлялось с использованием высокоскоростного смесителя L5M-A (Silverson).

Одним из параметров, зависящих от дисперсности материала и размера частиц, является его энергетическая эффективность и, как следствие, активность в гидрофобной эмульсионной системе.

Топологический расчет эффективности нано- и микроразмерных минеральных компонентов

Для оценки энергетической эффективности применения нано- и микроразмерных частиц и их агрегаций тонкодисперсных минеральных материалов микрокремнезема и метакаолина в рамках исследования изучены их свойства с точки зрения структурной топологии. На основании ранее проведенных исследований и предложенной расчетной процедуры [13–15] в данной работе были определены параметры критических размеров нано- и микрочастиц в интервале проявления их физико-химической активности (табл. 1).

На основании полученных расчетных данных (табл. 1) наибольший эффективный или критический средний размер агрегаций частиц микрокремнезема

располагается в диапазоне 350–450 нм. Для метакаолина этот диапазон находится в области 600–700 нм.

При этом значения наименьших критических диаметров частиц и их агрегаций с учетом дальнейшего роста во втором приближении коррелируют с полученными значениями для наибольших критических размеров агрегаций частиц зернистой природы и составляют диапазон для микрокремнезема 373–456 и 668–754 нм для метакаолина.

Расхождения в диапазонах сравниваемых значений связаны с высокой полидисперсностью материалов и непостоянством плотности упаковки даже в пределах конгломерата.

С учетом данных о том, что высвобождение поверхностной энергии дисперсных материалов аморфной

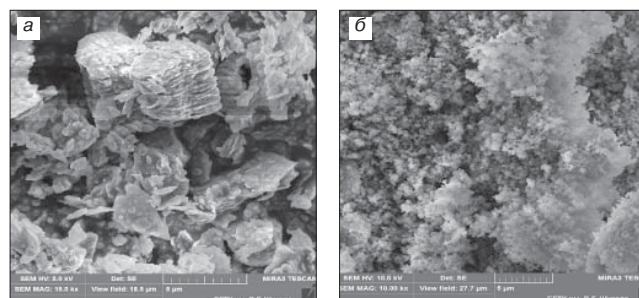


Рис. 1. Микроструктура: а – метакаолина; б – микрокремнезема

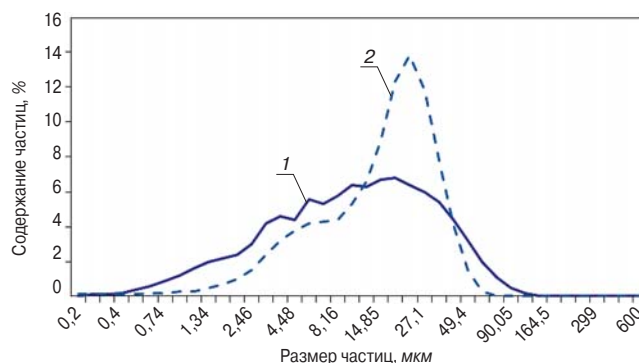


Рис. 2. Гранулометрический состав минеральных частиц: 1 – метакаолин; 2 – микрокремнезем

структуры происходит гораздо легче наряду с частицами с упорядоченной кристаллической структурой, можно сделать предположение, что критический размер дисперсных нано- и микроразмерных материалов с аморфной структурой смещается к области больших размеров.

Сравнивая расчетные значения критических размеров (табл. 1) с результатами микроструктурного анализа микрокремнезема и метаксаолина (рис. 1) и гранулометрии (рис. 2), следует заключить, что размерный диапазон исследуемых нано- и микроразмерных материалов попадает в необходимый расчетный диапазон критических размеров для исследуемых минеральных частиц. Поэтому на основании результатов, полученных с помощью топологических расчетов, применение данных наполнителей является целесообразным с точ-

ки зрения их энергетической (физико-химической) эффективности.

Подбор эмульгатора в зависимости от его типа и концентрации

С целью определения влияния молекулярного веса эмульгатора и его концентрации на стабильность разрабатываемых силиконовых эмульсий были приготовлены 16 составов гидрофобных эмульсий типа «масло в воде» на основе полиметилгидросилоксана (МНХ-1107). В качестве эмульгаторов использовались четыре вида поливинилового спирта (ПВС) с различным молекулярным весом (табл. 2). Для эксперимента были приготовлены водные растворы ПВС с массовой концентрацией 2,5; 3; 4; 5% для каждого из четырех исследуемых типов ПВС.

На полученных растворах готовились эмульсии 5- и 25%-й концентрации гидрофобизирующего агента. Стабильность этих эмульсий оценивалась визуально, а также с помощью оптического микроскопа на протяжении месяца. Контрольные точки сбора данных были определены для свежеприготовленных эмульсий, а также на 31-е сут после приготовления эмульсий.

В результате оценки фотоснимков, полученных с помощью оптического микроскопа (рис. 3, 4), можно сказать, что свежеприготовленные эмульсии с использованием ПВС типов II и III лучше всего показали себя при малых концентрациях гидрофобизирующего агента.

Для данных образцов при визуальной оценке четко прослеживаются отдельные фрагменты эмульсионной системы. Отчетливо видно распределение глобул силиконового компонента в объеме эмульсии, однако равномерного эмульгирования по всему объему системы не наблюдается.

Для эмульсий с 25%-м содержанием гидрофобного агента размерное распределение образованных глобул находится в довольно широком диапазоне, чего нельзя сказать об эмульсиях, приготовленных с содержанием 5% гидрофобного агента. В данном случае хорошо просматривается неравномерное распределение частиц не только по размеру, но и по объему в системе. Для эмульсии с содержанием ПВС типа I степень эмульгирования ниже при 5% содержании кремнийорганического компонента. Поэтому визуальная оценка разделения системы «эмульгатор – гидрофобизатор» достаточно проблематична. Для эмульсии в случае 25% концентрации гидрофобизатора с использованием ПВС типа I наблюдается высокая степень эмульгирования, видны моноразмерные сформированные глобулы гидрофобного агента. При этом диаметр этих глобул примерно вдвое больше по сравнению с глобулами в других исследуемых эмульсиях.

В более концентрированных эмульсиях (25% силиконового гидрофобизатора) всех четырех типов наблюдается существенное отличие. Глобулы гидро-

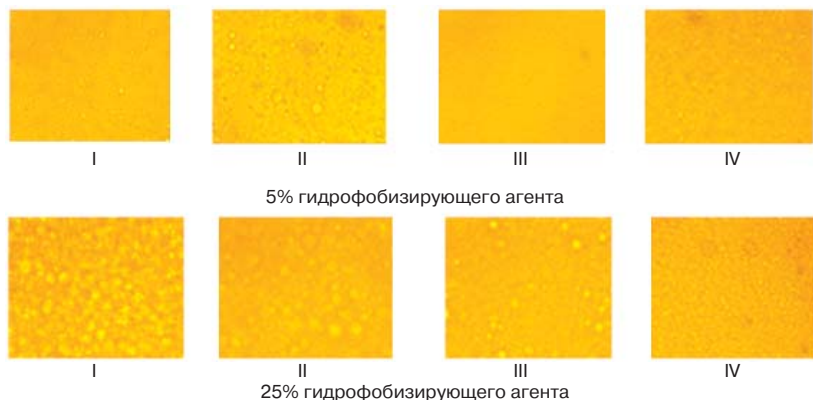


Рис. 3. Силоксановые водные эмульсии свежеприготовленные

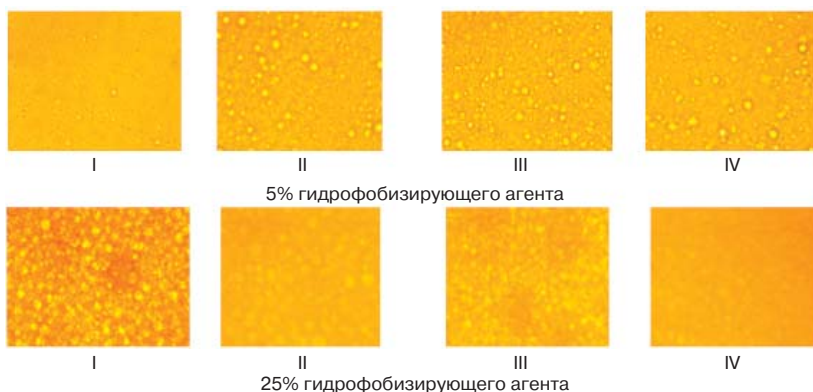


Рис. 4. Силоксановые водные эмульсии после 31 дня хранения

Основные характеристики исследуемых ПВС

| Кодировка ПВС | Динамическая вязкость 4% раствора, Па·с·10 ³ | Молекулярный вес |
|---------------|---|------------------|
| I | 9–12 | 40000 |
| II | 14–17 | 50000 |
| III | 15–20 | 65000 |
| IV | 3–4 | 16000 |

Таблица 2

Составы цементно-песчаных композиций

| Параметр | Состав 1 | Состав 2 |
|--------------------------------|----------|----------|
| Водоцементное отношение (В/Ц) | 0,5 | 0,3 |
| Соотношение цемент–песок (Ц/П) | 1:3 | 1:1 |

Таблица 3

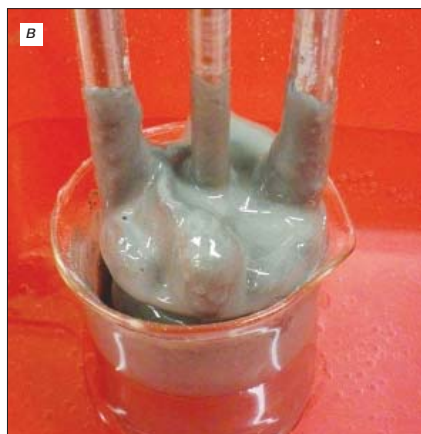


Рис. 5. Эмульсии, приготовленные с содержанием микрокремнезема в количестве: а – 1%; б – 5%; в – 7%; г – 10%

фобного агента достаточно крупные, а также эмульсионная структура просматривается неявно, особенно для эмульсий с содержанием ПВС I и III типов.

Оценка образцов всех четырех типов, выдержанных 31 сут, позволила сделать заключение о нарушении эмульсионной структуры системы, вызванной снижением степени ее стабильности, что сопровождается укрупнением гидрофобных силоксановых глобул за счет их слияния. Также наблюдается нарушение сплошности структуры и визуальное слияние границ системы «эмульгатор – гидрофобизатор».

При сравнительной оценке было обнаружено, что для эмульсий всех четырех типов с 25% концентрацией силоксанового компонента разрушение структуры протекает медленнее в сравнении с эмульсиями 5% концентрации. Данное явление зафиксировано для гидрофобных систем с низким содержанием эмульгатора.

Подбор оптимальной концентрации нано- и микро-размерного минерального компонента в составе эмульсий

Оценка количественной составляющей минеральных дисперсных частиц в составе эмульсий производилась при учете нескольких факторов. В первую очередь контролировалась стабилизирующая способность вводимых частиц в эмульсионной системе. Второй фактор связан с работоспособностью гидрофобных эмульсий, характеризующихся вязкостью и текучестью системы.

Минимальная концентрация минерального компонента выбиралась из условия достаточного его количества для формирования определенной степени шероховатости структуры на поверхности бетона. Исследования проводились для эмульсий с содержанием 1, 5, 7, 10% минерального компонента в эмульсионной системе.

* Краевой угол смачивания – угол, который образует капля жидкости на поверхности твердого вещества к данной поверхности.

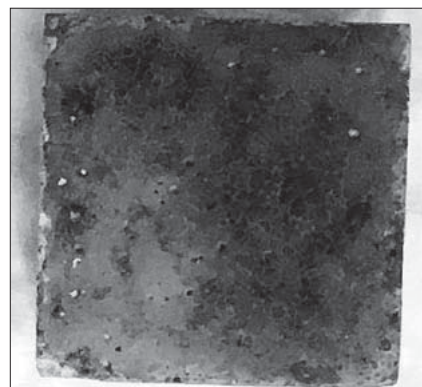


Рис. 6. Растрескивание слоя эмульсии на поверхности бетона

Приготовление эмульсий осуществлялось с помощью высокоскоростного смесителя. Параллельно с микроскопическими исследованиями (рис. 4) для приготовленных эмульсий визуально оценивались вязкотекучие характеристики (рис. 5).

В результате визуального анализа вязкотекучих характеристик приготовленных эмульсий (рис. 5) выявлено, что максимально возможным может быть содержание дисперсных минеральных частиц в количестве не более 5%. Это объясняется тем, что при повышении их концентрации увеличивается вязкость системы, что препятствует гомогенному распределению

всех компонентов в системе и созданию эмульсионной структуры типа «масло в воде».

Эмульсии с 1- и 5%-м содержанием нано- и микро-дисперсного минерального компонента были изучены на предмет закрепления минеральных частиц на поверхности обрабатываемого бетона.

По результатам эксперимента было выявлено, что эмульсия с содержанием 5% минерального компонента в отличие от эмульсий с содержанием минеральных частиц в количестве 1%, нанесенная на поверхность бетона, образует хрупкий слой, который при высыхании провоцирует формирование трещин, что обуславливает высокое содержание минерального компонента в эмульсионной системе (рис. 6).

В связи с этим дальнейшие исследования проводились на эмульсиях с содержанием 1% минерального компонента.

Таким образом, рациональное содержание минерального тонкодисперсного компонента (микрокремнезема либо метакаолина) составило 1%, поскольку данное количество позволяет обеспечить высокую стабильность эмульсии и требуемые вязкотекучие характеристики при нанесении ее на обрабатываемую бетонную поверхность.

Оценка эффективности гидрофобных эмульсий различного состава для мелкозернистого бетона

С целью определения степени гидрофобности эмульсий были проведены исследования по оценке краевого угла (КУ) смачивания* на образцах размером 50×50×9 мм на основе цементно-песчаного раствора.

Измерения КУ смачивания осуществлялись с помощью гониометров 250 Standard Ramehart goniometer и

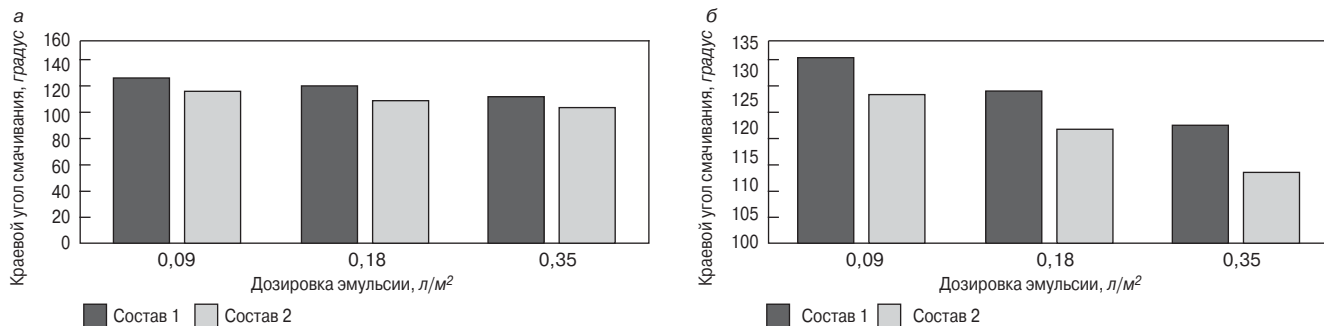


Рис. 7. Влияние дозировки используемой гидрофобной эмульсии на значение КУ смачивания в зависимости от состава цементно-песчаной матрицы: а – с микрокремнеземом; б – с метакатиолином

Kruss DSA100 (Drop Shape Analysis System). Для обеспечения достоверности получаемых экспериментальных данных для каждого образца при определении одной точки использовалось среднее значение не менее трех измерений КУ смачивания капли воды на поверхности в различных зонах образца.

В качестве обрабатываемых поверхностей были выбраны цементно-песчаные композиции с различными В/Ц и Ц/П соотношениями с целью достижения различной степени шероховатости поверхности. Составы цементно-песчаных композиций приведены в табл. 3.

Поверхности исследуемых образцов были подвергнуты обработке гидрофобными эмульсиями при трех различных дозировках: I – 0,09 л/м²; II – 0,18 л/м²; III – 0,35 л/м². Для каждого образца были определены значения КУ смачивания. Для образцов, не обработанных эмульсиями, значения составили 6,3° для состава с Ц/П = 1:3; В/Ц = 0,5 и 14,7° – для состава с Ц/П = 1:1; В/Ц = 0,3.

На основании полученных данных (рис. 7) наблюдается зависимость снижения показателей КУ смачивания с увеличением дозировки наносимой гидрофобной эмульсии.

Согласно полученным данным (рис. 7), увеличение В/Ц и Ц/П также способствует улучшению показателей КУ смачивания.

Так, для образцов состава 2 (В/Ц = 0,5, Ц/П = 1:3), обладающих большей шероховатостью поверхности, обработанных эмульсией с содержанием микрокремнезема, значения КУ смачивания незначительно выше в сравнении с образцами, обработанными метакатиолин-содержащей эмульсией для дозировок 0,09 и 0,18 л/м², и одинаковы в показателях при дозировке 0,32 л/м².

При анализе образцов состава 1 (В/Ц = 0,3, Ц/П = 1:1), более плотных и обладающих меньшей шероховатостью, значения КУ смачивания в среднем ниже на 10° в сравнении с образцами состава 2, независимо от вида минерального компонента и дозировки эмульсии. Для образцов состава 1, обработанных метакатиолин-содержащей эмульсией, наблюдаются более высокие значения КУ смачивания, в среднем на 7° выше в сравнении с образцами, обработанными микрокремнеземосодержащей эмульсией.

Список литературы

1. Клюев С.В., Клюев А.В., Лесовик Р.В. Оптимальное проектирование высококачественного фибробетона // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2015. № 6. С. 119–121.
2. Прасолова Е.О., Лесовик В.С., Володченко А.А. Эффективное сырье для улучшения теплотехнических свойств ячеистых бетонов. *Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля нау-*

Разницу в показателях можно объяснить тем, что при более высокой шероховатости (состав 1) гидрофобность поверхности возрастает за счет снижения площади контакта вода – твердое тело. В случае с более плотными и менее шероховатыми образцами (состав 2) значения КУ смачивания при использовании метакатиолин-содержащей эмульсии оказались выше в сравнении с микрокремнеземосодержащей эмульсией в среднем на 5°. Это связано с тем, что за счет большего диапазона размерности частиц метакатиолина и их агрегатов на поверхности цементно-песчаной матрицы создается дополнительная субмикро- и микрошероховатость в отличие от микрокремнезема, у которого размерный диапазон уже находится в области более низких значений, при котором создается в большей степени нано- и субмикрошероховатость, соизмеримая с шероховатостью пористо-капиллярной поверхности бетона.

Выводы

На основании проведенных исследований установлено влияние типа, размера и концентрации тонкодисперсных (нано- и микроразмерных) частиц микрокремнезема и метакатиолина на гидрофобные свойства силоксановой эмульсии, предполагаемой для использования в качестве поверхностного защитного покрытия для цементно-песчаных систем.

Установлен эффект варьирования содержания и типа эмульгатора на стабильность водных гидрофобных эмульсий.

В рамках работы обнаружено непосредственное влияние концентрации гидрофобизирующего силоксанового компонента на гидрофобные характеристики мелкозернистого бетона.

Нано- и микроразмерная составляющие минеральных наполнителей в оптимальной комбинации с остальными компонентами в эмульсии позволяют получать защитное покрытие для мелкозернистого бетона с высокими показателями краевого угла смачивания в диапазоне 110–135°, указывающими на хорошие водоотталкивающие свойства цементно-песчаной поверхности, способствующие улучшению защитных характеристик бетонных материалов.

References

1. Kluev S.V., Kluev A.V., Lesovik R.V. Optimal design of high-performance fibre-concrete. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2015. No. 6, pp. 119–121. (In Russian).
2. Prasolova E.O., Lesovik V.S., Volodchenko A.A. Effective raw materials for enhancement of thermal characteristics of cellular concretes. *Research-to-practice conference devoted to 85-Univers of honored scientist of*

- ки РФ, академик РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича «Эффективные строительные композиты». 2015. Белгород. С. 531–536.
- Чернышева Н.В., Дребезгов Д.А. Свойства и применение быстротвердеющих композитов на основе гипсовых вяжущих // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2015. № 5. С. 125–133.
 - Войтович Е.В., Фомина Е.В. Перспективы развития «зеленых» технологий за счет применения гипсового вяжущего // *Сборник докладов международной научно-технической конференции «Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды»*. 2015. Белгород. С. 467–472.
 - Чижов Р.В., Кожухова Н.И., Строкова В.В., Жерновский И.В. Алумосиликатные бесклинкерные вяжущие и области их применения // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 4. С. 6–10.
 - Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Фомина Е.В. Фазообразование в геополлимерных системах на основе зол-уноса Апатитской ТЭЦ // *Строительные материалы*. 2015. № 12. С. 85–88.
 - Voitovich E.V., Kozhukhova N.I., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Osadchaya M.S. Features of quality control of free of cement binder of non-hydration type // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 724. pp. 39–43.
 - Чижов Р.В., Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Коротких Д.Н., Фомина Е.В., Кожухова М.И. Фазообразование и свойства алумосиликатных вяжущих негидратационного типа твердения с использованием перлита // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 34–36.
 - Flores-Vivian I., Hejazi V., Kozhukhova M.I., Nosonovsky M., Sobolev K. Self-assembling particle-siloxane coatings for superhydrophobic concrete // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2014. Vol. 5 (24), pp. 13284–13294.
 - Ramachandran R., Kozhukhova M., Sobolev K., Nosonovsky M. Anti-icing superhydrophobic surfaces: controlling entropic molecular interactions to design novel icephobic concrete. *Entropy*. 2016. Vol. 18(4). 132. doi:10.3390/e18040132.
 - Кожухова М.И., Строкова В.В., Соболев К.Г. Особенности гидрофобизации мелкозернистых поверхностей // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2014. № 4. С. 33–35.
 - Кожухова, М.И., Флорес-Вивиан И., Рао С., Строкова В.В., Соболев К.Г. Комплексное силоксановое покрытие для супергидрофобизации бетонных поверхностей // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 26–30.
 - Хархардин А.Н., Строкова В.В., Кожухова М.И. Критический размер микро- и наночастиц, при котором проявляются их необычные свойства // *Известия вузов. Строительство*. 2012. № 10. С. 109–115.
 - Kharkhardin A. N., Strokova V.V., Kozhukhova N.I. Critical dimension of small-size particles. *11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI); 5th European Conference on Computational Mechanics (ECCM V); 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics (ECFD VI)*. July 20–25, 2014. Barcelona, Spain. Vol. 3, pp. 2221–2228.
 - Кожухова М.И., Соболев К.Г., Строкова В.В. Супергидрофобное антиобледенительное покрытие для бетона. Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 145 с.
 - Russian Federation, member of RAAS, PhD, Bazhenov Yu.M. «Effective construction composites». 2015. Belgorod, pp. 531–536 (In Russian).
 - Chernyisheva N.V., Drebesgov D.A. Properties and application of fast hardening composites based on gypsum binders. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2015. No. 5, pp. 125–133. (In Russian).
 - Voitovich E.V., Fomina E.V. Prospective of development of «green» technologies by application of gypsum binders. *Proceeding of International Scientific and Technical Conference «Energy- and resource saving environmentally friendly chemical and technological processes for environmental protection»*. 2015. Belgorod, pp. 467–472. (In Russian).
 - Chizhov R.V., Kozhukhova N.I., Strokova V.V., Zhernovsky I.V., Aluminosilicate free of clinker binders and its application fields. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 4, pp. 6–10. (In Russian).
 - Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Fomina E.V. Phase formation in geo-polymer systems on the basis of fly ash of Apatity TPS. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 12, pp. 85–88. (In Russian).
 - Voitovich E.V., Kozhukhova N.I., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Osadchaya M.S. Features of quality control of free of cement binder of non-hydration type. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 724, pp. 39–43.
 - Chizhov R.V., Kozhukhova N.I., Korotkih D.N., Fomina E.V., Kozhukhova M.I. Phase formation and properties of aluminosilicate binders with non-hydration type of hardening based on perlite. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 3, pp. 34–36. (In Russian).
 - Flores-Vivian I., Hejazi V., Kozhukhova M.I., Nosonovsky M., Sobolev K. Self-assembling particle-siloxane coatings for superhydrophobic concrete. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2014. Vol. 5 (24), pp. 13284–13294.
 - Ramachandran R., Kozhukhova M., Sobolev K., Nosonovsky M. Anti-icing superhydrophobic surfaces: controlling entropic molecular interactions to design novel icephobic concrete. *Entropy*. 2016. Vol. 18 (4). 132. doi:10.3390/e18040132.
 - Kozhukhova M.I., Strokova V.V., Sobolev K.G. Features of hydrophobization of fine-grained fractures. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2014. No. 4, pp. 33–35. (In Russian).
 - Kozhukhova M.I., Flores-Vivian I., Rao S., Strokova V.V., Sobolev K.G. Complex siloxane coating for superhydrophobicity of concrete surfaces. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 26–30. (In Russian).
 - Kharkhardin A.N., Strokova V.V., Kozhukhova N.I. The critical size of micro- and nanoparticles, at which their unusual properties manifest themselves. *Izvestiya Vuzov. Stroitelstvo*. 2012. No. 10, pp. 109–115. (In Russian).
 - Kharkhardin A.N., Strokova V.V., Kozhukhova N.I. Critical dimension of small-size particles. *11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI); 5th European Conference on Computational Mechanics (ECCM V); 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics (ECFD VI)*. July 20–25, 2014. Barcelona, Spain. Vol. 3, pp. 2221–2228.
 - Kozhukhova M.I., Sobolev K.G., Strokova V.V. Supergidrofobnoe antiobledenitel'noe pokrytie dlya betona [Super water-repellent anti-icing coating for concrete]. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2016. 145 p.

О.В. АРТАМОНОВА, канд. хим. наук (ol_artam@rambler.ru)

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

Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов.

Часть 6. Получение наномодифицированных термально-синтезных систем твердения для конструкционной и функциональной керамики специального назначения*

Представлено наноструктурирование в системах термально-синтезного твердения в виде двух взаимосвязанных технологических этапов: нанотехнологии синтеза исходных прекурсоров (порошков) с реализацией принципа снизу – вверх и технологии наноструктурирования термально-синтезных систем с обретением твердого состояния при термическом воздействии, реализующегося по принципу сверху – вниз. Рассмотренные нанокерамические композиции на основе диоксида циркония, полученные с учетом этих двух технологий, обладают высокими прочностными характеристиками: значениями микротвердости (в диапазоне от 70 до 170 кПа), трещиностойкости (более 25 МПа·м^{0,5}) и прочности при сжатии (700–900 МПа), что связано с природой вводимого компонента (In₂O₃) и его оптимальным количеством в составе керамической композиции. Установлено, что эволюционная модель обретения твердого состояния, предложенная для термально-синтезных систем твердения, может быть использована для моделирования аналогичных процессов наноструктурирования в современной строительной керамике.

Ключевые слова: термально-синтезная система твердения, наноструктурирование, нанокерамика, нанотехнологии.

Для цитирования: Артамонова О.В. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 6. Получение наномодифицированных термально-синтезных систем твердения для конструкционной и функциональной керамики специального назначения // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 98–104.

O.V. ARTAMONOVA, Candidate of Sciences (Chemistry) (ol_artam@rambler.ru)
Voronezh State Technical University (84, 20-let Oktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

Concepts and Bases of Technologies of Nano-Modified Structures of Building Composites. Part 6. Obtaining of Nano-Modified Thermal-Synthesis Systems of Hardening for Structural and Functional Ceramic of a Special Purpose*

Nano-structuring in systems of thermal-synthesis hardening in the form of two interconnected technological stages is presented: the nano-technology of the synthesis of initial precursors (powders) with realization of the “bottom-up” principle, and the technology of nano-structuring of thermal-synthesis systems with the acquisition of solid state under the thermal impact realized by the “up-down” principle. Considered nano-ceramic compositions on the basis of zirconium dioxide, obtained with due regard for these two technologies, have high strength characteristics: values of micro-hardness (in the range of 70–170 kPa), crack resistance (over 25 MPa·m^{0.5}) and compression strength (700–900 MPa) that is connected with the nature of a component introduced (In₂O₃) and its optimal quantity in the composition of ceramic composition. It is established that an evolution model of acquiring the solid state proposed for thermal-synthesis systems of hardening can be used for simulating similar processes of the nano-structuring in the ceramics.

Keywords: thermal-synthesis system of hardening, nano-structuring, nano-ceramic, nano-technologies.

For citation: Artamonova O.V. Concepts and Bases of Technologies of Nano-Modified Structures of Building Composites. Part 6. Obtaining of Nano-Modified Thermal-Synthesis Systems of Hardening for Structural and Functional Ceramic of a Special Purpose. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 98–104. (In Russian).

К термально-синтезным относятся системы твердения, получаемые при высокой температуре из порошковых смесей, представленных неметаллическими неорганическими веществами в виде готовых частиц (прекурсоров) оксидов, карбидов, нитридов, боридов и др. Термально-синтезные системы твердения являются основой технологии всех разновидностей керамических и стеклокерамических материалов, выполняя в них роль матричной составляющей.

На рубеже XX–XXI вв. термально-синтезные системы твердения вошли в проблематику нанотехнологий. Современная керамика, создаваемая на основе высоких технологий и нанотехнологий, демонстрирует уникальные конструкционные и функциональные характеристики: разработаны и эффективно применяются разновидности микро-, нанокерамики с термостойкостью до 2000°C и выше, с прочностью до

900–1000 МПа при одновременно высокой трещиностойкости.

Такие показатели современной высокотехнологичной керамики обеспечиваются благодаря управляемому синтезу его микро- и наноструктуры в процессе формирования новых термально-синтезных систем твердения [1–3].

В развитие публикаций [4–7] по проблеме концепций и оснований технологий наномодифицирования структур строительных композитов в данной работе как раз обсуждаются вопросы технологии формирования структуры высокотехнологичной керамики – нанокерамики.

В связи с этим в первую очередь необходимо отметить, что нанокерамика относится к классу материалов с «нацело» наноструктурированной субстанцией. Во-вторых, важно указать, что технология получения по-

* Публикация подготовлена при научных консультациях академика РААСН Е.М. Чернышова.

* The publication was prepared under the scientific advice of E.M. Chernyshov, Academician of RAACS.

добных материалов, как правило, представляет собой интеграцию отдельных самостоятельных нанотехнологий. Так, в случае нанокерамики необходимо иметь нанотехнологии получения прекурсоров – исходных компонентов, из которых в последующем по специальной, опять же, нанотехнологии, предусматривающей компактирование этих частиц (прекурсоров) и их термально-синтезное спекание, формируется соответствующая (конечная) нано-, микроструктура [8].

Подчеркнем также, что проблемы получения нанокерамики укладываются в общую систему концепций и оснований наномодифицирования структур композиционных материалов, однако имеются характерные и принципиальные отличия.

Общим для всех рассматриваемых авторами систем твердения является то, что термально-синтезная, гидратационно-синтезная, гидротермально-синтезная системы твердения включают влияние и действие нанотехнологических принципов «сверху – вниз» и «снизу – вверх». Эти принципы работают в рамках своих законов, в едином процессе структурообразования и формирования твердого состояния; при этом эффекты действия этих принципов в технологии сочленяются и налагаются.

С учетом предварительных замечаний становится ясно, что при получении нанокерамики фактически требуется сочетать несколько (два и более) эволюционных маршрутов структурообразования [9].

Стоит отметить три основных направления достижения эффективности нанотехнологических приемов при получении термально-синтезных наноструктурных систем твердения для керамики:

1) создание мелкокристаллической структуры в спеченной керамике (размер зерен – доли мкм, вплоть до наноуровня). В результате этого происходит резкое увеличение прочности и стойкости к зарождению трещины при механических и термических нагрузках [10]. Это достигается как созданием и применением новых нанотехнологий получения ультрадисперсных порошков (золь-гель-процессы, криохимия, плазмохимия и др.), так и управлением процессами спекания для сохранения исходной морфологии зерен;

2) использование принципа мартенситного упрочнения для керамики, имеющей полиморфные превращения при спекании;

3) использование принципов композиционных систем, в частности введение в структуру элементов, препятствующих развитию трещин (волокон, дисперсных упрочнителей, создание слоистых структур).

В данной публикации представлены результаты исследований и разработок по технологии нанокерамики на основе термально-синтезных систем твердения ZrO_2 (диоксида циркония), модифицированного (легированного) In_2O_3 (оксидом индия).

Термально-синтезная система твердения $ZrO_2-In_2O_3$ как объект и предмет исследования

Материалы на основе наноразмерного диоксида циркония обладают большой механической прочностью, высокой жесткостью и твердостью, низкой термической проводимостью при высокой температуре, хорошей термической стабильностью, устойчивостью при термических ударах, повышенной химической стойкостью к кислотам и щелочам [8]. Такие свойства дают большой потенциал их применения в составе функциональных покрытий, буферных слоев, наполнителей термически предельных покрытий и т. п. при получении высокодолговечных керамических изделий специального назначения в условиях применения их в строительстве уникальных объектов.

Возможность создания нанокерамики с указанным набором ее свойств базируется прежде всего на модифицировании (легировании) диоксида циркония добавками оксидов металлов II и III групп, имеющих ионный радиус, близкий к ионному радиусу циркония. Это ведет к стабилизации высокотемпературных модифициций диоксида циркония. Считается [11], что модифицирование (легирование) ZrO_2 позволяет получать аниондефицитные твердые растворы типа $Zr_{1-x}(M^{2+})_xO_{2-x}$ или $Zr_{1-y}(M^{3+})_yO_{2-0,5y}$ (где x и $y = 0,1-0,15$), которые существуют в виде более симметричных, стабилизированных тетрагональной или кубической модификаций в широком интервале температуры.

Таким образом, выбор системы $ZrO_2-In_2O_3$ не является случайным, тем более что данная система входит в общий современный мировой список (табл. 1) получения эффективных конструктивных и функциональных нанокерамических материалов [3].

При всем этом существуют технологические трудности получения именно таких систем твердения, что и предопределило цель и предмет исследований и разработок [8].

Рассмотрим основные этапы формирования термально-синтезных систем твердения и их наноструктурирования при получении керамики и применимые в этом случае нанотехнологические приемы (рис. 1).

Стоит отметить, что процесс получения наноразмерной фазы может быть: 1) специальной стадией структурообразования нанокерамических материалов; 2) стадией, совмещенной со спеканием.

В первом случае получение нанокерамических материалов заключается в сохранении состояния наноразмерных кристаллов в керамике при использовании исходных прекурсоров (нанопорошков). При этом перспективны следующие приемы: горячее прессование, горячее изостатическое прессование, сверхбыстрое спекание и их комбинация; эффективным является и использование высокочастотного (микроволнового) нагрева.

Во втором случае получение нанокристаллов в керамическом материале происходит при термообработке неустойчивых твердофазных систем (например, твердых растворов, химических соединений), которые распадаются с выделением наноразмерной фазы новообразований. Температурный режим обжига должен регулироваться так, чтобы обеспечить выделение неустойчивой фазы и не допустить увеличения ее структурных элементов за пределы наноразмеров. Важно подчеркнуть, что ускорение процесса спекания наблюдается при повышенной дефектности кристаллической решетки исходных порошков (прекурсоров). Это может достигаться путем модифицирования исходной системы, т. е. введением небольшого количества добавок, образующих с основным прекурсором твердый раствор.

В работе, связанной с получением нанокерамики на основе ZrO_2 , используется гибридное решение, состоящее в сочетании технологий золь-гель и гидротермального синтеза для получения нанокристаллов прекурсоров (с образованием твердых растворов в системе $ZrO_2-In_2O_3$), а также последующего термального синтеза полученных прекурсоров с образованием нанокерамики.

В нанотехнологии синтеза прекурсоров был реализован нанотехнологический принцип «снизу – вверх», при этом синтезированы ультрадисперсные порошки гидроксидов циркония и индия золь-гель-методом, который обеспечивает высокую гомогенность распределения стабилизатора оксида индия в кубической модификации твердого раствора на основе диоксида циркония. Именно этот метод позволяет изменить кристаллохи-

Технические характеристики лучших мировых образцов конструкционных и функциональных нанокерамических материалов и их прогноз на 2016–2020 гг.

| Поставленные задачи | Характеристики материалов | Величина | |
|--|---|--------------------|------------------|
| | | достигнутая | прогнозируемая |
| Конструкционные материалы на основе нитрида и карбида кремния SiC, Si₃N₄ | | | |
| Разработка плотных керамических материалов | Прочность, МПа | 800–1000 | >1000–1500 |
| | Трещиностойкость, МПа·м ^{0,5} | 6–12 | до 25 |
| | Температура эксплуатации, °С | 800–1200 | до 1350 |
| Трансформационно-упрочненные керамические материалы MgO – Al₂O₃ – SiO₂, Al₂O₃ (0,2% MgO), ZrO₂ – Y₂O₃ – La₂O₃ | | | |
| Разработка керамических материалов | Прочность, МПа | 800–1500 | до 800–3000 |
| | Трещиностойкость, МПа·м ^{0,5} | 8–15 | до 20 |
| | Температура эксплуатации, °С | 600–800 | до 800 |
| Конструкционные материалы, армированные дискретными волокнами полимерная матрица (эпоксидная, угольная и др.) с добавками фуллеренов | | | |
| Разработка керамических материалов, армированных волокнами нитрида кремния | Прочность, МПа | 700–800 | 1000 |
| | Трещиностойкость, МПа·м ^{0,5} | 7–10 | >15 |
| | Температура эксплуатации, °С | 800–1000 | >1200 |
| Конструкционные материалы, армированные непрерывными волокнами Bi – Sr – Ca – Cu – Ga – O, Y – Zr – O – N | | | |
| Разработка материалов с включением непрерывных волокон | Прочность, МПа | 300–800 | >1000 |
| | Трещиностойкость, МПа·м ^{0,5} | 15–20 | >30 |
| | Температура эксплуатации, °С | 1200 | >1400 |
| Материалы на основе ультрадисперсной керамики ZrO₂ – MeхOу | | | |
| Разработка технологии керамических материалов на основе стабилизированного диоксида циркония | Прочность, МПа | 1000–1200 | до 1500–1600 |
| | Трещиностойкость, МПа·м ^{0,5} | 10–15 | до 30 |
| | Температура эксплуатации, °С | 200–700 | до 800 |
| Композиционные материалы и защитные покрытия в системе карбид кремния – углерод SiC – C | | | |
| Разработка композиционных материалов для создания защитных покрытий на основе карбида кремния | Прочность, МПа | 400–600 | до 1000 |
| | Трещиностойкость, МПа·м ^{0,5} | 4–8 | до 15 |
| | Температура эксплуатации, °С | 1300 | до 1600–1700 |
| Стекломатериалы для решения экологических задач Li₂O – Al₂O₃ – 4SiO₂, LiF – BeF₂, BeO, BeC, ZrO₂ – HfO₂, Sm₂O₃ | | | |
| Разработка стеклообразных матриц для фиксации РАО | Количество включаемых РАО, % | до 20 | 30 |
| | Скорость выноса радионуклидов, г/(см ² ·сут) | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁸ |
| | Температура жидкой и твердой флюсовки, °С | 1100 | 1000 |
| Разработка технологии невозвратных контейнеров для хранения РАО на основе стеклокристаллических (камнелитных) материалов | Емкость контейнера с днищем, м ³ | Аналог отсутствует | 0,3–0,9 |
| Многofункциональные высококремнеземистые волокна и материалы на их основе SiO₂ | | | |
| Разработка технологии фильтрованного материала для тонкой очистки металлов и носителей катализаторов | Температура эксплуатации, °С | 900 | 1100–1200 |
| | Теплопроводность, Вт/(м·с) | 0,25 | 0,15 |
| Ресурсосберегающие технологии стеклообразных материалов 80% MgO (добавки CaO, Al₂O₃, Cr₂O₃) | | | |
| Разработка тепло- и звукоизолирующего материала на основе пеностекла | Плотность, т/м ³ | 0,25–0,3 (марка А) | 0,2 |
| | Прочность при изгибе (сжатии), МПа | 50–100 | >100 |
| | Коэффициент звукопоглощения для 250–400 Гц | 0,25 | 0,45 |
| | Теплопроводность, ккал/(м·ч·К) | 0,2 | 0,1 |
| Стеклообразные и ситалловые оптически прозрачные материалы CaO – MgO – SiO₂ – P₂O₅, MgO – Al₂O₃ – SiO₂ – P₂O₅ – F | | | |
| Разработка технологии оптических материалов для медицины и новой техники на основе фосфатных, силикофосфатных и фторфосфатных стекол: Электрооптические стекла | Величина управляющего поля, 10 В/мкм | 12 | 10 |
| Магнитооптические стекла | Постоянная Верде | 0,32 | до 0,36 |
| Лазерные стекла | Порог оптического пробоя, Дж/см ² | 5–10 | 15 |
| Стеклокристаллические материалы для термостойких цветных светофильтров | Интегральное светопропускание, % | 90 | 90 |
| | Термостойкость, °С | 400 | до 700 |

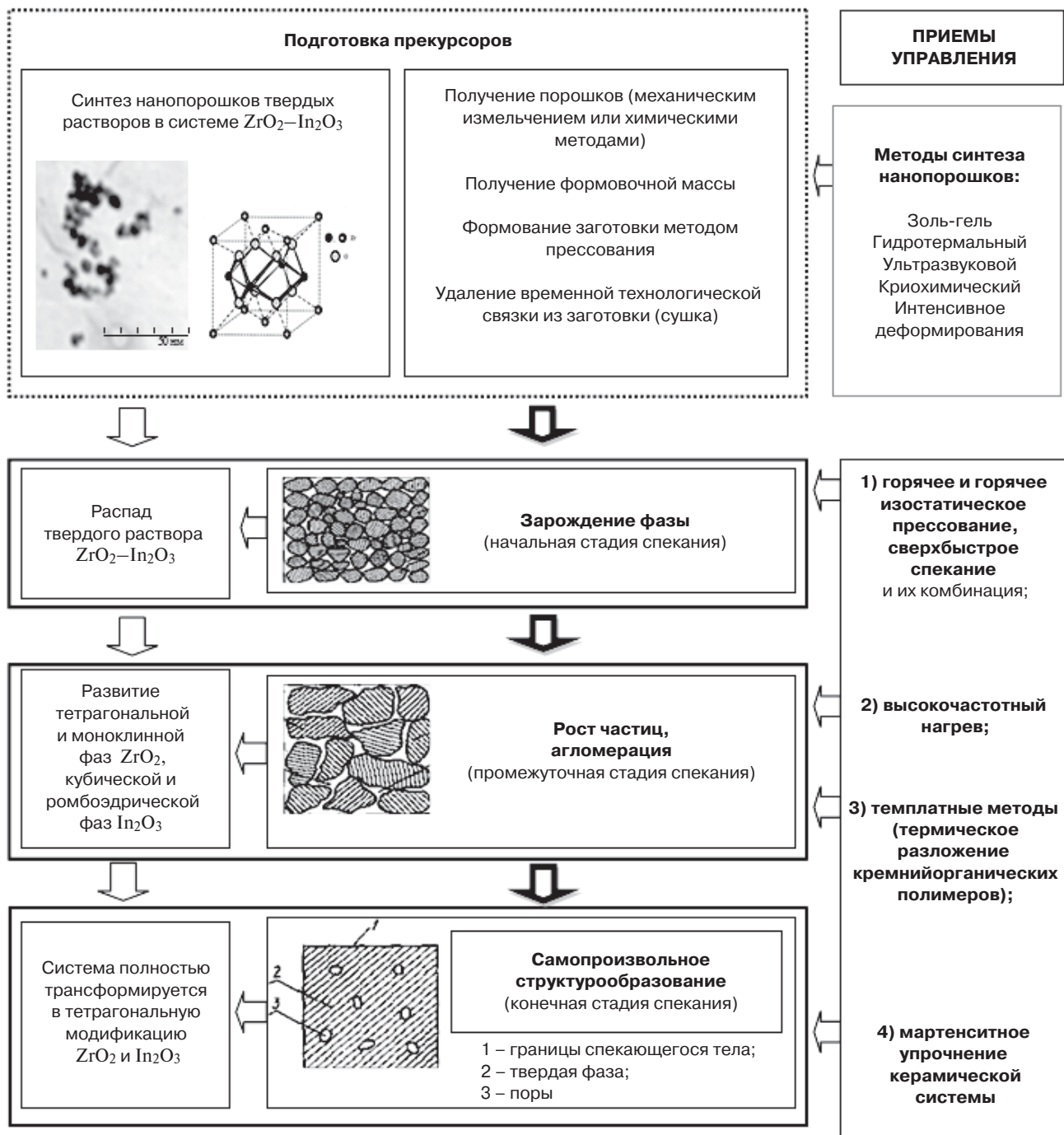


Рис. 1. Схема основных этапов наноструктурирования в системах термально-синтезного твердения при получении керамики (на примере системы $ZrO_2-In_2O_3$)

мическую решетку основного компонента ZrO_2 , внести в нее определенную дефектность (путем введения добавки In_2O_3), которая далее обеспечит зарождение наноразмерной твердой фазы в начальный период спекания. Далее полученные системы гидроксидов циркония и индия подвергали гидротермальной обработке с образованием наноразмерных кристаллов твердого раствора на основе ZrO_2 .

В технологии наноструктурирования термально-синтезных систем твердения по методу спекания был реализован нанотехнологический принцип «сверху – вниз». При этом контролировали влияние условий обжига (температуры и продолжительности) на параметры спекания и размер зерен в получаемых нанокерамических композициях.

Основные положения методики экспериментальных исследований синтеза нанокерамики на основе ZrO_2

Экспериментально получали и исследовали системы $ZrO_2-In_2O_3$ с различным содержанием оксида индия (от 2 до 25%). Оптимальный режим гидротермального синтеза порошков $ZrO_2-In_2O_3$: температура $400^\circ C$, давление 70 МПа и продолжительность обработки 1 ч. Исходя из комплексного исследования [12, 13] нанокристаллических образцов прекурсоров был выделен оптимальный состав для получения нанокерамических композиций с добавкой In_2O_3 10 мол. % (средний размер нанокристаллов составлял 10–15 нм).

Синтез образцов по методу спекания осуществляли следующим образом: навески оксидов массой 0,5 или 0,2 г прессовали в таблетки диаметром ~5 мм при давлении 30 кгс/см², затем для удаления адсорбционной и слабосвязанной воды полученные таблетки просушивали при температуре 300°C в течение 30 мин, помещая их в исходно холодную печь. Просушенные образцы обжигали в атмосфере воздуха при температуре 1050, 1150, 1250 и 1350°C и продолжительности выдержки от 1 до 3 ч [8].

Исследовали влияние условий обжига (температуры и продолжительности) на параметры спекания (линейную усадку, изменение плотности, кажущуюся пористость). Для определения фазового состава и микроструктуры нанокерамических композиций, полученных методом спекания, их исследовали методами рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии; этими же методами оценивали размер полученных зерен в образцах. Прочностные характеристики определяли при помощи микротвердомера ПМТ-3, предназначенного для измерения микротвердости металлов, сплавов, стекла, абразивов, керамики и минералов вдавливанием алмазных наконечников [8].

Число микротвердости H_V рассчитывали по формуле:

$$H_V = \frac{1854 F}{d^2}, \quad (1)$$

где F – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику, Н (кгс); d – среднее арифметическое длин обеих диагоналей квадратного отпечатка, мм.

Величины трещиностойкости (K_{Ic}) рассчитывали по формуле:

$$K_{Ic} = \frac{0,00153 \times H_V \times c^2}{a \times \sqrt{a}}, \quad (2)$$

где H_V – твердость по Виккерсу, ГПа; c – половина диагонали отпечатка, мм; a – длина трещины, мм.

Прочность керамических материалов при сжатии исследовали при скорости нагружения пресса 0,13 мм/мин, температуре 25°C, в среде воздуха.

Обсуждение результатов экспериментальных исследований процессов спекания и прочности нанокерамических композиций

При наноструктурировании термально-синтезных систем твердения протекали следующие эволюционные преобразования, связанные с реализацией нанотехнологического принципа «сверху – вниз». Стадия зарождения твердой фазы зерна начиналась с преобразования исходных порошков (прекурсоров), т. е. с распада твердого раствора на основе ZrO_2 кубической модификации и образованием индивидуальных фаз компонентов смеси. До термообработки данные составы представляли собой однофазные порошки твердых растворов на основе кубического диоксида циркония. В исследованных после спекания образцах можно выделить наличие четырех фаз: тетрагональная и моноклинная модификации ZrO_2 , кубическая и ромбоэдрическая модификации In_2O_3 . Температура начала распада твердого раствора в системе 10 мол. % In_2O_3 – 90 мол. % ZrO_2 составляет 550°C [8]. При этом наблюдается явление молекулярного отбора при зарождении фазы твердого вещества, так как, по данным рентгенодифрактометрических исследований, в системе образуются сначала кубические модификации диоксида циркония и оксида индия. Сказывается явление топохимической памяти [14] о прекурсор в данной системе, так как хорошо известно, что твердые растворы на основе ZrO_2 кристаллизуются в кубической модификации [11].

Далее развивается стадия *процесса роста частиц*, при этом происходит начальная трансформация кубической модификации диоксида циркония в тетрагональную и имеется небольшое количество моноклинной модификации ZrO_2 , хотя эта модификация также отсутствовала в данной системе до термообработки. Полученные дифрактограммы (рис. 2) иллюстрируют следующие основные особенности [8]:

1) во всех исследуемых образцах фиксируется наличие четырех фаз (тетрагональная и моноклинная модификации ZrO_2 , кубическая и ромбоэдрическая модификации In_2O_3);

2) количество кубической и ромбоэдрической модификаций оксида индия увеличивается с увеличением содержания оксида индия в смеси, при этом уменьшается количество тетрагональной модификации диоксида циркония;

3) увеличение количества кубической модификации оксида индия наблюдается в пределах одного состава (15 мол. % In_2O_3 – 85 мол. % ZrO_2) с увеличением температуры и времени термообработки;

4) размер кристаллитов исследованных образцов, по данным рентгеновской дифракции, составляет ~90–100 нм.

Таким образом, можно говорить о проявлении топологического отбора, который заключается в выделении наиболее тесно примыкающих друг к другу контактирующих частиц (в соответствии с их кристаллохимическим строением).

Практически параллельно развивается стадия *процесса агломерации частиц* твердой фазы, в ходе которого площадки контакта между зернами различных фаз интенсивно расширяются, а зерна постепенно сливаются друг с другом, теряя свою индивидуальность. При этом наблюдается явление морфологического отбора в соответствии с принципом мартенситного упрочнения для керамики, имеющей полиморфные превращения при спекании. Система практически полностью трансформируется в тетрагональную модификацию ZrO_2 и In_2O_3 как наиболее равновесную и термодинамически стабильную. Далее наблюдается завершающая стадия *самопроизвольного структурообразования* с образованием двухфазного (ZrO_2 и In_2O_3) компактного композиционного материала с низкой пористостью, высокой микротвердостью и уникально повышенной прочностью при сжатии.

Установлено [8], что оптимальная температура спекания образцов 1250°C, время спекания 3 ч – при этих условиях величина линейной усадки составила примерно 18–19%, пористость 0,54%.

Для детального изучения микроструктуры полученных образцов проводили исследование методом сканирующей электронной микроскопии (СТМ-4). На рис. 3

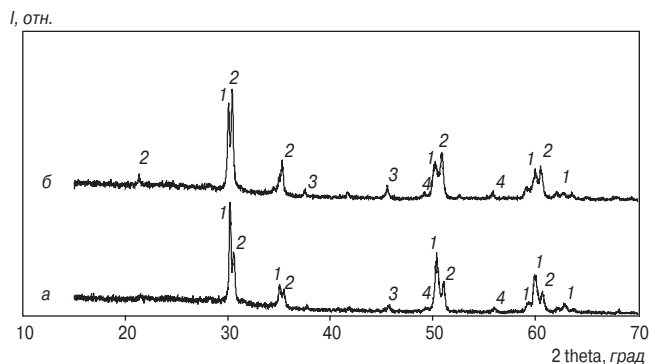


Рис. 2. Дифрактограммы образцов в системе In_2O_3 – ZrO_2 , спеченных при температуре 1250°C и продолжительности выдержки 3 ч: а – 10 мол. % In_2O_3 – 90 мол. % ZrO_2 ; б – 15 мол. % In_2O_3 – 85 мол. % ZrO_2 : 1, 4 – тетрагональная и моноклинная модификации ZrO_2 соответственно; 2, 3 – кубическая и ромбоэдрическая модификации In_2O_3

Прочностные характеристики нанокерамических материалов на основе оксидов циркония и индия, отвечающих различным режимам термообработки [8]

| Режим получения | | | Пористость, % | Микротвердость, кПа | Трещиностойкость, МПа·м ^{0,5} | Прочность при сжатии, МПа |
|--|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------|--|---------------------------|
| Состав композиций, по оксиду индия в мол., % | Температура, °С | Время термообработки, ч | | | | |
| 10 | 1050 | 3 | 4,54 | 31,77 | – | – |
| 10 | 1150 | 3 | 4,17 | 41,2 | >25 | 700 |
| 10 | 1250 | 3 | 0,54 | 56,09 | >25 | 900 |
| 10 | 1350 | 3 | – | 71,49 | >25 | 900 |
| 15 | 1050 | 3 | 3,62 | 41,2 | 25 | 700 |
| 15 | 1150 | 1 | 3,9 | 71 | – | – |
| 15 | 1250 | 1 | 3,81 | 107,58 | >25 | 700 |
| 15 | 1250 | 2 | 3,53 | 150,24 | >25 | 700 |
| 15 | 1250 | 3 | 3,46 | 172,3 | >25 | 700 |

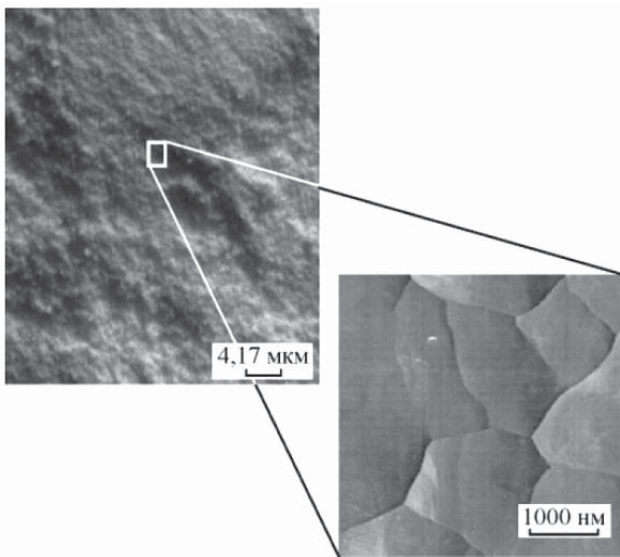


Рис. 3. Микрофотографии керамического образца [8], спеченного при температуре 1250°С и продолжительности обжига 3 ч из нанопорошка ZrO₂ (10% In₂O₃)

представлены микрофотографии керамических композиций в системе 10 мол. % In₂O₃ – 90 мол. % ZrO₂. Полученные микрофотографии позволяют сделать вывод, что в исследованных образцах размер зерна меньше 1 мкм, т. е. они представляют собой ультрадисперсные композиции с субмикронным размером зерна.

В табл. 2 приведены прочностные характеристики исследуемых нанокерамических образцов. Полученные композиции обладают существенно более высокими значениями микротвердости, трещиностойкости и прочности при сжатии по сравнению с чистым

Список литературы

1. Женжурист И.А. Перспективные направления наномодифицирования в строительной керамике // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 36–40.
2. Fua L., Wub C., Grandfieldc K. et al. Transparent single crystalline ZrO₂–SiO₂ glass nanoceramic sintered by SPS // *Journal of the European Ceramic Society*. 2016. Vol. 36. No. 10, pp. 3487–3494.
3. Артамонова О.В. Научные достижения и инновации в области высокотехнологичных нанокерамических материалов для технических и строительных целей // *Материалы международного конгресса: Наука и инно-*

диоксидом циркония. Необходимо отметить, что значения K_{Ic} для обычной керамики в системах на основе диоксида циркония (например, легированных оксидом иттрия, размеры зерен 10–100 мкм) составляют 2–5 МПа·м^{0,5}, причем в этом диапазоне размеров зерен наблюдается некоторый рост значений K_{Ic} с увеличением размера частиц [11]. Величина прочности при сжатии исследованных композиций также высока (700–900 МПа) по сравнению с обычной керамикой на основе ZrO₂ (50–100 МПа).

Заключение

Наноструктурирование в системах термально-синтезного твердения можно представить в виде двух взаимосвязанных технологических этапов: *нанотехнологии синтеза прекурсоров*, в которых реализуется принцип «снизу – вверх», и *технологии наноструктурирования термально-синтезных систем* с обретением твердого состояния при термическом воздействии, в которых реализуется принцип «сверху – вниз».

Рассмотренные нанокерамические композиции на основе диоксида циркония, полученные с учетом этих двух технологий, обладают высокими прочностными характеристиками: значениями микротвердости (в диапазоне от 70 до 170 кПа), трещиностойкости (более 25 МПа·м^{0,5}) и прочности при сжатии (700–900 МПа), что связано с природой вводимого компонента (In₂O₃) и его оптимальным количеством в составе керамической композиции.

Эволюционная модель обретения твердого состояния, предложенная в этой работе для термально-синтезных систем твердения, может являться инструментом для моделирования аналогичных процессов наноструктурирования в современной строительной керамике.

References

1. Zhenzhurist I.A. Perspective trends in construction ceramics nanomodified. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 36–40. (In Russian).
2. Fua L., Wub C., Grandfieldc K. et al. Transparent single crystalline ZrO₂–SiO₂ glass nanoceramic sintered by SPS. *Journal of the European Ceramic Society*. 2016. Vol. 36. No. 10, pp. 3487–3494.
3. Artamonova O.V. Scientific advances and innovations in the field of high-tech materials for nanoceramics engineering and construction purposes. *Materials of the International Congress: Science and Innovations in*

- вазии в строительстве. *Современные проблемы строительного материаловедения и технологии*. Воронеж, 2008. С. 18–25.
- Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Коротких Д.Н. и др. Применение нанохимии в технологии твердофазных строительных материалов: научно-инженерная проблема, направление и примеры реализации // *Строительные материалы*. 2008. № 2. С. 32–36.
 - Артамонова О.В., Чернышов Е.М. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 1. Общие проблемы фундаментальности, основные направления исследований и разработок // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 82–95.
 - Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 3. Эффективное наномодифицирование систем твердения цемента и структуры цементного камня (критерии и условия) // *Строительные материалы*. 2015. № 10. С. 54–64.
 - Чернышов Е.М., Попов В.А., Артамонова О.В. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 5. Эффективное микро-, наномодифицирование систем гидротермально-синтезного твердения и структуры силикатного камня (критерии и условия) // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 38–46.
 - Артамонова О.В., Альмяшева О.В., Гусаров В.В. и др. Спекание нанопорошков и свойства керамики в системе $ZrO_2 - In_2O_3$ // *Перспективные материалы*. 2009. № 1. С. 91–94.
 - Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция твердого вещества. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 309 с.
 - Рибиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика: Избранные труды. М.: Наука, 1979. 386 с.
 - Кингери У.Д. Введение в керамику / Пер. с англ. А.И. Рабухина, В.К. Яновского. М.: Изд-во литературы по строительству, 1967. 499 с.
 - Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов. М.: Стройиздат, 1986. 407 с.
 - Артамонова О.В., Альмяшева О.В., Гусаров В.В. и др. Нанокристаллы твердых растворов на основе диоксида циркония в системе $ZrO_2 - In_2O_3$ // *Неорганические материалы*. 2006. Т. 42. № 10. С. 1178–1181.
 - Олейников Н.Н. Эффект топохимической памяти: природа и роль в синтезе твердофазных веществ и материалов // *Российский химический журнал*. 1995. Т. 39. № 2. С. 85–94.
 - Construction. Modern problems of building materials science and technology*. Voronezh. 2008, pp. 18–25. (In Russian).
 - Chernyshov E.M., Artamonova O.V., Korotkith D.N. et al. The use of solid-state technology nanochemistry in building materials science engineering problem, direction and implementation examples. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 2, pp. 32–36. (In Russian).
 - Artamonova O.V., Chernyshov E.M. Concepts and bases of technologies of nanomodification of building composite structures. Part 1. General problems of fundamentality, main direction of investigations and developments. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 9, pp. 82–95. (In Russian).
 - Chernyshov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Concepts and technology base nanomodification of structures of building composites. Part 3. Effective nanomodification of systems and structures of cement hardening cement stone (criteria and conditions). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No 10, pp. 54–64. (In Russian).
 - Chernyshov E.M., Popov V.A., Artamonova O.V. Concepts and technology base nanomodification of structures of building composites. Part 5. Efficient micro-, nanomodification of hydrothermal-synthesis hardening systems and structure of silicate stone (criteria and conditions). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 38–46. (In Russian).
 - Artamonova O.V., Almyasheva O.V., Gusarov V.V. et al. Nanocrystals of solid solutions based on zirconium dioxide system $ZrO_2 - In_2O_3$. *Neorganicheskie materialy*. 2006. Vol. 42. No. 10, pp. 1178–1181. (In Russian).
 - Melikhov I.V. Fiziko-khimicheskaya evolyutsiya tverdogo eshchestva [Physico-chemical evolution of the solid]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy. 2009. 309 p.
 - Rebinder P.A. Poverkhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemakh. Fiziko-khimicheskaya mekhanika. Izbrannyye trudy [Surface phenomena in disperse systems. Physico-chemical mechanics. Selected Works]. Moscow: Nauka. 1979. 386 p.
 - Kingery W.D. Vvedenie v keramiku. Per. s angl. Rabukhina A.I., Yanovskogo V.K. [Introduction to ceramics. Trans. from English. Rabuhina A.I., Yanovsky V.K.]. Moscow: Publishing house of literature on construction. 1967. 499 p.
 - Babushkin V.I., Matveev G.M., Mchedlov-Petrosyan O.P. Termodinamika silikatov [Thermodynamic of silicates]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 407 p.
 - Artamonova O.V., Almyasheva O.V., Gusarov V.V. et al. Sintering and properties of ceramic nanopowders in the system $ZrO_2 - In_2O_3$. *Perspektivnye materialy*. 2009. No.1, pp. 91–94. (In Russian).
 - Oleynikov N.N. Effect topochemical memory: the nature and role in the synthesis of solid-phase compounds and materials. *Rossiiskiy khimicheskiy zhurnal*. 1995. Vol. 39. No. 2, pp. 85–94. (In Russian).

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА



<http://rifsm.ru/page/5/>