

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 10



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

ОКТАБРЬ 2017 г.

(753)

PROGRESS GROUP



05.12. – 07.12.2017
ICCX Russia
www.iccx.org/de/russia
Санкт-Петербург – Россия

ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНДУСТРИИ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

- Автоматизированные индивидуальные линии циркуляции паллет
- Оборудование для производства арматурных элементов и сетки
- Кассетные формы, опрокидывающиеся столы, опалубочные системы
- Оборудование для преднапряженных элементов и тестовая линия
- Собственный завод стеновых панелей и перекрытий
- Программное обеспечение и комплексная система ERP

www.progress-group.info



VIII Международная научно-практическая конференция «InterConPan: от КПД к каркасно-панельному домостроению»

InterConPan–2018

International Conference of Large-panel Construction

17–19 апреля 2018 г. / April 17–19, 2018

Воронеж / Voronezh

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

- Модернизация предприятий КПД
- Оборудование и технологии
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Архитектурно-планировочные решения
- Качество и энергоэффективность промышленных зданий
- Расчет и конструирование узлов сборных элементов
- Новые решения фасадов
- Опыт строительства крупнопанельного жилья
- BIM технологии в сборном домостроении

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ:

- 17 апреля** 1) пленарное заседание
2) выездная сессия:
АО «ДСК». ООО «СовТехДом»
- 18 апреля** Научно-практическая конференция.
Секции: «Архитектура и особенности проектных решений крупнопанельных зданий»;
«Гибкая технология предприятий ДСК и КПД»
- 19 апреля** выездная сессия: жилые комплексы
«Московский квартал», «Современник»
(Воронеж)

Генеральный спонсор конференции:

KERAMA MARAZZI 

Партнеры конференции:

ALLBAU 
software 

При поддержке Воронежского государственного
технического университета



К проведению конференции готовятся тематические номера журналов

«Жилищное строительство» № 3–2018 г. и «Строительные материалы»® № 3–2018 г.,

в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 15.02.2018 г.

Организационный комитет:

Телефон/факс: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08

kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3, оф. 407 редакция журнала «Жилищное строительство»

Уважаемые коллеги!

Подписку на журнал «Строительные материалы»[®] оформить легко:

1. На любой период в редакции

Оформить подписку в редакции можно с любого месяца на любой период. Для этого необходимо составить заявку в произвольной форме с указанием названия организации, юридического и почтового адреса

Заявки направлять по факсу: **(499) 976-22-08, 976-20-36**
или по e-mail: **mail@rifsm.ru**

2. Традиционно по каталогам

По объединенному каталогу
«Пресса России»

индекс **70886**



По каталогу агентства
«Роспечать»

индекс **79809**

В настоящее время открыта подписка на I полугодие 2018 г.

3. Электронная версия

На сайте издательства **www.rifsm.ru** в разделе «Подписка» можно оформить подписку на электронную полнотекстовую версию журнала в формате *.pdf. Это позволит вам получать журнал еще до выхода из типографии и быть независимым от почтового ведомства России. Подписаться на электронную версию журнала можно также на сайтах наших партнеров:

elibrary.ru
delpress.ru
www.iprbookshop.ru
www.iprbooks.ru
www.bibliocomplect.ru
www.bibliocomplectator.ru
dlib.eastview.com

4. В 2018 г. в журнале «Строительные материалы»[®] готовятся к публикации подборки статей по:

- нанотехнологиям в строительстве
- крупнопанельному домостроению к проведению конференции «InterConPan-2018» (17–19 апреля 2018 г., Воронеж)
- керамическим строительным материалам к проведению конференции КЕРАМТЕКС 2018
- силикатным материалам к проведению конференции СИЛИКАТэкс-2018
- гипсовым материалам в строительстве к проведению международной конференции по гипсу (20–21 сентября 2018 г., Минск)
- нерудным строительным материалам
- современным бетонам и др.

**Издательство «Стройматериалы» продолжит выпуск специальной литературы по производству строительных материалов.
ОСТАВАЙТЕСЬ С НАМИ!**

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**

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 10

Основан в 1955 г.

(753) октябрь 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)

ЛЕОНИЧ 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)

Современные бетоны: наука и практика

Л.М. ДОБШИЦ	
Пути повышения долговечности бетонов	4
С.В. ФЕДОСОВ, В.Е. РУМЯНЦЕВА, В.С. КОНОВАЛОВА, А.С. ЕВСЯКОВ	
Кольматация: явление, теория, перспективы применения для управления процессами коррозии бетонов	10
Уверенность в будущем обеспечивается в настоящее время. Ставка на сборные железобетонные элементы (Информация)	18
К.Б. САФАРОВ, В.Ф. СТЕПАНОВА, В.Р. ФАЛИКМАН	
Влияние механоактивированной низкокальциевой золы-уноса на коррозионную стойкость гидротехнических бетонов Рогунской ГЭС	20
Производство стеновых панелей на длинных стендах Nordimpianti в Грузии (Информация)	26
Р.А. ИБРАГИМОВ, Е.В. КОРОЛЕВ, Т.Р. ДЕБЕРДЕЕВ, В.В. ЛЕКСИН	
Прочность тяжелого бетона на портландцементе, обработанном в аппарате вихревого слоя	28
В.В. РУСИНА, Ю.Ю. ДУБРОВИНА, Е.И. ЧЕРНОВ	
Бетоны для ограждающих конструкций на основе отходов механической переработки древесины	32
Е.А. БАРТЕНЬЕВА, Н.А. МАШКИН	
Исследование свойств модифицированного пенобетона	36

Материалы и технологии

Ю.А. ГОНЧАРОВ, Г.Г. ДУБРОВИНА, А.Г. ГУБСКАЯ	
Гипсокартон для защиты помещений от проникновения радона	41
Т.Э. ХАЕВ, Е.В. ТКАЧ, Д.В. ОРЕШКИН	
Модифицированный облепченный гипсовый материал с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ	45
Ю.Н. ХАКИМУЛЛИН, Д.А. АЮПОВ, В.И. СУНДУКОВ, Р.И. КАЗАКУЛОВ, Б.И. ГИЗАТУЛЛИН	
Нерасплаивающиеся трехкомпонентные полимерно-битумные вяжущие	51
И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, С.Г. МАКАРОВ	
Вопросы переработки опилок	56
М.В. ГРАВИТ, А.С. КУЛЕШИН, С.В. БЕЛЯЕВА	
Национальные стандарты для жестких напыляемых PUR и PIR пен	58

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

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®

№ 10
Founded in 1955 (753) October 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 (Toms)

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)

Modern concretes: science and practice

L.M. DOBSHITS

Ways to Improve the Durability of Concretes 4

S.V. FEDOSOV, V.E. RUMYANTSEVA, V.S. KONOVALOVA, A.S. EVSYAKOV

Colmatation: Phenomenon, Theory, Prospects of Using for Control Over Concrete

Corrosion Processes 10

Confidence in the Future is Now Ensured. Bet on Prefabricated Reinforced

Concrete Elements. (Information) 18

K.B. SAFAROV, V.F. STEPANOVA, V.R. FALIKMAN

Effect of Mechanical Activated Low-Calcium Fly Ash on Corrosion Resistance

of Hydrotechnical Concretes of the Rogun Hydropower Plant. 20

Production Of Wall Panels On The Long Stands Nordimpianti

In Georgia (Information) 26

R.A. IBRAGIMOV, E.V. KOROLEV, T.R. DEBERDEEV, V.V. LEKSIN

Durability of Heavy-Weight Concrete with Portland Cement Treated

in Apparatus of Vortex Layer. 28

V.V. RUSINA, Yu.Yu. DUBROVINA, E.I. CHERNOV

Concretes for Enclosing Structures on the Basis of Waste of Wood Machining 32

E.A. BARTENYEVA, N.A. MASHKIN

Research in Properties of Modified Foam Concrete. 36

Materials and technologies

Y.A. GONCHAROV, G.G. DUBROVINA, A.G. GUBSKAYA

Gypsum Boards for Protection of Premises against Penetration of Radon. 41

T.E. KHAEV, E.V. TKACH, D.V. ORESHKIN

Modified lightweight gypsum material with hollow glass microspheres

for restoration works. 45

Yu.N. HAKIMULLIN, D.A. AYUPOV, V.I. SUNDUKOV, R.I. KAZAKULOV, B.I. GIZATULLIN

Non-Stratified Three-Component Polymeric-Bitumen Binders 51

I.F. SHLEGEL, S.G. MAKAROV

Issues of Sawdust Treatment. 56

M.V. GRAVIT, A.S. KULESHIN, S.V. BELYAEVA

National Standards for Rigid Spray-On PUR and PIR Foams 58

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.

Л.М. ДОБШИЦ, д-р техн. наук (levdobshits@yandex.ru)

Российский университет транспорта (127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9)

Пути повышения долговечности бетонов

Долговечность бетонов может быть существенно повышена при условии обоснованного назначения проектных требований к бетону, правильного выбора материалов для его приготовления, подбора состава бетонной смеси с учетом заданных свойств, соблюдения технологии приготовления, укладки, уплотнения и ухода за бетоном в процессе его активного твердения и эксплуатации. Приведены рекомендации для достижения наилучших результатов по каждому из перечисленных пунктов. Отмечено, что сопротивление бетона деструкции будет тем активнее, чем выше его непроницаемость, на которую влияет величина открытой пористости и размер пор. Показано, что низкая морозостойкость еще одна причина недостаточной долговечности бетона и железобетона. Подробно рассмотрены причины и механизм образования различных видов пор: резервных, контракционных, замкнутых, условно замкнутых, открытых.

Ключевые слова: долговечность, бетонная смесь, деструкция, пористость, морозостойкость, водонепроницаемость, бетон, железобетон.

Для цитирования: Добшиц Л.М. Пути повышения долговечности бетонов // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 4–9.

L.M. DOBSHITS, Doctor of Sciences (Engineering) (levdobshits@yandex.ru)
Moscow State University of Railway Engineering (9, bldg. 9, Obraztsova Street, 127994, Moscow, Russian Federation)

Ways to Improve the Durability of Concretes

Durability of concretes can be significantly improved under the condition of reasonable assignment of design requirements for concrete, correct choice of materials for its preparation, selection of concrete mix with due regard for the specified properties, compliance with the technology of preparation, placing, compaction, and care for concrete in the process of its active hardening and operation. Recommendations for achieving the best results for each of listed items are presented. It is noted that the concrete resistance to destruction will be more active, the higher its impermeability, which is affected by the value of the open porosity and sizes of pores. It is shown that the low frost resistance is another reason for insufficient durability of concrete and reinforced concrete. Reasons and mechanism of formation of various types of pores (reserve, contraction, closed, conditionally closed, open) are considered in details.

Keywords: durability, concrete mix, destruction, porosity, frost resistance, water impermeability, concrete, reinforced concrete.

For citation: Dobshits L.M. Ways to improve the durability of concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 10, pp. 4–9. (In Russian).

Срок службы промышленных, гражданских и транспортных сооружений определяется десятками лет. В связи с этим их расчет и проектирование ведутся с такими коэффициентами запаса, что позволяет выдерживать прилагаемые к ним все возрастающие во времени нагрузки в расчетные сроки эксплуатации. Однако многие сооружения начинают разрушаться и требуют ремонта задолго до истечения расчетного срока их службы. Причина таких явлений — низкая долговечность, обусловленная различными видами коррозионного разрушения материалов элементов и конструкций сооружений. В связи с этим, в настоящее время во всем мире в области теоретического и практического материалоуправления особое внимание уделяется выявлению причин и предотвращению коррозионного разрушения строительных материалов для повышения долговечности и, как следствие, увеличению срока службы конструкций и сооружений.

В современных условиях одними из основных конструктивных материалов для изготовления промышленных, гражданских и транспортных сооружений являются бетон и железобетон. Бетоны, имеющие по сравнению с обычно используемыми в строительной практике улучшенные эксплуатационные и прочностные свойства, часто называют высокофункциональными бетонами. Такие бетоны имеют повышенные водонепроницаемость (W 10–12), морозостойкость (F300–600) и другие эксплуатационные свойства и находят все большее применение. Это связано с тем, что долговечность бетона определяется его способностью противостоять как внешним (атмосферным), так и внутренним (химическим и физическим реакциям) воздействиям. При этом в обоих случаях воздействия сопротивление бетона деструкции будет тем активнее, чем выше его непроницаемость.

Следовательно, одним из важнейших факторов, определяющих долговечность бетона, является его во-

донепроницаемость. Другим фактором, определяющим способность бетона противостоять деструктивным процессам, является морозостойкость, т. е. способность противостоять циклам попеременного замораживания и оттаивания в водонасыщенном состоянии. Морозостойкость и водонепроницаемость хотя и имеют существенные особенности, во многом зависят от одних и тех же параметров бетона. В связи с этим многие способы повышения одного из этих свойств бетона положительно отражаются на другом.

Как известно, под водонепроницаемостью бетонов понимают их способность не пропускать через свою толщу воду или водные растворы различных веществ. При этом абсолютно водонепроницаемым бетон может стать только при полной гидроизоляции его поверхности со стороны прилагаемого давления жидкости. Это связано с тем, что фильтрация воды через бетон и цементный камень происходит не только при больших избыточных давлениях жидкости (0,1–1 МПа), но и при очень малых (до 0,1 Па) [1]. В связи с этим в [1] отмечено, что практически водонепроницаем такой бетон, у которого скорость внешней диффузии (испарений с поверхности) превосходит скорость внутренней (подвод воды поверхности). С таких позиций получение практически водонепроницаемого бетона становится технически возможным и практически осуществимым. Водонепроницаемость бетона обусловлена тем, что бетон является капиллярно-пористым телом, в котором капилляры образуют взаимосвязанную систему, проницаемую для жидкостей, в частности воды. При твердении уложенного бетона вследствие гидратации цемента проницаемость бетона резко уменьшается, так как уменьшается общая пористость, а самое главное, система пор становится дискретной. Как правило, увеличение общей пористости бетона приводит к снижению его водонепроницаемости, однако ее влияние не является

Морозостойкость полностью водонасыщенных бетонов

№ серии	Величина В/Ц	Коэффициент морозостойкости после числа циклов			
		1	3	5	10
1	0,4	0,9	0,7	0,54	0,41
2	0,45	0,8	0,7	0,45	0,33
3	0,5	0,72	0,65	0,42	0,25
4	0,55	0,65	0,6	0,4	0,25

столь простым и однозначным, так как большое влияние на водонепроницаемость оказывают величина открытой (или интегральной) пористости P_u и размер этих пор (распределение пор по радиусам).

Чем выше степень гидратации цемента α , тем больше степень разобщения порового пространства цементного камня. Следовательно, в процессе твердения часть открытой пористости, разобщаясь продуктами твердения цемента (цементным гелем), переходит в замкнутую, т. е. образуется замкнутая пористость P_s . Таким образом, повышение α снижает общую и интегральную пористость, увеличивает замкнутую и, как следствие, повышает водонепроницаемость бетона. Кроме того, продукты гидратации цемента, заполняя поровое пространство цементного камня, уменьшают средний радиус капилляров, так как объем продуктов гидратации — цементного геля примерно в 2,1 раза больше объема цемента, вступившего в реакцию, что также способствует увеличению водонепроницаемости.

Вторым важнейшим фактором, определяющим водонепроницаемость бетона, является величина водоцементного отношения В/Ц. Повышение значения В/Ц снижает водонепроницаемость бетона, так как увеличиваются общая и открытая пористость бетона и среднее значение величины радиуса капилляров цементного камня. Влияние В/Ц на водонепроницаемость носит обратно пропорциональную зависимость. Водонепроницаемость цементного камня при значении В/Ц до 0,4 близка к нулю; при В/Ц = 0,45 коэффициент фильтрации равен $3 \cdot 10^{-12}$ см/с; при возрастании В/Ц более 0,45 водонепроницаемость резко снижается; при В/Ц=0,7 коэффициент фильтрации достигает значений $1,2 \cdot 10^{-10}$ см/с. Это объясняется следующим. Как известно, величина общей пористости бетона P_o (%) описывается уравнением [2]:

$$P_o = \frac{V}{10(V/C - 0,23 \cdot \alpha) + (1 - \delta)} \cdot 100, \quad (1)$$

где V и C — расходы воды и цемента в кг на 1 м^3 бетона соответственно; δ — степень уплотнения бетонной смеси.

Из уравнения (1) следует, что при постоянном расходе цемента на 1 м^3 бетона и α , общая пористость является функцией величины В/Ц, следовательно, при увеличении В/Ц возрастает P_o и снижается водонепроницаемость бетона. В то же время увеличение расхода цемента свыше 350–400 кг/м³ бетона при постоянном значении В/Ц увеличивает общую пористость и снижает водонепроницаемость бетона. Кроме того, с увеличением расхода цемента возрастает удельный объем цементного камня в единице объема бетона и, следовательно, возрастает удельный объем пористой части бетона. Также с увеличением расхода цемента снижается трещиностойкость цементного камня, особенно после термовлажностной обработки (ТВО), и в процессе эксплуатации бетона появляются усадочные трещины, которые повышают общую и интегральную пористость, что снижает водонепроницаемость и морозостойкость бетона. Усадочные трещины будут образовываться во

всех случаях твердения бетона, кроме абсолютно водного твердения. Однако такое твердение чрезвычайно редко наблюдается на практике.

Второй причиной недостаточной долговечности бетона и железобетона является их низкая **морозостойкость**. Разрушение бетона, находящегося в водонасыщенном состоянии, при попеременном замораживании и оттаивании вызывается рядом причин. Однако основная из них — фазовый переход находящейся в бетоне жидкости в твердое агрегатное состояние при понижении температуры окружающей среды. Это приводит к увеличению объема льда, образующегося из существовавшей жидкой фазы, и возникновению напряжений в цементном камне.

Напряжения, возникающие при этом в бетоне, столь велики, что должны разрушить цементный камень, если все поры в бетоне заполнены жидкостью. Это подтверждают проведенные автором исследования. Были изготовлены четыре серии бетонных образцов размером $10 \times 10 \times 10$ см, приготовленных из бетонной смеси состава Ц:П:Щ=1:2:3 при различных В/Ц. Часть образцов после твердения 28 сут в воде насыщалась водой под вакуумом, а затем образцы испытывались на морозостойкость по основному методу ГОСТ 10060–95. Оставшиеся образцы твердели все время до испытаний в воде (табл. 1). Как следует из полученных результатов, коэффициент морозостойкости, равный отношению прочности образцов после испытаний на морозостойкость к прочности водонасыщенных образцов, уже после первого цикла испытаний составляет 0,8–0,9, а после трех циклов снижается до 0,65–0,7, т. е. бетон считается не выдержавшим испытание на морозостойкость уже после трех циклов испытаний. При этом происходит значительное снижение массы образцов. Особенно существенно снижение прочности у бетонов, имеющих В/Ц более 0,4, а с увеличением В/Ц снижение прочности идет более интенсивно.

Способность бетона противостоять разрушению при многократном замораживании и оттаивании в водонасыщенном состоянии объясняется присутствием в его структуре резервных пор, не заполненных водой, в которые может отжиматься часть воды в процессе замораживания под действием давления растущих кристаллов льда.

Причины и механизм образования таких пор заключаются в том, что процессы гидратации цемента сопровождаются химической контракцией. Эти поры имеют высокий капиллярный потенциал, и если они контактируют с более крупными порами и капиллярами, то контрактационные поры заполняются влагой, а более крупные поры и капилляры частично или полностью обезвоживаются. Такое обезвоживание может происходить в том случае, если обезвоживаемые поры со всех сторон окружены (блокированы) порами геля, т. е. в эти крупные поры не может поступать влага из других пор или из окружающей среды.

Как показывают результаты многих исследований [3–5], образование контрактационных пор начинается через небольшой промежуток времени после начала

Морозостойкость бетонов

Состав добавки, % массы цемента	Коэффициент морозостойкости при числе циклов замораживания-оттаивания				
	50	100	200	250	300
Без добавок	0,9	0,85	0,75	0,65	0,51
0,01	0,89	0,75	0,62	0,55	–

затворения цемента водой. При этом контракция проявляется тем в большей степени, чем ниже В/Ц и быстрее формируется жесткий каркас цементного камня. Более быстрое формирование жесткого каркаса будет происходить при надлежащем химико-минералогическом составе цемента, при введении специальных добавок, способствующих образованию и росту кристаллических образований.

Такие условно замкнутые поры, частично или полностью обезвоженные под действием контракции, будут являться тем «резервом», в который может отжиматься поровая жидкость кристаллами льда при замораживании бетона. Следовательно, в первом приближении можно считать, что объем «резервных» пор бетона при абсолютном его уплотнении равен объему контрактционных пор.

Жидкость, перемещающаяся в резервные поры под действием кристаллов льда, не будет вызывать появления гидростатического давления до тех пор, пока все резервные поры не будут ею заполнены. Таким образом, все технологические приемы, способствующие образованию условно замкнутых пор в бетоне, будут повышать морозостойкость бетона. К их числу относятся следующие: снижение величины В/Ц путем введения пластификаторов и применения совершенных методов уплотнения бетонной смеси; повышение степени гидратации цемента; выбора его надлежащего химико-минералогического состава и некоторые другие.

Кроме резервных пор, образовавшихся вследствие контракции, в бетоне могут возникать условно замкнутые поры, образующиеся от воздухововлечения в бетонную смесь. Такие поры могут выполнять функцию резервных пор, если со всех сторон окружены порами геля; в противном случае эти поры становятся открытыми, при погружении бетона в жидкость они обводняются и, естественно, снижают морозостойкость бетона.

Автором проведены экспериментальные исследования, которые подтверждают вышесказанное. Бетонные образцы размером 10×10×10 см были изготовлены из бетонной смеси состава Ц:П:Щ=1:2:3 при В/Ц=0,7. Образцы первой серии не имели добавок, а образцы второй серии содержали добавку СНВ в количестве 0,01% массы цемента. Результаты по определениям морозостойкости, проведенные по основному методу ГОСТ 10060–95, приведены в табл. 2.

Как следует из приведенных данных, введение воздухововлекающих добавок в бетон, имеющий В/Ц=0,7, не только не повысило морозостойкость, но и привело к существенному снижению. Это объясняется тем, что поры, образовавшиеся от введения СНВ, при таком большом В/Ц не блокированы цементным гелем и увеличивают не условно замкнутую, а открытую пористость бетона. Как показывают расчеты и эксперименты [4], повышение морозостойкости путем введения воздухововлекающих добавок может быть эффективным только для бетонов, имеющих В/Ц не более 0,62.

Другой вид пор бетона – открытые (интегральные) поры естественно играют противоположную роль, так как с увеличением их удельного объема возрастает объем жидкости, переходящий в лед при замораживании бетона. Чем больше этот объем, тем раньше исчерпается возможность бетона противостоять морозной де-

струкции при попеременном его замораживании и оттаивании.

На величину морозостойкости бетонов оказывает влияние целый ряд факторов, однако, как видно из вышесказанного, основным, определяющим является соотношение между объемами условно замкнутых $\Pi_{у.з}$ и интегральных $\Pi_{и}$ пор. Таким определяющим параметром является критерий морозостойкости $K_{мрз}$, который описывается уравнением [4, 5]:

$$K_{мрз} = \Pi_{у.з} / 0,09 \cdot \Pi_{и} \quad (2)$$

Проведенными исследованиями [4–6] установлено, что между морозостойкостью бетонов и критерием морозостойкости существует тесная корреляционная связь, в связи с чем этот критерий может использоваться для прогнозирования и ускоренного определения морозостойкости.

Анализ факторов, определяющих водонепроницаемость и морозостойкость бетонов, показывает, что долговечные бетоны могут быть получены только при выполнении целого комплекса технологических мероприятий, осуществляемых на всех стадиях изготовления и службы сооружений [7] в направлении состав – строение – свойства.

Первая стадия – выбор материалов и проектирование состава бетона.

Правильному выбору материалов для получения долговечных бетонов уделялось внимание многими исследователями [4, 5, 8, 9], и этот вопрос тщательно изучен, в связи с чем на нем подробно останавливаться не будем. Необходимо только отметить, что при выборе вяжущего для получения водонепроницаемого и морозостойкого бетона к нему предъявляются различные требования. Так, для водонепроницаемого бетона рекомендуется [8] применять глиноземистый цемент, пуццолановый и шлакопортландцемент, что не рекомендуется для получения морозостойкого бетона [4, 9]. При этом существенное значение имеет и содержание минералов C_3A и C_4AF . В обычном портландцементе, в частности, содержание C_3A рекомендуется [3, 10, 11] ограничивать величиной 7%. Установлено [7], что и при высоком содержании в цементе C_3A и C_4AF можно получить высокоморозостойкие бетоны (до $F=400-500$ и более), но только при введении специальных добавок и строгом контроле за качеством приготовления, укладки и ухода за бетоном во время его твердения. Кроме того, для получения водонепроницаемого бетона рекомендуется применять цементы более тонкого помола [8, 13], а для морозостойких бетонов тонкость помола должна ограничиваться величиной 300–350 м²/кг [3, 4].

В связи с тем, что для получения долговечных бетонов необходимо обеспечение одновременно высоких водонепроницаемости и морозостойкости, оптимальным представляется ограничение величин $C_3A \leq 7\%$ и удельной поверхности цемента до 350 м²/кг.

Одним из путей повышения водонепроницаемости, морозостойкости и прочности бетонов является использование смешанных вяжущих с суперпластификаторами нового поколения и наполнителями.

Подбор состава водонепроницаемого бетона заключается в получении такой плотности, чтобы коэффици-

ент фильтрации был не более $1,2 \cdot 10^{-10}$ см/с [8]. Методы подбора такого состава приведены в ряде работ, в частности в работах [13].

При подборе состава морозостойкого бетона в первую очередь необходимо решить вопрос о правильном назначении проектной (нормативной) морозостойкости. Такой вопрос связан с тем, что бетон, имеющий проектную (часто довольно высокую) морозостойкость, во многих сооружениях разрушается задолго до конца проектного срока их эксплуатации. К сожалению, до настоящего времени не существует единой методики назначения морозостойкости, в связи с чем различными СНиПами для одних и тех же условий предъявляются различные требования по морозостойкости бетона.

Для назначения проектной морозостойкости $M_{рз}^H$ можно воспользоваться формулой [4, 12]:

$$M_{рз}^H = \Gamma \cdot H \cdot D \cdot Z, \quad (3)$$

где Γ – нормативный срок службы сооружения, годы; H – нормативное (расчетное) число циклов в год; D – коэффициент суровости условий эксплуатации сооружения; Z – коэффициент условий работы бетона.

Не претендуя на абсолютную точность и правомерность, назначение нормативной морозостойкости по формуле (3) позволяет учитывать большинство факторов, влияющих на число циклов замораживания и оттаивания испытываемых бетоном сооружений в процессе их эксплуатации, и самозалечивание бетона во время службы. Расчеты, выполненные по формуле (3), показывают, что величина нормативной морозостойкости во многих случаях должна быть повышена по сравнению с назначаемой в настоящее время.

Перед подбором состава бетона на заданную морозостойкость необходимо провести прогнозирование возможности ее получения. Для этого можно воспользоваться зависимостью $M_{рз} = f(K_{мрз})$ [4, 5] и определить требуемую величину $K_{мрз}$ по нормативной морозостойкости. Значение $K_{мрз}$, полученной по этой зависимости, сравнивают с величиной $K_{мрз}$, полученной по формуле (2). В этом случае величины $P_{у,з}$ и $P_{и}$ определяют расчетным путем. Если расчеты покажут, что требуемая морозостойкость бетона на данных материалах и применяемой технологии не может быть получена, то уже на этой стадии необходимо ввести необходимые коррективы в состав бетона и технологию его приготовления. На этой стадии подбора состав бетона можно рассчитывать по формуле (4). Минимальный расход цемента $C_{мин}$ для получения требуемой нормативной морозостойкости $M_{рз}^H$, определенной по формуле (3):

$$C_{мин} = K_{мрз} [B + (1 - \delta) 1000] / [\alpha(0,27 K_{мрз} + 0,46)]. \quad (4)$$

Подбор состава бетона на требуемую морозостойкость начинают с определения максимального значения В/Ц, при котором будет обеспечена $M_{рз}^H$ по формуле (3) из выражения $B/C = 0,456\alpha / K_{мрз} + 0,27/\alpha$, и сравнения полученного значения с максимальной величиной В/Ц, обеспечивающей получение требуемого класса бетона по прочности. Из полученных значений В/Ц выбирают наименьшее и его принимают для дальнейших расчетов. Далее подбор состава бетона ведут методом построения зависимости удобоукладываемости от раздвижки зерен песка цементным тестом [14].

Следующей стадией является приготовление бетонной смеси.

Расчеты, проведенные при проектировании составов высокодолговечных (высокофункциональных) бетонов, показывают, что обеспечение заданной морозостойкости невозможно осуществить только правильным подбором состава бетона и для этого требуются

другие технологические приемы. При этом такие приемы должны обеспечивать одновременное повышение и морозостойкости и водонепроницаемости.

На основании вышесказанного автором предложены некоторые способы повышения этих свойств бетонов.

Один из них заключается во введении в бетонную смесь при ее приготовлении специальных добавок, повышающих морозостойкость и водонепроницаемость бетонов [13, 15]. Такой новой многофункциональной добавкой может служить добавка «МИКС» (ТУ 5743-005-8373815-07), позволяющая получать бетоны не только высокой прочности, в том числе в ранние сроки твердения, но и высокой долговечности. Добавка «МИКС» пластифицирует бетонную смесь, имеет в своем составе центры кристаллизации новообразований, что способствует быстрому нарастанию пластической прочности при относительно невысоких температурах, и обладает демпфирующими компонентами, «гасящими» трещины, образующиеся в бетоне. Таким образом, можно значительно снизить или вообще отказаться от ТВО бетонов. Автором разработана технология приготовления бетонов при мягких режимах ТВО [16], что позволило снизить интенсивность тепломассопереноса, величины термических напряжений и напряжений от непроявившейся капиллярной усадки.

Плавное нарастание прочности твердеющим бетоном и значительно меньшее негативное влияние ТВО при мягких режимах позволяют избежать появления в бетонах термических напряжений, кристаллизационного давления растущих новообразований, возникновения микродефектов, являющихся концентраторами напряжений и зародышами будущих трещин. Кроме того, применение этой технологии позволяет экономить до 20% цемента, что дает не только ощутимый экономический эффект, но и позволяет снизить пористость бетона. А это, в свою очередь, повышает: стойкость бетонов к попеременному увлажнению и высушиванию, водонепроницаемость, водостойкость и морозостойкость бетонов.

Большое влияние на долговечность сооружений оказывает технология изготовления изделий и конструкций.

Для повышения долговечности сборных и монолитных конструкций из бетона и железобетона от действия жидких агрессивных сред разработан эффективный метод гидроизоляции и защиты бетона герметиками нового поколения. Он заключается в комбинированном способе защиты путем создания на поверхности конструкций защитного покрытия материалами на минеральной основе и в пропитке поверхности данными материалами. Для этого разработан материал на минеральной основе «Герсмесь» с высокими строительно-технологическими, защитными и эксплуатационными свойствами, установлена возможность его применения с противоморозными добавками для работ при отрицательной температуре. Материал имеет химическое родство с бетонной основой, повышает водонепроницаемость до W 50 и имеет прочность до 40 МПа.

Другим направлением повышения долговечности протяженных монолитных конструкций сложной конфигурации, сооружаемых на месте, является разработка специальных технологий приготовления, укладки, уплотнения и ухода за твердеющим бетоном. Таким примером может служить технология изготовления барьерных ограждений транспортных сооружений.

Следующим этапом обеспечения высокой долговечности бетонов является контроль соответствия полученных свойств бетонов требованиям проектного задания. Определение водонепроницаемости бетонов не вызывает больших проблем и может быть осуществлено за

7–10 сут. При этом необходимо отметить, что бывают случаи, когда бетон конструкций, имеющий по результатам лабораторных испытаний водонепроницаемость до W 8–10, проницаем при значительно меньших давлениях воды. По мнению автора, это обусловлено различием условий при испытании в стандартных условиях (по ГОСТ 12730.5–84) и работой бетона в реальных условиях, когда на конструкцию оказываются и другие воздействия, в частности вибрация. В этом случае свойства воды меняются, ее вязкость значительно понижается, и вода может проходить сквозь структуру бетона по порам и капиллярам такого малого диаметра, которые до такого воздействия были водонепроницаемыми.

Наибольшую сложность вызывает определение морозостойкости бетонов. Стандартные методы определения этого свойства, регламентированные ГОСТ 10060–95, позволяют получать результаты только через несколько месяцев после изготовления бетона (первый основной метод) или требуют наличия в лабораториях мощного холодильного оборудования. В связи с этим затрудняется оперативный контроль морозостойкости бетонов, и в случае, когда морозостойкость оказывается менее требуемой по проекту, невозможно своевременно внести коррективы в состав бетона и ликвидировать брак.

Морозостойкость затвердевшего бетона может быть оперативно оценена ускоренным способом с помощью критерия $K_{мрз}$. При этом обеспечивается высокая корреляция между морозостойкостью, определенной по методу ГОСТ, и морозостойкостью по критерию $K_{мрз}$ (коэффициент корреляции находится в пределах 85–98%). Этот способ, разработанный специалистами МИИТа, позволяет прогнозировать морозостойкость бетонов как без добавок, так и бетонов с добавками, когда температура замораживания достигает -50°C , т. е. в том случае, когда практически вся поровая жидкость бетона при его замораживании переходит в лед [4, 6, 7].

Последней стадией получения долговечных бетонов является уход за ними в процессе эксплуатации. Как показывают проведенные исследования [4, 17], возможно повысить долговечность бетонов в несколько раз путем периодического вакуумирования бетонов, прошедших некоторое число циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Исследования проводились на образцах размером $10 \times 10 \times 10$ см, изготовленных из бетонных смесей состава Ц:П:Ш=1:2,5:3 при В/Ц=0,55.

Экспериментальные исследования показали, что эффективность и периодичность вакуумирования зависят от начальной морозостойкости бетонов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимальным временем вакуумирования является 0,25–1 ч, а разряжением – остаточное давление 0,01 МПа. Такой способ ухода за бетоном позволяет значительно увеличить его морозостойкость и повысить долговечность транспортных конструкций и сооружений.

Изложенные пути и способы повышения долговечности бетонов позволяют изготавливать конструкции и возводить сооружения, которые могут эксплуатироваться расчетные сроки без ремонтов и восстановления и при относительно невысоких расходах на их содержание. При этом необходимо отметить, что долговечность бетонов может быть существенно повышена только при условии выполнения всего комплекса мероприятий, описанных выше, в направлении состав – структура – свойства, начиная с обоснованного назначения проектных требований к бетону, включая правильный выбор материалов для его приготовления, подбор состава бетонной смеси на заданные свойства, технологию приготовления, укладки, уплотнения, и заканчивая уходом за бетоном в процессе его активного твердения и эксплуатации.

Список литературы

1. Мошанский Н.А. Плотность и стойкость бетонов. М.: Госстройиздат, 1951. 251 с.
2. Шейкин А.Е. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1988. 432 с.
3. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. Л.: Стройиздат, 1983. 132 с.
4. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. Л.: Стройиздат, 1989. 128 с.
5. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. О связи критерия морозостойкости с реальной морозостойкостью бетонов // *Бетон и железобетон*. 1981. № 1. С. 19–20.
6. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М., Баранов А.Т. Критерии морозостойкости ячеистых бетонов автоклавного твердения // *Бетон и железобетон*. 1986. № 5. С. 31–32.
7. Добшиц Л.М. Основы повышения долговечности бетонов для транспортных сооружений. Обеспечение качества железобетона транспортных сооружений: Научные труды ОАО ЦНИИС. М.: ОАО ЦНИИС, 2006. Вып. 236. С. 51–62.
8. Давидсон М.Г. Водонепроницаемый бетон. Л.: Лениздат, 1965. 98 с.
9. Колокольникова Е.И. Долговечность строительных материалов (бетон и железобетон). М.: Высшая школа, 1975. 159 с.
10. Горчаков Г.И. Повышение морозостойкости и прочности бетона. М.: Промстройиздат, 1956. 107 с.
11. Шестоперов С.В. Долговечность бетонов. М.: Авто-трансиздат, 1976. 267 с.
12. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. О назначении марки бетона по морозостойкости. Обеспечение качества железобетонных конструкций в суровых климатических условиях и вечномерзлых грунтах. Тезисы докладов Всесоюзной конференции. Якутск: ИПО ЦНТИ, 1988. С. 136–138.
13. Добшиц Л.М., Клибанов А.Л., Федун В.В. Технология получения высокопрочных, экологически чистых, долговечных бетонов с ранними сроками набора прочности // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2009. Вып. № 35. С. 131–135.
14. Авторское свидетельство 1558882 (СССР). Способ определения состава тяжелого бетона / Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Заявл. 8.07.1997. Опубл. 23.04.1990. Бюл. № 15.
15. Патент РФ № 2308429. Комплексная добавка для бетонных и растворных смесей / Добшиц Л.М., Федун В.В., Круглов В.М., Свиридов О.С., Ломоносова Т.И., Хижняк В.М. Заявл. 10.04. 2006. Опубл. 20.10.2007. Бюл. № 29.
16. Патент РФ № 2319681. Способ изготовления бетонных и железобетонных изделий / Добшиц Л.М., Круглов В.М., Свиридов О.С., Ломоносова Т.И., Крикунов О.И., Федун В.В. Заявл. 25.09.2006. Опубл. 20.03. 2008. Бюл. № 8.
17. Авторское свидетельство 1502545 (СССР), Способ удлинения сроков эксплуатации бетонных и железобетонных элементов / Шейкин А.Е., Добшиц Л.М., Верников А.Я., Прудовский Д.М. Заявл. 2.12.1986. Опубл. 23.08.1989. Бюл. № 31.

References

1. Moshchansky N.A. Plotnost' i stoykost' betonov [Density and firmness of concrete]. Moscow: Gostoyizdat. 1951. 251 p.
2. Sheykin A.E. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. Moscow: Stroyizdat. 1988. 432 p.

3. Kuntsevich O.V. Betony vysokoi morozostoikosti dlya sooruzhenii Krainego Severa [Concrete of high frost resistance for constructions of Far North]. Leningrad: Stroyizdat, 1983. 132 p.
4. Sheykin A.E., Dobshits L.M. Tsementnye betony vysokoi morozostoikosti [Cement concrete of high frost resistance]. Leningrad: Stroyizdat, 1989. 128 p.
5. Sheykin A.E., Dobshits L.M. About communication of criterion of frost resistance with real frost resistance of concrete. *Beton i Zhelezobeton*. 1981. No. 1, pp. 19–20. (In Russian).
6. Sheykin A. E., Dobshits L.M., A.T. Baranov. Criteria of frost resistance of cellular concrete of autoclave curing. *Beton i Zhelezobeton*. 1986. No. 5, pp. 31–32. (In Russian).
7. Dobshits L.M. Bases of increase in durability of concrete for transport constructions. Ensuring quality of reinforced concrete of transport constructions. Scientific works of JSC TSNIIS. Moscow: JSC TSNIIS, 2006. Issue 236, pp. 51–62. (In Russian).
8. Davidson M. G. Vodonepronitsaemyi beton [Waterproof concrete]. Leningrad: Lenizdat, 1965. 98 p.
9. Kolokolnikova E.I. Dolgovechnost' stroitel'nykh materialov (beton i zhelezobeton) [Durability of construction materials (concrete and reinforced concrete)]. Moscow: Vysshaya shkola, 1975. 159 p.
10. Gorchakov G.I. Povyshenie morozostoikosti i prochnosti betona [Increase in frost resistance and durability of concrete]. Moscow: Promstroyizdat, 1956. 107 p.
11. Shestoperov S.V. Dolgovechnost' betonov [Durability of concrete]. Moscow: Avtotransizdat, 1976. 267 p.
12. Sheykin A.E., Dobshits L.M. About purpose of brand of concrete on frost resistance. Ensuring quality of reinforced concrete designs in severe climatic conditions and permafrost soil. Theses of reports of the All-Union conference. Yakutsk: IPO TsNTI, 1988, pp. 136–138. (In Russian).
13. Dobshits L.M., Klivanov A.L., Fedunov V.V. Tekhnologiya of receiving high-strength, environmentally friendly, durable concrete with early terms of set of durability. *Visnik Odeskoi Derzhavnoi Akademii Budivnitsstvo that to Architecture*. 2009. No. 35, pp. 131–135.
14. Avtorskoe svidetel'stvo 1558882 (USSR). Sposob opredeleniya sostava tyazhelogo betona [Way of determination of composition of heavy concrete]. Sheykin A.E., Dobshits L.M. Declared 7.8.1997. Published 4.23.1990. Bulletin No. 15. (In Russian).
15. Patent RF No. 2308429. Kompleksnaya dobavka dlya betonnykh i rastvornykh smesei [Complex additive for concrete and the rastvornykh Mixes] Dobshits L.M., Fedunov V.V., Kruglov V.M., Sviridov O.S., Lomonosova T.I., Hizhnyak V.M. Declared 10.04.2006. Published 10.20.2007. Bulletin No. 29. (In Russian).
16. Patent RF No. 2319681. Sposob izgotovleniya betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii [Way of production of concrete and concrete goods]. Dobshits L.M., Kruglov V.M., Sviridov O.S., Lomonosov T.I., Krikunov O.I., Fedunov V.V. Declared 9.25.2006. Published 20.03.2008. Bulletin No. 8. (In Russian).
17. Avtorskoe svidetel'stvo 1502545 (USSR). Sposob udlineniya srokov ekspluatatsii betonnykh i zhelezobetonnykh elementov [Way of lengthening of terms of operation of concrete and reinforced concrete elements]. Sheykin A.E., Dobshits L.M., Vernikov A.Ya., Prudovsky D.M. Declared 12.2.1986. Published 8.23.1989. Bulletin No. 31. (In Russian).

г. Веймар (Германия)
12–14 сентября 2018 г.



Институт строительных материалов
им. Ф.А. Фингера (FIB) университета
Bauhaus-Universität г. Веймар (Германия)
организует 20-й Международный конгресс
по строительным материалам

Международный конгресс по строительным материалам IBAUSIL проводится в г. Веймаре с 1964 г. и за это время стал авторитетным форумом для научного обмена между исследователями университетов и промышленных предприятий с востока и запада.

Основные темы конгресса

- Неорганические вяжущие вещества;
- Стеновые строительные материалы / содержание сооружений / переработка материалов.
- Бетоны и долговечность бетонов;

Официальные языки конференции – немецкий, английский

Заявки об участии с докладами в конгресс принимаются до **1 ноября 2017 г.**

Подробности вы найдете на сайте: www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

С.В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, академик РААСН (fedosov-academic53@mail.ru),
 В.Е. РУМЯНЦЕВА, д-р техн. наук, советник РААСН (varrym@gmail.com),
 В.С. КОНОВАЛОВА, канд. техн. наук (kotprotiv@yandex.ru), А.С. ЕВСЯКОВ, инженер (smart47@rambler.ru)
 Ивановский государственный политехнический университет (153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20)

Кольматация: явление, теория, перспективы применения для управления процессами коррозии бетонов

Изложены общие сведения об особенностях явления кольматации пор и капилляров цементного камня, описаны отрицательные и положительные последствия процесса кольматации материалов в различных областях промышленности. Представлены данные, свидетельствующие об увеличении на начальном этапе коррозии прочностных характеристик цементного камня при кольматировании пор вследствие структурных преобразований, происходящих в цементном камне из-за коррозионных процессов. Проведены исследования изменения минералогического состава цементного камня при жидкостной коррозии в агрессивных средах, содержащих хлорид-ионы. Установлена связь между изменениями в структуре и минералогическом составе цементного камня и потерей прочности после воздействия жидких агрессивных сред, содержащих хлорид-ионы. Приведены математические модели кинетики и динамики массопереноса, сопровождаемого кольматацией, при химической коррозии цементного камня.

Ключевые слова: кольматация, кольматирование пор, коррозия бетона, повышение прочности, структура цементного камня, минералогический состав бетона.

Для цитирования: Федосов С.В., Румянцова В.Е., Коновалова В.С., Евсяков А.С. Кольматация: явление, теория, перспективы применения для управления процессами коррозии бетонов // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 10–17.

S.V. FEDOSOV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS (fedosov-academic53@mail.ru),
 V.E. RUMYANTSEVA, Doctor of Sciences (Engineering), Adviser of RAACS (varrym@gmail.com),
 V.S. KONOVALOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (kotprotiv@yandex.ru), A.S. EVSYAKOV, Engineer (smart47@rambler.ru)
 Ivanovo State Polytechnical University (20, 8 Marta Street, Ivanovo, 153037, Russian Federation)

Colmatation: Phenomenon, Theory, Prospects of Using for Control Over Concrete Corrosion Processes

General information about peculiarities of the phenomenon of colmatation of pores and capillaries of the cement stone is presented; negative and positive consequences of the process of materials colmatation in various branches of the industry are also presented. Data revealing the increase in the strength characteristics of the cement stone at the initial stage when colmatating pores due to the structural transformations, which occur in the cement stone because of corrosion processes, are presented. Research in changes of the mineralogical composition of the cement stone in the course of fluid corrosion in the aggressive media containing chloride-ions has been conducted. The relation between changes in the structure and mineralogical composition of cement stone and the strength loss after effect of liquid aggressive media containing chloride-ions has been established. Mathematical models of the kinetics and dynamics of the mass transfer, accompanied by colmatation, at chemical corrosion of the cement stone are presented.

Keywords: colmatation, colmatation of pores, concrete corrosion, increasing the strength, structure of cement stone, mineralogical composition of concrete.

For citation: Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Evsyakov A.S. Colmatation: phenomenon, theory, prospects of using for control over concrete corrosion processes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 10, pp. 10–17. (In Russian).

Кольматация – процесс естественного проникновения или искусственного внесения мелких (главным образом коллоидных, глинистых и пылеватых) частиц и микроорганизмов в поры и трещины горных пород, в фильтры очистных сооружений и дренажных выработок, а также осаждение в них химических веществ, способствующее уменьшению их водо- или газопроницаемости [1, 2]. Носителем кольматантного материала (кольматанта) могут служить жидкости и газы.

В зарубежной литературе термин «кольматация» применяется для обозначения процесса механического осаждения частиц в поровом пространстве [3].

Термин «кольматация» предложен И.Н. Ахвердовым [4]. При коррозии бетонных и железобетонных изделий кольматация представляет собой процесс проникновения частиц (дисперсных и растворенных) в поры, трещины и пустоты бетона, а также физическое и химическое осаждение в нем, способствующее омоноличиванию, уменьшению водопроницаемости бетона и, как следствие, росту морозостойкости и коррозионной стойкости [5, 6].

При взаимодействии компонентов цементной матрицы бетона с агрессивной средой образуется два типа кольматантов: 1) состоит из геля кремнекислоты, который образуется в результате взаимодействия силикат-

ной составляющей цементного камня с агрессивной средой; 2) образуется в результате химической реакции компонентов агрессивной среды с основными частями цементного камня, содержащими ионы кальция: CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и т. д. [7].

При коррозии выщелачивания цементного камня происходит растворение гидроксида кальция, находящегося во внешнем слое [8, 9]. Скорость этого процесса пропорциональна разности концентраций ионов кальция в порах бетонного изделия и окружающей среде [10]:

$$\frac{dm}{dt} = kF(C - C_0), \quad (1)$$

где: k – коэффициент массообмена; F – поверхность растворения; C – концентрация ионов кальция в порах бетона; C_0 – концентрация ионов кальция в окружающей среде.

Гидроксид кальция вымывается из пор бетона, тогда как почти весь гель кремнекислоты остается в порах изделия, вызывая их частичное закупоривание (кольматацию) [9]. Таким образом, процесс коррозии становится в определенной степени самотормозящимся. Чем больше образуется при коррозии выщелачивания геля кремнекислоты, чем плотнее и менее проницаем он для ионов кальция, тем сильнее процесс тормозится во времени [11].

Сходный с изложенным механизм имеет кислотная коррозия в среде таких кислот, как HCl, HBr, HNO₃, уксусная, молочная кислота и др. [12]. Отличие ее от коррозии выщелачивания заключается в том, что в данном случае происходит не гидролиз и растворение в воде гидросиликатов кальция и других гидратных фаз, а разрушение последних в водных растворах кислот, более сильных, чем кремневые кислоты. Однако в том и другом случаях образуется один и тот же коьматант — гель кремнекислоты. Если анион кислоты образует с ионами кальция малорастворимую соль, то она также создает дополнительный эффект коьматации. В связи с этим такие кислоты менее агрессивны по отношению к цементной матрице бетонов, чем HCl, уксусная, молочная и другие кислоты [12].

Еще одним сравнительно простым видом коррозии является магнизиальная. Она обусловлена тем, что гидросиликаты кальция вступают в обменные реакции с ионами Mg²⁺ с образованием малорастворимого в воде гидроксида магния Mg(OH)₂ [7].

Механизм коррозии цементного камня в водных растворах угольной кислоты сходен с общекислотной коррозией [12]. С точки зрения концепции коьматации важно, что основными продуктами коррозии являются кислый углекислый кальций Ca(HCO₃)₂, хорошо растворимый в воде, и гель кремнекислоты. Именно этот гель является коьматантом пор и капилляров цементных систем благодаря чисто механическому закупориванию последних, а также электрокапиллярным явлением.

При воздействии на бетон углекислого газа в результате ряда последовательных физико-химических процессов [13] образуются два коьматанта, малорастворимых в воде, — CaCO₃ и SiO₂·nH₂O. Первый из них образуется в большом количестве и обладает более сильным коьматирующим эффектом.

Коррозия в сульфатных средах сопровождается образованием этtringита и гипса, которые не оказывают коьматирующего влияния, поскольку они кристаллизуются с большим увеличением объема, вызывая расширение цементного камня [14]. Последнее, очевидно, вызывает декоьматацию и предотвращает защитное действие слоя продуктов коррозии [12].

С увеличением возраста бетона изменяется характер его пористости, постепенно уменьшается объем макропор, которые как бы зарастают продуктами гидратации цемента, и в результате уменьшается проницаемость бетона [15].

В искусственных условиях (при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений) коьматация играет двоякую роль — положительную и отрицательную.

Положительное влияние заключается, например, в коьматации пор асфальто- и цементобетонов при воздействии на них антигололедных составов [16]; в улучшении прочностных характеристик керамического кирпича после обработки гидрофобизирующими коьматирующими составами [17]; в коьматации внутренней структуры капилляров и пор древесины и образовании более прочных связей древесины с цементным камнем при изготовлении арболита [18]; в увеличении водонепроницаемости бетонных конструкций за счет коьматации капиллярных пор бетона при введении специальных добавок [19, 20]; в повышении прочности и плотности бетонов при нанесении гидроизоляционного покрытия [21].

Отрицательное влияние коьматации проявляется при бурении, освоении и эксплуатации водозаборных скважин в механическом, химическом и биологическом коьматате, что определяет не только длительность действия водозаборов, но и эффективность намечаемых технологий для восстановления дебитов скважин [22]; в потере водопроницаемости геотекстиля и снижении

фильтрационных свойств из-за коьматации материала при фильтрации воды [23]; в нарушении режима эксплуатации скважин рудоносных пород из-за осаждения твердых фаз, образующихся при растворении металлов рудовмещающих пород [24].

Существует концепция коьматации, опирающаяся на послойный характер химической и физико-химической коррозии. Коррозия сначала затрагивает поверхностные слои бетона, и с течением времени фронт коррозии продвигается внутрь бетонного изделия [25–27]. Нерастворимые продукты коррозии, образующиеся при воздействии агрессивной среды, откладываются в порах и капиллярах бетона, закупоривают их и таким образом замедляют диффузию агрессивных компонентов в глубь пористого материала. Это замедляет скорость коррозии. Посредством правильного подбора состава цементной смеси можно усилить самоторможение процессов коррозии бетонов и повысить коррозионную стойкость изделий и конструкций из бетона [7, 28].

Для увеличения плотности бетона применяют коьматирующие добавки, которые способствуют заполнению пор бетона водонерастворимыми продуктами гидратации. В качестве коьматирующих добавок применяют водорастворимые смолы и соли алюминия, железа и кальция [5, 29], суперпластификаторы на основе алифатических альдегидов и сульфированных органических соединений [30]. Коьматация пор цементного камня происходит в результате возникновения высокодисперсных эластичных труднорастворимых железосодержащих новообразований, что способствует повышению непроницаемости бетона, а следовательно, и его долговечности.

Взаимодействие анаэробных алкалофильных микроорганизмов определенного типа с водой позволяет снизить проницаемость цементно-песчаной матрицы из-за коьматации пор продуктами их метаболизма, в первую очередь кальцитом, и увеличить прочность изделия на 25% [31].

Установлено, что структурные преобразования, происходящие в бетоне при коьматации вследствие коррозии, увеличивают трещиностойкость плоских бетонных элементов конструкций при нагрузке и прочность при сжатии [32–34].

В условиях, когда бетонное изделие подвергается воздействию агрессивной среды, интенсивность коррозионных процессов зависит от кинетики проникновения в него агрессивных компонентов, которая в значительной степени определяется структурными особенностями бетона [35].

На рис. 1 приведены кривые изменения прочности образцов бетона на портландцементе при коррозии в различных средах. При жидкостной коррозии образцов на портландцементе на начальном этапе происходит увеличение прочности, что может быть объяснено на-

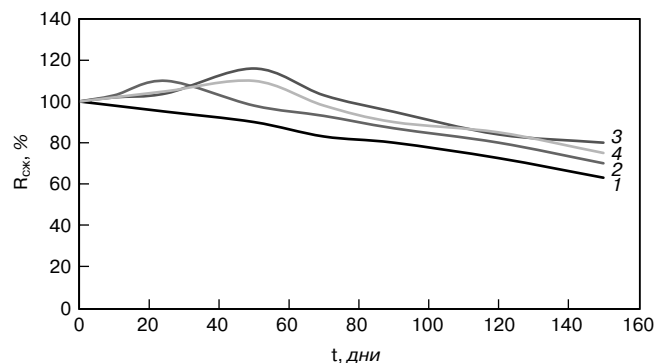


Рис. 1. Кинетика изменения прочности бетонных образцов на портландцементе при сжатии (R_{сжк}) в: 1 — 2%-м растворе MgCl₂; 2 — растворе HCl с pH=5; 3 — воде; 4 — 0,1%-м растворе CaCl₂

полнением пор и пустот в бетоне новообразующимися продуктами коррозии, т. е. кольматацией [25]. Прочность бетона увеличивается лишь на какое-то время и превышает прочность бетона, не подвергающегося воздействию агрессивной среды. Чем медленнее протекает процесс коррозии, тем позднее наступает потеря прочности бетона. У хорошо проницаемого для жидкости бетона точка перелома кривой прочности и начало видимого разрушения в сильно агрессивной среде наступает в течение недель или месяцев. Обычно же перелом кривой прочности наступает по истечении нескольких лет. Также замедленно идет процесс разрушения бетонов с повышенным содержанием пор – легких бетонов на пористых заполнителях, так как значительный объем пор позволяет разместиться в нем большому количеству новообразований, прежде чем начнет развиваться внутреннее давление [36].

В таблице представлены результаты испытаний образцов из портландцемента, подвергавшихся воздействию различных сред в течение 150 сут, которые получены при изучении массообменных процессов, происходящих при жидкостной коррозии цементного камня [37, 38]. Очевидно, что для камня на основе портландцемента без специальных добавок наиболее агрессивной средой является 2%-й раствор $MgCl_2$, он оказывает большее влияние на снижение прочностных характеристик бетона.

Тип образца	Напряжение разрушения, МПа
До воздействия	55,78
После воздействия воды	42,44
После воздействия 2%-го раствора $MgCl_2$	22,54
После воздействия раствора HCl с $pH = 5$	34,78
После воздействия 0,1%-го раствора $CaCl_2$	38,64

Для изучения структурных изменений, происходящих в бетоне при кольматации, применяют рентгеноструктурный анализ и метод рентгеновской микрофотографии [39–42]. Изучение минералогического состава кольматирующих образований проводится с помощью методов визуальных, ИК-спектроскопии, микрохимического, рентгенофазового, дифференциального термического, дифференциального термогравиметрического анализа с использованием дериватографа [21, 33].

Рентгенографический анализ позволяет качественно определить фазовый состав цементного камня [43]. Каждое кристаллическое вещество характеризуется своим набором определенных линий на рентгенограмме. Рентгенограммы образцов сравниваются либо с рентгенограммами составляющих минералов, либо с известными табличными данными.

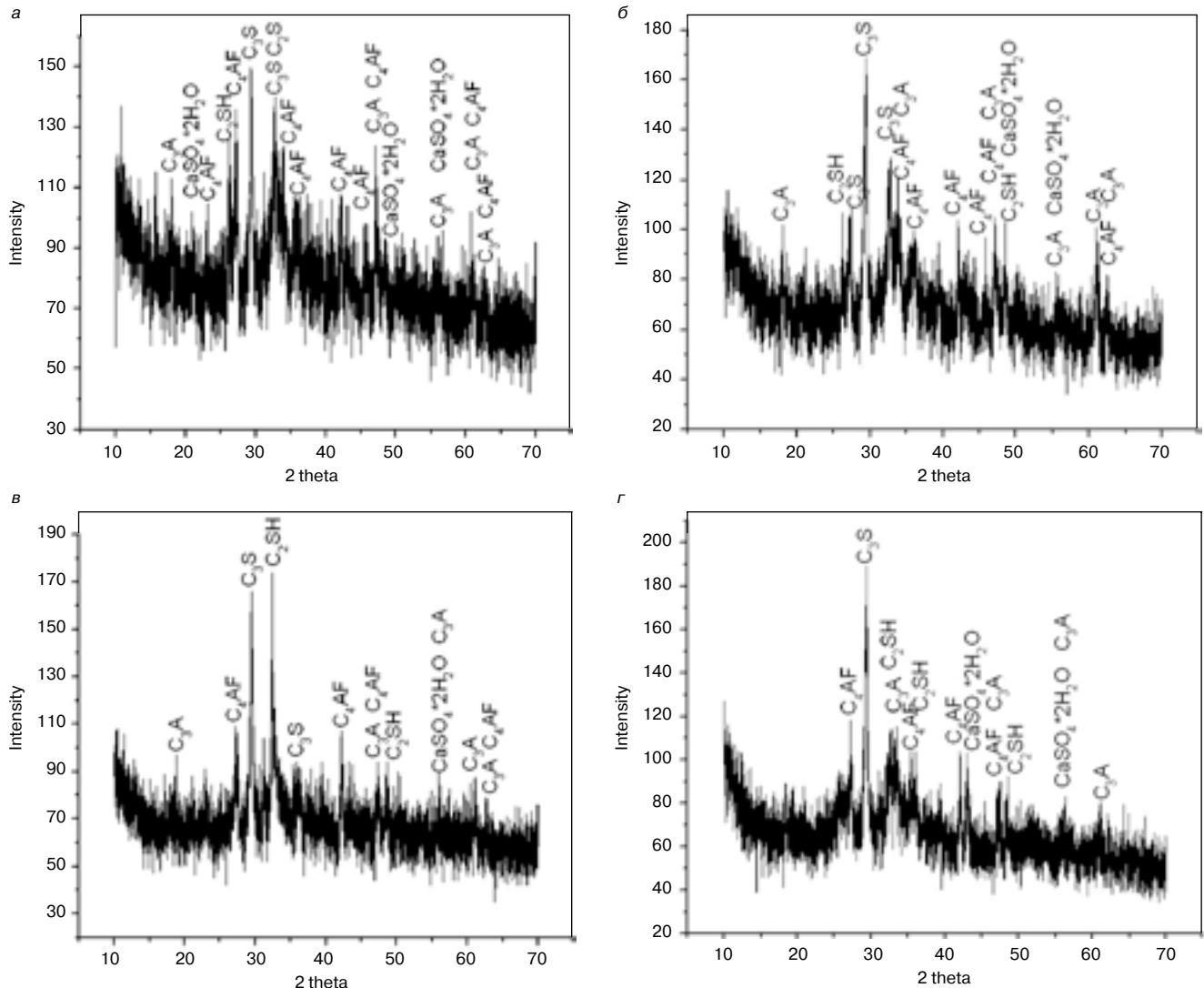


Рис. 2. Рентгенограммы образцов цементного камня, подвергшихся воздействию сред разной агрессивности: а – вода; б – 0,1%-й раствор $CaCl_2$; в – 0,001%-й раствор HCl ($pH=5$); г – 2%-й раствор $MgCl_2$

Минералогический состав цемента представлен следующими клинкерными минералами: алитом C_3S ($3CaO \cdot SiO_2$); белитом C_2S ($2CaO \cdot SiO_2$); трехкальциевым алюминатом C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$); браунмиллеритом или четырехкальциевым алюмоферритом C_4AF ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$). Гипсовый камень в цементе представлен минералом – двуводным сульфатом кальция $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ [44, 45]. Многочисленными исследованиями показано, что главными носителями механической прочности цементного камня являются продукты гидратации C_3S и C_2S , т. е. гидросиликаты кальция [45, 46].

На рис. 2 приведены рентгенограммы образцов из цементного камня, подвергшихся воздействию агрессивных сред: 2%-го водного раствора $MgCl_2$; 0,001%-го водного раствора HCl ; 0,1%-го водного раствора $CaCl_2$. Из представленных данных следует, что после нахождения цементного камня в агрессивной среде наблюдается изменение интенсивности некоторых линий, а также появление новых. Видно совместное присутствие трехкальциевого алюмината C_3A и браунмиллерита C_4AF ; трехкальциевого алюмината C_3A и гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; гидросиликата кальция C_2SH и гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Снижение интенсивности и исчезновение с рентгенограмм линий продукта гидратации алита и белита – гидросиликата кальция C_2SH подтверждает данные прочностных испытаний цементных образцов после воздействия агрессивных сред [47]. С увеличением агрессивности среды структурной фазы – гидросиликата кальция C_2SH становится меньше, однако повышается интенсивность линий алита C_3S . На рис. 2, в видно, что появляется линия гидросиликата кальция C_2SH максимальной интенсивности; такая же линия, но меньшей интенсивности присутствует на рис. 2, г, а на рис. 2, б этой линии нет.

Среднее уменьшение интенсивности линий алита C_3S на рентгенограммах составляет 20%, белита C_2S – 12%, трехкальциевого алюмината C_3A – 16%, четырехкальциевого алюмоферрита C_4AF – 20%, гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ – 10%.

Таким образом, методами рентгенофазового анализа можно установить взаимосвязь между характеристиками структуры цементного камня и параметрами прочности цементного камня. Рентгенограммы доказывают, что реальная долговременная прочность и трещиностойкость цементного камня и бетона определяется не только пористостью и степенью гидратации, но и характеристиками дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня.

Термодинамическим обоснованием закона коагуляции, согласно которому с уменьшением растворимости продуктов коррозии скорость последней уменьшается, является уравнение [48]:

$$\Delta G = 2\Delta G_{дисHR} + \Delta G_{раствCaR_2(тв)} + const. \quad (2)$$

Согласно закону коагуляции основную роль играет диффузионное торможение, но и фактор кинетического контроля имеет большое значение.

Математические модели кинетики и динамики массопереноса, сопровождаемого коагуляцией

Кинетика процессов коагуляции при химической коррозии цементного камня описывается уравнениями, основанными на теории массопереноса [11, 32]:

$$\frac{\tau}{y} = \left(\frac{\tau}{y}\right)_0 + k_1 y; \quad (3)$$

$$\frac{\tau}{y} = \left(\frac{\tau}{y}\right)_0 + k_2 y, \quad (4)$$

где τ – продолжительность процесса коррозии, сут; y – критерий степени коррозии (снижение механиче-

ской прочности, потеря массы, накопление продукта коррозии, глубина проникновения агрессивного агента в изделие и т. п.); k_1, k_2 – константы, характеризующие интенсивность снижения скорости коррозии, обусловленную диффузионным торможением реакции: в (3) уравнении – пропорционально степени коррозии, в (4) – времени.

Экспериментальные данные по кинетике коррозии в виде монотонно возрастающих показателей во времени рекомендуется записывать в виде функций [32, 49]:

$$\frac{\tau}{l} = \left(\frac{\tau}{l}\right)_0 + k_1 l; \quad (5)$$

$$\frac{\tau}{l} = \left(\frac{\tau}{l}\right)_0 + k_2 \tau, \quad (6)$$

где τ – время, сут; l – глубина коррозии либо изменение линейного размера образца; $\left(\frac{\tau}{l}\right)_0$ – величина, обратная начальной скорости процесса, сут/мм.

Скорость одномерной молекулярной диффузии, обусловленной разностью концентраций, описывается первым законом Фика:

$$m = -D \frac{\partial C}{\partial l}, \quad (7)$$

где m – поток вещества, кг/см²; D – коэффициент диффузии, м²/с; $\frac{\partial C}{\partial l}$ – градиент концентрации, кг/м³.

Если в уравнении (7) принять l – глубина проникновения агрессивного агента, то представляется возможным рассчитать эффективный коэффициент диффузии продвижения агрессивного компонента в цементный камень, так как $[k_1] = \frac{\tau}{l^2}$, то $\frac{1}{k_1} = \frac{l^2}{\tau} = [D]$.

В результате преобразований из уравнения (3) получается выражение для глубины проникновения продуктов протекающих при коррозии реакций в бетон [32, 49]:

$$y = a\sqrt{2D\tau}, \quad (8)$$

где y – глубина коррозии при процессе с экстенсивным торможением; a – коэффициент пропорциональности.

Из уравнения (7) следует:

$$D_3 = \frac{m_0 l^2}{2\tau C_0}; \quad (9)$$

зная m_0 и C_0 и рассчитав l^2/τ , можно определить коэффициент диффузии.

Для случая внутридиффузного торможения процесса:

$$D_3 = D \frac{\varepsilon}{f_{изв}}; \quad (10)$$

$$k = ak_3, \quad (11)$$

где ε – порозность частицы или слоя; $f_{изв}$ – коэффициент извилистости пор; a – удельная поверхность пор; k_3 – эффективная константа скорости реакции.

На основе кинетических констант предложено модифицированное выражение для расчета критерия Фурье, в котором коэффициент диффузии $D_{диф}$, экспериментальное определение которого требует проведения специальных исследований, заменен на коэффициент экстенсивного диффузионного торможения k_1 [32]:

$$Fo = \tau / (l^2 \cdot k_1). \quad (12)$$

Для процессов с внутренним диффузионным контролем с интенсивным торможением:

$$Fo = u_0 \cdot \tau \cdot k_2, \quad (13)$$

где u_0 – начальная скорость коррозии; k_2 – коэффициент интенсивного торможения.

В связи с тем, что известный критерий Био для идентификации механизма коррозии не охватывает процессы, в которых удельное диффузионное сопротивление уменьшается во времени, а предполагает его постоянство, предлагается модифицировать его с учетом изложенных выше теоретических соображений [49]:

$$Bi = \beta \cdot l \cdot k_1$$

$$Bi = \beta \cdot \tau \cdot k_2. \quad (14)$$

и

Предложены уравнения для определения долговечности бетонных и железобетонных конструкций, а также описания глубины распространения кольматации и коррозионных повреждений [50–52].

Определение глубины нейтрализации коррозионно повреждаемого бетона при первом варианте повреждения выполняется с использованием известных экспериментальных зависимостей, например с помощью степенной функции вида [5]:

$$\delta = k \cdot t^m, \quad (15)$$

где k , m – коэффициенты конкретной агрессивной среды к определенному классу бетона, являющиеся экспериментальными величинами; t – время, сут; δ – глубина нейтрализации бетона, см.

Из аналитических выражений для оценки глубины нейтрализации коррозионно поврежденного бетона сформулирован критерий его прочности во времени при таких повреждениях [51].

Список литературы

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 463 с.
2. Ушеров-Маршак А.В. Бетонovedение: Лексикон. М.: РИФ Стройматериалы, 2009. 112 с.
3. Szilvssy Z. Soils engineering for design of ponds, canals and dams in aquaculture // *Inland Aquaculture Engineering. FAO. Rome. 1984*, pp. 79–101.
4. Ахвердов И.Н. Высокопрочный бетон. М.: Госстройиздат, 1961. 163 с.
5. Иванов И.А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1993. 182 с.
6. Розенталь Н.К. Проницаемость и коррозионная стойкость бетона // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 35–37.
7. Рахимбаев Ш.М., Карпачева Е.Н., Толыпина Н.М. О выборе типа цемента на основе теории кольматации при сложном составе агрессивной среды // *Бетон и железобетон*. 2012. № 5. С. 25–26.
8. Розенталь Н.К., Розенталь А.Н., Любарская Г.В. Коррозия бетона при взаимодействии щелочей с диоксидом кремния заполнителя // *Бетон и железобетон*. 2012. № 1. С. 50–60.
9. Иванов Ф.М., Любарская Г.В., Розенталь Н.К. Взаимодействие заполнителей бетона с щелочами цемента и добавок // *Бетон и железобетон*. 1995. № 1. С. 15–18.
10. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ. М.: Химия, 1977. 272 с.
11. Рахимбаев Ш.М. Кинетика процессов кольматации при химической коррозии цементных систем // *Бетон и железобетон*. 2012. № 6. С. 16–17.
12. Рахимбаев Ш.М. Принципы выбора цементов для использования в условиях химической агрессии // *Известия вузов. Строительство*. 1996. № 10. С. 65–68.

Для прогнозирования долговечности материала вполне достаточно знание величин, входящих в уравнения (3) и (4). При этом, зная $(\tau/y)_0$ и k_1 , из формулы (3) рассчитывается время, за которое глубина коррозионного повреждения достигнет заданного значения [7, 49]:

$$\tau = \left[\left(\frac{\tau}{y} \right)_0 + k_1 y \right] y. \quad (16)$$

Из формулы (4) рассчитывается степень коррозионного поражения за любой заданный промежуток времени:

$$y = \frac{\tau}{\left(\frac{\tau}{y} \right)_0 + k_2 \tau}. \quad (17)$$

При этом, задавшись допустимой глубиной, которая может составлять от 10 до 15% размера образца, можно рассчитать допустимый срок эксплуатации изделий в данной среде.

Использование эффекта кольматации в практических целях позволяет усилить степень самоторможения коррозионных процессов и производить выбор типа цемента для бетонов, которые эксплуатируются в различных агрессивных средах [27, 28].

По-видимому, подходы профессоров А.Ф. Полака и Ш.М. Рахимбаева по проблеме математического моделирования процесса кольматации в бетонах не являются единственными. Однако авторам, к сожалению, не удалось обнаружить других источников. Вместе с тем эта проблема требует дальнейшего теоретического анализа и экспериментального изучения.

Авторы настоящей статьи выбрали эту проблему в качестве одной из приоритетных задач и представят читателю результаты своих теоретических и экспериментальных исследований в дальнейших публикациях.

References

1. Akhverdov I.N. Osnovy fiziki betona [Fundamentals of physics of concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1981. 463 p.
2. Usherov-Marshak A.V. Betonovedenie: leksikon [Concrete Studies: Lexicon]. Moscow: Stroymaterialy. 2009. 112 p.
3. Szilvssy Z. Soils engineering for design of ponds, canals and dams in aquaculture. *Inland Aquaculture Engineering. FAO. Rome. 1984*, pp. 79–101.
4. Akhverdov I.N. Vysokoprochnyy beton [High-strength concrete]. Moscow: Gosstroyizdat. 1961. 163 p.
5. Ivanov I.A. Legkie betony na iskusstvennykh poristykh zapolnitelyakh [Lightweight concretes on artificial porous aggregates]. Moscow: Stroyizdat. 1993. 182 p.
6. Rozental' N.K. Permeability and corrosion resistance of concrete. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 35–37. (In Russian).
7. Rakhimbaev Sh.M., Karpacheva E.N., Tolypina N.M. On the choice of the type of cement based on the theory of colmatation in the complex composition of an aggressive environment. *Beton i Zhelezobeton*. 2012. No. 5, pp. 25–26. (In Russian).
8. Rozental' N.K., Rozental' A.N., Lyubarskaya G.V. Corrosion of concrete during the interaction of alkalis with aggregate silica. *Beton i Zhelezobeton*. 2012. No. 1, pp. 50–60. (In Russian).
9. Ivanov F.M., Lyubarskaya G.V., Rozental' N.K. Interaction of concrete aggregates with alkalis of cement and additives. *Beton i Zhelezobeton*. 1995. No. 1, pp. 15–18. (In Russian).
10. Aksel'rud G.A., Molchanov A.D. Rastvorenie tverdykh veshchestv [Dissolution of solid substances] Moscow: Himiya. 1977. 272 p.
11. Rakhimbaev Sh.M. Kinetics of colmatation processes during chemical corrosion of cement systems. *Beton i Zhelezobeton*. 2012. No. 6, pp. 16–17. (In Russian).

13. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976. 206 с.
14. Розенталь Н.К. Проблемы коррозионного повреждения бетона // *Бетон и железобетон*. 2007. № 6. С. 29–31.
15. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1987. 415 с.
16. Строганов Е.В., Мерецова Г.С. Оценка коррозионных процессов бетонов при оптимизации составов пескосоляных смесей // *Вестник ТГАСУ*. 2009. № 2. С. 105–111.
17. Пищ И.В., Баранцева С.Е., Беланович А.Л., Лугин В.Г. Гидрофобизация – перспективный способ улучшения качества стеновых керамических материалов // *Труды БГТУ. Серия 3: Химия и технология неорганических веществ*. 2010. Т. 1. № 3. С. 55–60.
18. Шешуков А.П., Лычагин Д.В., Макаров Е.Я. Исследование процессов формирования структуры арболита при химической активации древесины // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2014. № 3 (44). С. 145–152.
19. Леонович С.Н., Полейко Н.Л., Журавский С.В., Темников Ю.Н. Эксплуатационные характеристики бетона строительных конструкций с применением системы «Кальматрон» // *Строительные материалы*. 2012. № 11. С. 64–66.
20. Леонович С.Н., Полейко Н.Л., Темников Ю.Н., Журавский С.В. Физико-механические свойства бетона с добавлением системы проникающего действия «Кальматрон» // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2013. № 31–2 (50). С. 124–131.
21. Касаткина А.В., Соловьев Д.В., Степанова И.В. Гидрозащитные свойства цементосодержащего материала проникающего действия при использовании пористых оснований разной природы // *Бетон и железобетон*. 2012. № 6. С. 5–8.
22. Веселков С.Н., Гребенников В.Т. Состав и свойства кольтматирующих образований водозаборных скважин // *Рациональное освоение недр*. 2013. № 6. С. 44–47.
23. Блашко Л.С., Штыков В.И., Канцибер Ю.А., Пономарев А.Б., Черняев Е.В. Защита от кольтматирования геотекстильных материалов, применяемых в балластной призме в качестве разделительного слоя // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2014. № 4 (41). С. 22–26.
24. Битимбаев М.Ж. Химическая кольтматация и способы ее устранения при подземном выщелачивании металлов // *Вестник Национальной инженерной академии РК*. 2009. № 2 (32). С. 122–125.
25. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
26. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976. 205 с.
27. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Обоснование выбора типа вяжущего для агрессивных сред органического происхождения на основе теории гетерогенных физико-химических процессов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 9. С. 159–163.
28. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 321 с.
29. Старчуков Д.С. Оценка эффективности действия комплексной добавки на основе гидроксида железа
12. Rakhimbaev Sh.M. Principles of choosing cements for use in conditions of chemical aggression. *Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo*. 1998. No. 10, pp. 65–68. (In Russian).
13. Alekseev S.N., Rozental' N.K. Korrozionnaya stoikost' konstruktсии v agressivnoi promyshlennoi srede [Corrosion resistance of structures in an aggressive industrial environment]. Moscow: Stroyizdat. 1976. 206 p.
14. Rozental' N.K. Problems of corrosive damage to concrete. *Beton i Zhelezobeton*. 2007. No. 6, pp. 29–31. (In Russian).
15. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona [Technology of concrete]. Moscow: Vysshaya shkola. 1987. 415 p.
16. Stroganov E.V., Meretsova G.S. Estimation of corrosion processes of concrete during optimization of sand-salt mixes. *Vestnik TGASU*. 2009. No. 2, pp. 105–111. (In Russian).
17. Pishch I.V., Barantseva S.E., Belanovich A.L., Lugina V.G. Hydrophobization – a promising way to improve the quality of wall ceramic materials. *Trudy BGTU. Seriya 3: Khimiya i Tekhnologiya Neorganicheskikh Veshchestv*. 2010. Vol. 1. No. 3, pp. 55–60. (In Russian).
18. Sheshukov A.P., Lychagin D.V., Makarov E.Ya. Investigation of the processes of formation of the structure of arbolite in the chemical activation of wood. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta*. 2014. No. 3 (44), pp. 145–152. (In Russian).
19. Leonovich S.N., Poleyko N.L., Zhuravskiy S.V., Temnikov Yu.N. Operational characteristics of concrete building structures with the use of “Kalmatron” system. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 11, pp. 64–66. (In Russian).
20. Leonovich S.N., Poleyko N.L., Temnikov Yu.N., Zhuravskii S.V. Physical and mechanical properties of concrete with the addition of a penetrating system «Kalmatron». *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. No. 31–2 (50), pp. 124–131. (In Russian).
21. Kasatkina A.V., Solov'ev D.V., Stepanova I.V. Hydroprotective properties of cement-containing material of penetrating action when porous bases of different nature are used. *Beton i Zhelezobeton*. 2012. No. 6, pp. 5–8. (In Russian).
22. Veselkov S.N., Grebennikov V.T. Composition and properties of colmatizing formations of water intake wells. *Ratsional'noe Osvoenie Nedr*. 2013. No. 6, pp. 44–47. (In Russian).
23. Blazhko L.S., Shtykov V.I., Kantsiber Yu.A., Ponomarev A.B., Chernyaev E.V. Protection from the collation of geotextile materials used in the ballast prism as a separation layer. *Izvestiya Peterburgskogo Universiteta Putei Soobshcheniya*. 2014. No. 4 (41), pp. 22–26. (In Russian).
24. Bitimbaev M.Zh. Chemical colmatation and methods of its elimination in underground leaching of metals. *Vestnik Natsional'noi Inzhenernoi Akademii RK*. 2009. No. 2 (32), pp. 122–125. (In Russian).
25. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzev E.A. Korroziya betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. Moscow: Stroyizdat. 1980. 536 p.
26. Alekseev S.N., Rozental' N.K. Korrozionnaya stoikost' konstruktсии v agressivnoi promyshlennoi srede [Corrosion resistance of structures in an aggressive industrial environment]. Moscow: Stroyizdat. 1976. 205 p.
27. Rakhimbaev Sh.M., Tolypina N.M. Substantiation of the choice of type of binder for aggressive environments of organic origin on the basis of the theory of heterogeneous physicochemical processes. *Vestnik Belgorodskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo Universiteta im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 9, pp. 159–163. (In Russian).
28. Rakhimbaev Sh.M., Tolypina N.M. Povyshenie korrozionnoi stoikosti betonov putem ratsional'nogo vybora vyazhushchego i zapolnitelei [Increase of corrosion resis-

- для получения высокопрочного бетона // *Бетон и железобетон*. 2012. № 5. С. 8–9.
30. Патент РФ 2110495. *Способ приготовления комплексной добавки Силигран-2 для цементных строительных смесей* / Фрумин Д.А. Заявл. 20.03.1996. Оpubл. 10.05.1998.
 31. Jonkers H.M., Schlangen E. Development of a bacteria-based self-healing concrete // *Tailor Made Concrete Structures*. Walraven & Stoelhorst (eds), Taylor & Francis Group, London. 2008, pp. 425–430.
 32. Полак А.Ф. Физико-химические основы коррозии железобетона. Уфа: УНИ, 1986. 69 с.
 33. Селяев В.П., Седова А.А., Куприяшклина Л.И., Осипов А.К. Влияние концентрации фосфорной кислоты и степени наполнения цеолитосодержащей породы на прочность цементного камня // *Известия вузов. Строительство*. 2015. № 8. С. 13–20.
 34. Бердов Г.И., Виноградов С.А., Машкин А.Н., Хританков В.Ф. Диэлькометрический анализ влияния раствора электролита на свойства цементных материалов // *Известия вузов. Строительство*. 2015. № 8. С. 21–24.
 35. Леонович С.Н., Прасол А.В. Железобетон в условиях хлоридной коррозии: деформирование и разрушение // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 94–95.
 36. Москвин В.М., Рояк Г.С. Коррозия бетона при действии щелочей цемента на кремнезем заполнителя. М.: Госстройиздат, 1962. 247 с.
 37. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Караваев И.В., Логинова С.А. Влияние агрессивных сред на изменение структурно-фазового состава цементных бетонов и их прочностные характеристики // *Информационная среда вуза: материалы XXIII Международной научно-технической конференции*. Иваново, 2016. С. 372–376.
 38. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Караваев И.В., Логинова С.А. Изменение прочностных характеристик бетонов с гидрофобизирующими добавками при жидкостной коррозии II // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 4–3. С. 104–107.
 39. Кузнецова И.Н., Косач А.Ф., Рашупкина М.А., Гутарева Н.А. Влияние основных минералов цементного камня на его структуру и свойства // *Известия вузов. Строительство*. 2015. № 8. С. 25–32.
 40. Рыжиков Н.И., Михайлов Д.Н., Шаков В.В. Метод расчета профилей распределения пористости и объемных долей материалов в пористой среде с помощью анализа данных рентгеновской микротомографии // *Труды МФТИ*. 2013. Т. 5. № 4 (20). С. 161–169.
 41. Al-Abduwani F.A.H., Farajzadeh R., Van den Broek W.M.G.T., Currie P.K., Zitha P.L.J. Filtration of micron-sized particles in granular media revealed by x-ray computed tomography // *Review of scientific instruments*. 2005. Vol. 76. doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2103467>
 42. De Zwart A.H. Experiment and theoretical investigation of clogging processes near production wells using X-ray Tomography // *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. 21–24 September 2008. Denver, Colorado, USA. <https://doi.org/10.2118/116411-MS>
 43. Никитина Л.В., Ларионова З.М., Лапшина А.М. Фазовые превращения этtringита в расширяющихся системах // *Физико-химические исследования бетонов и их составляющих: Тр. НИИЖБ*. М.: Стройиздат, 1975. Вып. 17. С. 39–55.
 44. Жданок С.А., Хрусталева Б.М., Батяновский Э.И., Леонович С.Н. Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы // *ance of concrete by rational choice of binder and aggregates*.]. Belgorod: BGTU. 2015. 321 p.
 29. Starchukov D.S. Estimation of the effectiveness of the complex additive based on iron hydroxide for the production of high-strength concrete. *Beton i Zhelezobeton*. 2012. No. 5, pp. 8–9. (In Russian).
 30. Patent RF 2110495. *Sposob prigotovleniya kompleksnoi dobavki Siligran-2 dlya tsementnykh stroitel'nykh smesei* [A method for preparing a complex additive SILIGRAN-2 for cement building mixtures]. Frumin D.A. Declared 03.20.1996. Published 05.10.1998. (In Russian).
 31. Jonkers H.M., Schlangen E. Development of a bacteria-based self-healing concrete. *Tailor Made Concrete Structures*. Walraven & Stoelhorst (eds), Taylor & Francis Group, London. 2008, pp. 425–430.
 32. Polak A.F. *Fiziko-khimicheskie osnovy korrozii zhelezobetona* [Physicochemical basis of corrosion of reinforced concrete]. Ufa: UNI. 1982. 73 p.
 33. Selyaev V.P., Sedova A.A., Kupriyashkina L.I., Osipov A.K. Influence of the concentration of phosphoric acid and the degree of filling of the zeolite-bearing rock on the strength of the cement stone. *Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo*. 2015. No. 8, pp. 13–20. (In Russian).
 34. Berdov G.I., Vinogradov S.A., Mashkin A.N., Khritankov V.F. Dielectric analysis of the effect of electrolyte solution on the properties of cement materials. *Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo*. 2015. No. 8, pp. 21–24. (In Russian).
 35. Leonovich S.N., Prasol A.V. Reinforced concrete in conditions of chloride corrosion: deformation and destruction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 94–95. (In Russian).
 36. Moskvina V.M., Royak G.S. *Korroziya betona pri deistvii shchelochey tsementa na kremnezem zapolnitelya* [Corrosion of concrete during the action of alkalis of cement on aggregate silica]. Moscow: Gosstroyizdat. 1962. 247 p.
 37. Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Karavaev I.V., Loginova S.A. The influence of aggressive environments on the change of structural-phase composition of cement concrete and their strength characteristics. *Information environment of the University: materials of the XXIII International scientific and technical conference*. Ivanovo: ISPU. 2016, pp. 372–376. (In Russian).
 38. Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Karavaev I.V., Loginova S.A. Change of strength characteristics of concrete with water-repellent additives at the liquid corrosion of the II type. *Modern trends in the development of science and technologies*. 2016. No. 4–3, pp. 104–107. (In Russian).
 39. Kuznetsova I.N., Kosach A.F., Rashchupkina M.A., Gutareva N.A. Influence of the main minerals of cement stone on its structure and properties. *Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo*. 2015. No. 8, pp. 25–32. (In Russian).
 40. Ryzhikov N.I., Mikhailov D.N., Shakov V.V. A method for calculating porosity distribution profiles and volume fractions of materials in a porous medium by analyzing X-ray microtomography data. *Trudy MFTI*. 2013. Vol. 5. No. 4 (20), pp. 161–169. (In Russian).
 41. Al-Abduwani F.A.H., Farajzadeh R., Van den Broek W.M.G.T., Currie P.K., Zitha P.L.J. Filtration of micron-sized particles in granular media revealed by x-ray computed tomography. *Review of Scientific Instruments*. 2005. Vol. 76. doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2103467>
 42. De Zwart A.H. Experiment and theoretical investigation of clogging processes near production wells using X-ray Tomography. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. 21–24 September 2008. Denver, Colorado, USA. <https://doi.org/10.2118/116411-MS>
 43. Nikitina L.V., Larionova Z.M., Lapshina A.M. Phase transformations of ettringite in expanding systems. *Physicochemical Studies of Concretes and their Constituents Proceedings of NIIZhB*. Moscow. 1975. No. 17, pp. 39–55. (In Russian).

- Вестник Белорусского национального технического университета*. 2009. № 3. С. 5–23.
45. Леонович С.Н., Гуринович В.Ю., Бураков В.С., Райков С.Н. Спектральный анализ минералогического состава цемента // *Технологии бетонов*. 2009. № 6. С. 46–47.
 46. Бутт Ю.М., Окорочков С.Д., Сычев М.М., Тимашев В.В. Технология вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1965. 620 с.
 47. Коновалова В.С., Караваев И.В., Логинова С.А. Рентгенографический анализ цементного камня // *Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК-2016): Сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов с международным участием*. Иваново, 2016. С. 98–99.
 48. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М. Термодинамический анализ кислотной коррозии // *Научно-практическая конференция, посвященная 85-летию Ю.М. Баженова: Сборник материалов конференции*. Белгород, 2015. С. 549–552.
 49. Полак А.Ф. Основы моделирования коррозии железобетона. Уфа: УНИ, 1982. 73 с.
 50. Ключева Н.В., Андросова Н.Б., Губанова М.С. Критерий прочности коррозионно повреждаемого бетона при сложном напряженном состоянии // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2015. № 1. С. 38–42.
 51. Klueva N.V., Emelyanov S.A., Kolchunov V.I. Criterion of crack resistance of corrosion damaged concrete in plane stress state // *Procedia Engineering*. 2015. No. 117 (1), pp. 179–185.
 52. Гусев Б.В., Файвусович А.С., Степанова В.Ф., Розенталь Н.К. Математические модели процессов коррозии бетона. М.: ТИМР, 1996. 104 с.
 44. Zhdanok S.A., Khrustalev B.M., Batyanovskii E.I., Leonovich S.N. Nanotechnologies in Building Materials Science: Reality and Prospects. *Vestnik Belorusskogo Natsional'nogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2009. No. 3, pp. 5–23. (In Russian).
 45. Leonovich S.N., Gurinovich V.Yu., Burakov V.S., Raitkov S.N. Spectral analysis of mineralogical composition of cement. *Tekhnologii Betonov*. 2009. No. 6, pp. 46–47. (In Russian).
 46. Butt Yu.M., Okorokov S.D., Sychev M.M., Timashev V.V. *Tekhnologiya vyazhushchikh veshchestv* [Technology of binders]. Moscow: Vysshaya shkola. 1965. 620 p.
 47. Konovalova V.S., Karavaev I.V., Loginova S.A. X-ray analysis of cement stone. *Young scientists – development of textile-industrial cluster (SEARCH-2016): a collection of materials of the interuniversity scientific-technical conference of post-graduate students and students with international participation*. Ivanovo. 2016, pp. 98–99. (In Russian).
 48. Rakhimbaev Sh.M., Tolypin NM Thermodynamic analysis of acid corrosion. *Scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of Bazhenov Yu.M.: the collection of conference materials*. Belgorod. 2015, pp. 549–552. (In Russian).
 49. Polak A.F. Osnovy modelirovaniya korrozii zhelezobetona [Basics of modeling the corrosion of reinforced concrete]. Ufa: UNI. 1986. 69 p.
 50. Klyueva N.V., Androsova N.B., Gubanova M.S. Criterion of strength of corrosion damaged concrete under complex stress state. *Stroitel'naya Mekhanika Inzhenerykh Konstruktsii i Sooruzhenii*. 2015. No. 1, pp. 38–42. (In Russian).
 51. Klueva N.V., Emelyanov S.A., Kolchunov V.I. Criterion of crack resistance of corrosion damaged concrete in plane stress state. *Procedia Engineering*. 2015. No. 117 (1), pp. 179–185.
 52. Gusev B.V., Faivusovich A.S., Stepanova V.F., Rozental' N.K. *Matematicheskie modeli protsessov korrozii betona* [Mathematical models of processes of corrosion of concrete]. Moscow: TIMR. 1996. 104 p.



**20–21
сентября
2018 г.**

**Республика Беларусь
г. Минск**

**Оргкомитет:
140050, Московская обл.,
п. Красково,
ул. К. Маркса, д. 117,
РГА**

**Телефон:
+7 8-916-501-36-56**

**E-mail: rga-service@mail.ru
www.rosgps.ru**

**Российская гипсовая ассоциация
Московский государственный строительный университет
Научно-исследовательский институт строительной физики**

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

Тематика конференции:

- технический прогресс в области гипсовых материалов и изделий (исследования, производство и применение)
- ангидритовые вяжущие
- гипсовые материалы в малоэтажном строительстве
- привлекательность и механизмы инноваций в гипсовой отрасли
- современное оборудование для производства гипсовых вяжущих, материалов и изделий на их основе
- лаборатории, менеджмент качества, экологический менеджмент и их роль в обеспечении качества и долговечности гипсовых материалов
- нормативно-техническая документация в соответствии с современными требованиями
- обучение и переподготовка специалистов в области производства и применения гипсовых материалов и изделий

Генеральный информационный спонсор: журнал 

Уверенность в будущем обеспечивается в настоящее время



Ставка на сборные железобетонные элементы

Переход от традиционного строительства к строительству из сборного железобетона

Основными принципами коммерческой деятельности компании Gamuda (Малайзия) являются качество, устойчивое развитие и эффективное строительство. Поэтому инвестиция в современную технологию производства сборных железобетонных элементов стала для этого ведущего малайзийского предприятия по подготовке территорий и развитию инженерной инфраструктуры необходимым шагом. В 2016 г. начал свою работу построенный «под ключ» новый завод по производству сборных железобетонных изделий недалеко от Куала-Лумпура. Тем самым предприятие осуществило успешный переход от традиционных методов строительства к перспективным технологиям строительства из сборного железобетона.

Более 2000 квартир в год

Целью компании Gamuda было наладить на новом заводе производство массивных стен и перекрытий. Это должно было позволить существенно сократить сроки строительства и гарантировать постоянно высокое качество. Совместно с компанией EBAWE Anlagentechnik был реализован проект по установке линии циркуляции паллет, позволяющей ежегодно производить до 1 000 000 м² элементов стен и перекрытий.

Эффективность благодаря автоматизации

Интегрированные программные решения, интеллектуальные системы управления оборудованием, логистические системы и роботы обе-

спечивают высокую степень автоматизации производственного процесса на новой линии. Таким образом были сведены к минимуму потенциальные причины брака и одновременно возросли производительность и качество.

Так операции установки опалубки и распалубки полностью выполняются опалубочно-распалубочным роботом Form Master. Производство арматуры также осуществляется по принципу наибольшей эффективности: сварка арматурной сетки производится по индивидуальным параметрам с помощью установки M-System BlueMesh, после чего сетка автоматически укладывается на паллету. Благодаря установке для сварки решетчатых ферм VGA и скобо-гибочному автомату EBA S компания Gamuda в состоянии самостоятельно изготавливать всю необходимую арматуру в оперативном режиме.

Установленный в линии циркуляции автоматический бетонораздатчик увеличивает эффективность производства, обеспечивая целенаправленное и равномерное бетонирование. После уплотнения, чистового заглаживания и отверждения готовые элементы снимаются с паллет и помещаются на склад.

Индивидуальные железобетонные элементы наивысшего качества

Первый проект – 20-этажный жилой комплекс Jade Hills — уже построен. Теперь с помощью новой линии циркуляции паллет компания Gamuda способна производить сборные элементы для множества будущих проектов в полном соответствии со своим девизом «Качество превыше эстетики».





Бум индивидуального жилищного строительства

Высокая степень автоматизации, стандартизации и гибкости

Голландская компания Geelen Beton (Нидерланды), традиционно специализирующаяся на производстве ЖБИ и уже достаточно долгое время концентрирующаяся на изготовлении элементов для крупных инфраструктурных проектов, выпускает на своих двух заводах массивные стены, элементы перекрытий и изолированные потолки. Наблюдая существенное усиление тенденции к использованию сборных железобетонных элементов в секторе индивидуального жилищного строительства в последние годы, компания приняла решение о строительстве новой линии циркуляции паллет в городе Ванссум. В производстве необходимо было учесть современные требования, а именно высокую степень автоматизации, стандартизации и гибкости.

Фактор успеха — полностью автоматизированная опалубка и комбинированная опалубочная система

Ключевую роль в этом стандартизованном и одновременно гибком процессе производства играют опалубочно-распалубочный робот Form Master и комбинированная опалубочная система Infinity Line®. Система Infinity Line® позволяет оптимально комбинировать

опалубочные профили различной длины, что дает возможность свести к минимуму их необходимое количество. Управление всей линией осуществляется в системе ebos®.

Компания Geelen Beton не раз успешно сотрудничала с компанией Progress Maschinen & Automation. Последний совместный проект с EBAAWE Anlagentechnik также получил высокую оценку: «Сотрудничать с группой компаний PROGRESS GROUP с самого начала было очень легко», — комментирует технический директор компании Нильс ван дер Хульст. «Специалисты группы отлично понимают, чего мы хотим и в чем нуждаемся»



Инвестиции в производство сборных железобетонных элементов

Высокие требования к качеству — причина модернизации

Компания Prefaco (Бельгия), являющаяся частью подразделения CRH Structural Concrete Belgium, производит широкий ассортимент железобетонных изделий и относится к крупнейшим производителям сборных железобетонных элементов на бельгийском рынке. На четырех производствах компании изготавливаются преднапряженные элементы перекрытий, сборные перекрытия, двойные и массивные стены, конструктивные железобетонные элементы и известково-песчаный кирпич.

По причине бума, который в последние годы переживает технология строительства из сборного железобетона в странах Бенилюкса, компания Prefaco решила модернизировать свою линию циркуляции паллет на производстве в городке Визе (Леббеке) в провинции

Восточная Фландрия. «Наш центральный управляющий компьютер безнадежно устарел, циркуляция была не автоматизирована, а укладку профилей приходилось выполнять вручную. Все это влияло на качество конечной продукции. Чтобы соответствовать современным требованиям к качеству, были необходимы инвестиции», — объясняет Жан Пьер Ван Рентергхем, руководитель проектов компании Prefaco.

«Пакет автоматизации»

Достигнуть этих целей помог «Пакет автоматизации», включающий в себя опалубочно-распалубочный робот Form Master, комбинированную опалубочную систему Infinity Line® и систему управления ebos®. «Благодаря системе Infinity Line® наши элементы теперь имеют идеальные внешние кромки, одновременно мы смогли значительно снизить использование полистироловых заполняющих элементов», — с удовлетворением отмечает Жан Пьер Ван Рентергхем. По его словам, модернизированное производство также позволяет экономить значительные объемы средств.



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

К.Б. САФАРОВ¹, инженер (sk90@mail.ru); В.Ф. СТЕПАНОВА², д-р техн. наук (vfstepanova@mail.ru); В.Р. ФАЛИКМАН^{1,2}, д-р материаловедения (vfalikman@yandex.ru)

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

² Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева (109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., 6, корп. 5)

Влияние механоактивированной низкокальциевой золы-уноса на коррозионную стойкость гидротехнических бетонов Рогунской ГЭС

Известно, что введение в состав бетона активных минеральных добавок, таких как микрокремнезем, зола-уноса, доменный шлак, снижают расширение бетона, вызванное проявлением реакционной способности заполнителей и сульфатной коррозией, однако механизм данного процесса остается до конца не исследованным. В работе проведено исследование влияния низкокальциевой золы-уноса на процессы одновременного протекания щелочной реакции заполнителей и сульфатной коррозии бетона. Изучены возможности механоактивации низкокальциевой золы-уноса для повышения ее активности. Показано, что прочность образцов цементно-песчаных растворов с 20% механоактивированной золы-уноса превышает прочности образцов без золы и образцов с 20% исходной золы на 18 и 21% соответственно, значительно повышая в то же время коррозионную стойкость бетона. Достаточно подробно описаны разнообразные приемы активации минеральных добавок при различных воздействиях.

Ключевые слова: бетон, реакционная способность заполнителей, сульфатная коррозия, низкокальциевая зола-уноса, механоактивация.

Для цитирования: Сафаров К.Б., Степанова В.Ф., Фаликман В.Р. Влияние механоактивированной низкокальциевой золы-уноса на коррозионную стойкость гидротехнических бетонов Рогунской ГЭС // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 20–24.

K.B. SAFAROV¹, Engineer (sk90@mail.ru); V.F. STEPANOVA², Doctor of Science (Engineering) (vfstepanova@mail.ru); V.R. FALIKMAN^{1,2}, Doctor of Materials Science (vfalikman@yandex.ru)

¹ Moscow state university of civil engineering (National Research University) (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

² Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (6/5, Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Effect of Mechanical Activated Low-Calcium Fly Ash on Corrosion Resistance of Hydrotechnical Concretes of the Rogun Hydropower Plant

It is known that the introduction of active mineral additives, as microsilica, fly ash, and furnace slag, reduces the growth of concrete caused by the manifestation of reactivity of fillers and sulfate corrosion, however the mechanism of this process remains not to be fully explored. The research in the effect of the low-calcium fly ash on the processes of simultaneous proceeding of the alkaline reaction of fillers and sulfate corrosion of concrete has been conducted. Possibilities of mechanical activation of the low calcium fly ash to enhance its activity were studied. It is shown that the strength of samples of cement-sand mortar with 20% of mechanical activated fly ash exceeds the strength of samples without ash and samples with 20% of initial ash by 18 and 21% and at the same time significantly improves the concrete corrosion resistance. Various methods for the activation of mineral additives under different impacts are described in sufficient details.

Keywords: concrete, reaction ability of fillers, sulfate corrosion, low-calcium fly ash mechanical activation.

For citation: Safarov K.B., Stepanova V.F., Falikman V.R. Effect of mechanical activated low-calcium fly ash on corrosion resistance of hydrotechnical concretes of the Rogun hydropower plant. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 20–24. (In Russian).

В начале 70-х гг. XX в. Госстроем СССР был утвержден технический проект строительства в Таджикистане на реке Вахш Рогунской ГЭС. Однако в силу ряда факторов после распада Советского Союза строительство ГЭС было законсервировано. В мае 1993 г. мощным паводковым потоком был нанесен разрушительный урон имевшимся строениям и конструкциям — верховая строительная перемычка размыва, тоннели и машинный зал частично затоплены. В 2004 г. правительством Таджикистана было принято решение о достройке данного объекта (https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B3%D1%83%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%93%D0%AD%D0%A1).

Рогунская гидроэлектростанция входит в состав Вахшского каскада, являясь его верхней ступенью. Согласно проекту она представляет собой ГЭС приплотинного типа с высотной (335 м) каменно-набросной плотиной. В состав станции входят строительные и эксплуатационные тоннели общей протяженностью 80 км, здание ГЭС, включающее подземную инфраструктуру, машинный зал и трансформаторное помещение.

Проектная мощность ГЭС — 3600 МВт, среднегодовая выработка — 17,1 млрд кВт·ч. В здании ГЭС будут установлены шесть радиально-осевых гидроагрегатов мощностью по 600 МВт. Плотина ГЭС должна образовать крупное Рогунское водохранилище полным объемом 13,3 км³ и полезным объемом 10,3 км³. Водоохранилище планируется использовать как в энергетических, так и в ирригационных целях на засушливых землях площадью более 300 тыс. га. По завершении проекта плотина ГЭС станет самой высокой в мире (рис. 1, 2).

Как это свойственно большинству гидротехнических сооружений, бетонные конструкции Рогунской ГЭС одновременно подвергаются нескольким видам коррозии. Так, например, по дну реки проходит разлом, заполненный галитом NaCl. Подземные воды имеют высокое содержание сульфатов (свыше 34000 мг/л). При этом створ плотины находится в зоне высокой сейсмичности, где небольшие землетрясения происходят ежемесячно.

В строительстве Рогунской ГЭС для приготовления бетонной смеси используются заполнители, изготов-



Рис. 1. Селезашчинская плотина «Сай Оби Шур» – одно из гидротехнических сооружений Рогунской ГЭС. Согласно проекту на ее возведение израсходовано 250 тыс. м³ бетонной смеси



Рис. 2. Оголовки строительно-отводящих туннелей СТ-1 и СТ-2, подпорные стены и временный водоприемник Рогунской ГЭС. Данные объекты являются гидротехническими сооружениями подводного и переменного уровней воды

ленные из местных горных пород. Эти заполнители содержат 40% песчаника, 20% гранита, 20% известняка и 20% амфиболита, сланцев, алевролитов и других потенциально реакционноспособных минералов [1]. Общий используемый в строительстве объем бетона и железобетона составляет более 2 млн м³, в том числе в гидротехнических сооружениях – более 1 млн м³.

Возобновление строительства при участии Всемирного банка потребовало проведение экспертиз, включая анализ состояния ранее возведенных конструкций. Как установлено, в подземных гидротехнических сооружениях Рогунской ГЭС повреждениям подверглось множество железобетонных конструкций, в основном стен гидравлических водоводов и транспортных туннелей [2]. Результаты фазового и поэлементного анализа состава отобранных образцов бетона из кернов показали, что в структуре содержатся этрингит и таумасит, что свидетельствует о протекании процесса сульфатной коррозии.

Одновременно были исследованы шлифы и аншлифы, изготовленные из кернов бетонов, отобранных из подземных железобетонных конструкций гидротехнических сооружений Рогунской ГЭС, возведенных в период с 1985 по 1990 г. На микрофотографиях, полученных с помощью оптического и электронного сканирующего микроскопа, видны признаки щелочной коррозии. О протекании щелочесиликатных реакций свидетельствует наличие характерных трещин, направленных радиально от зерен заполнителя в глубь растворной части, а также трещин, пронизывающих саму частицу заполнителя. Трещины заполнены гелеобразным продуктом реакции. Присутствие характерной каемки из продуктов реакции [C-(N+K)-S-H гидрогеля] вокруг зерен свидетельствует о высокой активности реакционноспособного заполнителя.

Все вышеописанное предопределяет необходимость постановки и проведения исследований, направленных на обеспечение жизненного цикла уникального гидротехнического сооружения. Изыскание новых эффективных путей одновременного регулирования реакционной способности заполнителей и повышения сульфатостойкости бетона становится одной из важнейших научно-исследовательских и практических задач, которые предстоит решить для повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций.

Известно, что введение в состав бетона активных минеральных добавок, таких как микрокремнезем, зола-уноса, доменный шлак, снижает расширение бетона, вызванное проявлением реакционной способности заполнителей и сульфатной коррозией [3, 4], однако меха-

Таблица 1

Цемент	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	R ₂ O
PC400 D0 (CEM I 42,5Н)	52,82	22,7	3,33	14,62	0,83

Таблица 2

Показатель	Ед. изм.	Значение
Истинная плотность	г/см ³	0,77
Насыпная плотность	г/см ³	2,04
Удельная поверхность	см ² /г	9500
SiO ₂	%	53,82
Al ₂ O ₃	%	22,56
Fe ₂ O ₃	%	4,48
TiO ₂	%	0,01
CaO	%	2
MgO	%	2,45
Na ₂ O	%	0
K ₂ O	%	0
SO ₃	%	0
ППП	%	0,9

Таблица 3

Размеры частиц, мкм	Содержание частиц, %	
	Исходная зола-уноса	Механоактивированная зола-уноса
0,1	0	0,2
0,2	0,2	0,3
0,4	1	1,4
0,7	2,6	7,8
1	4,3	17,9
2,5	11,4	51,4
4	17,5	66,4
8	29,3	80,7
15	42,9	94,5
30	59,5	100
55	78,3	100
100	97,8	100
105	100	100

Таблица 4

Расход материалов					Результаты испытаний			
Цемент, г	Вода, мл	Песок, г	Зола-уноса, г	Механоактивированная зола-уноса, г	Расплав конуса, мм	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте		
						3 сут	7 сут	28 сут
500	190	1500	–	–	114	23	31	49,8
400	190	1500	100	–	112	21,7	30,1	48,7
400	190	1500	–	100	114	27	34	58,9
350	190	1500	150	–	113	22,6	29,9	48,8
350	190	1500	–	150	114	26,3	34,9	55,1

низм данного процесса остается до конца не исследованным [5]. Ранее авторами было изучено влияние низкокальциевой золы-уноса на процессы одновременного протекания щелочной коррозии заполнителей и сульфатной коррозии [6]. Исследованная низкокальциевая зола-уноса не обладала выраженной гидравлической активностью, и ее применение в количествах от 20 до 30% массы цемента хотя и подавляет щелочную и сульфатную коррозию, но снижает конечную прочность бетона.

В литературе достаточно подробно описаны разнообразные приемы активации минеральных добавок при различных воздействиях [7, 8]. В связи с этим представляется целесообразным изучить возможности механоактивации низкокальциевой золы-уноса для повышения ее активности и обеспечения необходимой прочности бетона.

Оценку реакционной способности заполнителей проводили в соответствии с ГОСТ 8269.0–97. Сульфатостойкость растворных и бетонных образцов оценивали по ASTM C1012 [9].

В испытаниях использовали сульфатостойкий портландцемент ССПЦ М400 (ЦЕМ I СС 42,5Н), $C_3A < 3,5\%$, производства Таджикского цементного завода, предусмотренный проектом строительства. Минералогический состав цемента, рассчитанный по методу Р.Х. Богга, представлен в табл. 1.

Песок и щебень, приготовленные дроблением и рассевом местных горных пород, отбирали из складов стройплощадки Рогунской ГЭС по паспортам происхождения.

Зола-уноса завозится на стройплощадку с Варзобской ТЭС (г. Душанбе) и является низкокальциевой ($CaO < 10\%$). Технические характеристики использованной золы-уноса приведены в табл. 2.

Механическая активация золы-уноса была выполнена на лабораторной дисковой мельнице RetschRS200, которая выполняет помол твердых частиц методом истирания и доводит размеры измельченных частиц от 100 до 0,1 мкм.

Определение гранулометрического состава золы-уноса до и после механоактивации было выполнено с помощью лазерного гранулометра Analyzette-22NanoTech. Результаты приведены в табл. 3 и на рис. 3.

С целью определения влияния активации золы-уноса до и после измельчения на прочность были изготовлены образцы мелкозернистого бетона с одинаковым В/В и степенью замещения цемента 20 и 30%. Из каждого замеса было изготовлено девять образцов-призм, по три образца на каждый срок испытания – 3, 7 и 28 сут. Составы и результаты испытаний образцов на прочность при сжатии приведены в табл. 4.

Определение реакционной способности заполнителей при использовании измельченной золы-уноса было выполнено ускоренным методом путем измерения деформаций растворных образцов согласно ГОСТ 8269.0–97, п. 4.22. С этой целью были изготовлены образцы цементно-песчаных и цементно-золяно-песчаных раство-

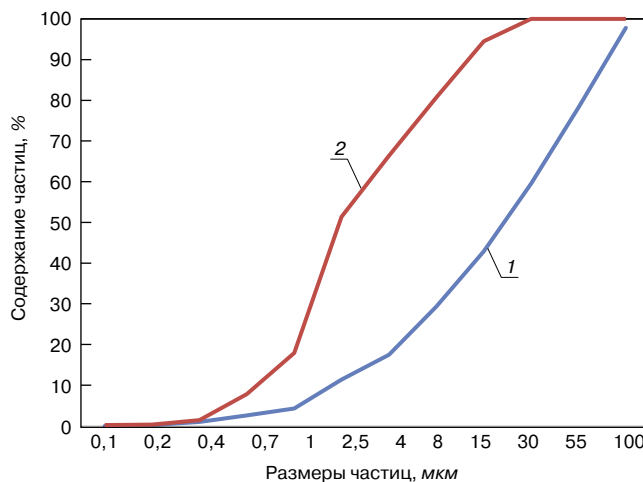


Рис. 3. Гранулометрический состав золы-уноса до и после механоактивации: 1 – исходная; 2 – измельченная

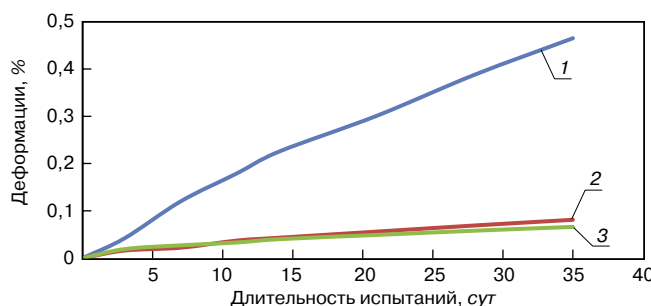


Рис. 4. Влияние механоактивированной золы-уноса на реакционную способность заполнителей: 1 – контрольный; 2 – 20% добавки; 3 – 30% добавки

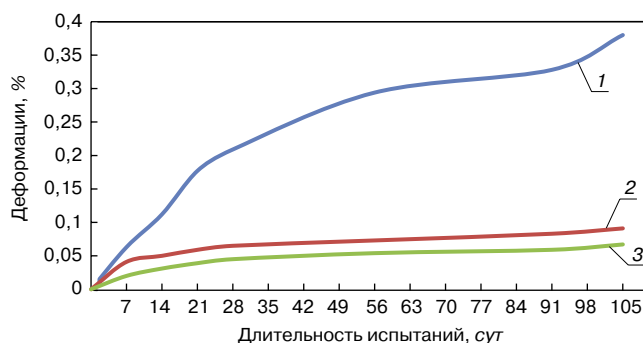


Рис. 5. Влияние механоактивированной золы-уноса на сульфатостойкость бетона: 1 – контрольный; 2 – 20% добавки; 3 – 30% добавки

ров трех составов, в двух из которых 20 и 30% цемента заменены измельченной золой-уноса. Составы растворов и результаты измерения деформаций образцов приведены в табл. 5. и на рис. 4.

Таблица 5

Материалы	Составы		
	Контрольный	20% механоактивированной золы-уноса	30% механоактивированной золы-уноса
Цемент, г	500	400	350
Песок, г	1500	1500	1500
Вода, мл	190	190	190
Зола-уноса, г	–	100	150
Длительность испытания, сут	Деформации растворных балочек, %		
1	0,042	0,016	0,019
3	0,12	0,022	0,027
7	0,179	0,037	0,033
11	0,225	0,043	0,04
14	0,301	0,056	0,049
28	0,388	0,069	0,058
35	0,465	0,081	0,066

Таблица 6

Материалы	Составы		
	Контрольный	20% механоактивированной золы-уноса	30% механоактивированной золы-уноса
Цемент, г	500	400	350
Песок, г	1500	1500	1500
Вода, мл	190	190	190
Зола-уноса, г	–	100	150
Длительность испытания, сут	Деформации растворных балочек, %		
7	0,063	0,041	0,02
14	0,112	0,05	0,031
21	0,177	0,059	0,039
28	0,209	0,065	0,045
56	0,294	0,073	0,054
91	0,328	0,083	0,059
105	0,38	0,091	0,067



Рис. 6. Строительно-эксплуатационный туннель СТ-3 Рогунской ГЭС. Расположен на правом берегу гидроузла. Пропускная способность 3,5 тыс м³/с; протяженность 1750 м; внутренний диаметр 15 м. В составе бетона конструктивной отделки данного сооружения применена низкокальциевая зола-уноса

Влияние измельченной золы-уноса на сульфатостойкость бетона определяли ускоренным методом согласно ASTM C1012 (Стандартный метод испытаний для оценки изменения длины образцов растворов на основе гидравлических цементов при воздействии сульфатного

раствора www.astm.org). Для этого были изготовлены образцы из трех цементно-песчаных растворов, в двух из которых 20 и 30% цемента заменены измельченной золой-уноса. Составы растворов и результаты измерения деформаций образцов приведены в табл. 6. и на рис. 5.

По результатам испытаний прочность образцов цементно-песчаных растворов с 20% измельченной золы-уноса превышает прочности образцов без золы и образцов с 20% исходной золы на 18 и 21% соответственно. Прочность образцов с 30% измельченной золы-уноса в свою очередь, превышает прочности образцов без золы и образцов с 30% исходной золы на 11 и 13% соответственно.

Действительно, как показано в [10], механоактивация золы, с одной стороны, повышает гидравлическую активность минеральной добавки, а с другой — усиливает в цементной системе так называемый эффект микро-наполнителя, а также зародышеобразование гидросиликатных фаз, что и обеспечивает указанное повышение прочности.

Относительные деформации образцов цементно-золыно-песчаных растворов с активированной золой, измеренные с целью выявления щелочной коррозии заполнителя в течение месяца, на порядок ниже, чем деформации цементно-песчаных образцов. В то же время среднее относительное удлинение образцов без применения золы заметно превышает допустимые нормы ($\epsilon_{cp} < 0,1\%$).

Список литературы

1. Сафаров К.Б. Применение реакционноспособных заполнителей для получения бетонов, стойких в агрессивных средах // *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 17–20.
2. Фаликман В.Р., Сафаров К.Б., Степанова В.Ф. Высокоэффективные бетоны для гидротехнических сооружений с применением реакционноспособных заполнителей // *ICACMS-2017 Proceedings*. ИТ Madras, Chennai, India (в печати).
3. Pan J.W., Feng Y.T., Wang J.T., Sun Q.C., Zhang C.H., Owen D.R.J. Modeling of alkali-silica reaction in concrete: a review // *Frontier of Structural Civil Engineering*. 2012. Vol. 6. Iss. 1, pp. 1–18.
4. Thomas M.D.A. The effect of supplementary cementing materials on alkali-silica reaction: A review // *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. Iss. 12, pp. 1224–1231
5. Розенталь Н.К., Розенталь А.Н., Любарская Г.В. Коррозия бетона при взаимодействии щелочей с диоксидом кремния заполнителя // *Бетон и железобетон*. 2012. № 1. С. 50–60.
6. Сафаров К.Б., Степанова В.Ф. Регулирование реакционной способности заполнителей и повышение сульфатостойкости бетонов путем совместного применения низкокальциевой золы-уноса и высокоактивного метаксаолина // *Строительные материалы*. 2016. № 5. С. 70–73.
7. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А. *Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона: Монография*. Брянск: Изд-во БГИТА, 2013. 231 с.
8. Сорвачева Ю.А. Влияние нанокремнезема на кинетику протекания щелочной коррозии бетона // *Известия ПГУПС*. 2014. № 2. С. 118–123.
9. Розенталь Н.К., Любарская Г.В., Розенталь А.Н. Испытания бетона с реакционноспособными заполнителями // *Бетон и железобетон*. 2014. № 5. С. 24–29.
10. Alderete N.M., Villagran Zaccardi Yu.A., Coelho Dos Santos G.S., De Belie N. Particle size distribution and specific surface area of scm's compared through experimental techniques // *International RILEM Conference Materials Systems and Structures in Civil Engineering 2016 (MSSCE 2016) on Concrete with Supplementary Cementitious Materials*. 2016. 470 p.

Деформации контрольных образцов и образцов с применением механоактивированной золы в сульфатной среде за три месяца наблюдений не превышают пределы допустимого значения 0,1% и развиваются в пределах нормы.

Все это свидетельствует о том, что механоактивированная низкокальциевая зола-уноса наравне с другими активными минеральными добавками (тонкомолотым гранулированным шлаком, микрокремнеземом, метаксаолином и др.) может быть с успехом использована для уменьшения щелочной реакции заполнителя в бетоне с одновременным повышением его сульфатостойкости (рис. 6).

Выводы.

Выявлено, что при измельчении золы-уноса происходит ее активация за счет увеличения удельной поверхности частиц, а ее применение в количестве 20% от массы цемента повышает прочность бетона на 20% по сравнению с исходной золой.

Путем измерения деформаций растворных балочек установлено, что замещение цемента механоактивированной золой-уноса заметно снижает реакционную способность заполнителей и сульфатную коррозию бетона.

References

1. Safarov K.B. The use alkali-silica aggregates for producing corrosion resistant concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 7, pp. 17–21. (In Russian).
2. Falikman V.R., Safarov K.B., Stepanova V.F. High performance concrete for hydraulic engineering projects with aggregates presenting an AAR hazard. *ICACMS-2017 Proceedings*, ИТ Madras, Chennai, India (with print status).
3. Pan J.W., Feng Y.T., Wang J.T., Sun Q.C., Zhang C.H., Owen D.R.J. Modeling of alkali-silica reaction in concrete: a review. *Frontier of Structural Civil Engineering*. 2012. Vol. 6. Iss. 1, pp. 1–18.
4. Thomas M.D.A. The effect of supplementary cementing materials on alkali-silica reaction: A review. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. Iss. 12, pp. 1224–1231.
5. Rozental N.K., Lyubarskaya G.V. Corrosion of concrete during the interaction of alkalis with silica in aggregates. *Beton i Zhelezobeton*. 2012. No. 1, pp. 50–60. (In Russian).
6. Safarov K.B., Stepanova V.F. Regulation of reaction capacity of aggregates and increasing sulfate resistance of concretes by combined use of low-calcium fly-ash and high-active metakaolin. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 5, pp. 70–73. (In Russian).
7. Lukutsova N.P., Pikin A.A. Teoreticheskiye i tehnologicheskiye aspekti polucheniya mikro- i nanodispersnih dobavok na osnove shungitosoderzhashih porod dlya betonov. [Theoretical and technological aspects of producing micro- and nanodispersial additives based on shungite-containing minerals for concrete]. Bryansk: Izdatelstvo BGITA. 2013. 231 p.
8. Sorvacheva Y.A. Influence of nano-silicon on kinetics of alkaline corrosion of concrete. *Izvestiya of Petersburg State Transport University*. 2014. No. 2, pp. 118–123. (In Russian).
9. Rosental N.K., Lyubarskaya, G.V., Rosental A.N. Test of concrete with reactive aggregates. *Beton i Zhelezobeton*. 2014. No. 5, pp. 24–29. (In Russian).
10. Alderete N.M., Villagran Zaccardi Yu.A., Coelho Dos Santos G.S., De Belie N. Particle size distribution and specific surface area of scm's compared through experimental techniques. *International RILEM Conference Materials Systems and Structures in Civil Engineering 2016 (MSSCE 2016) on Concrete with Supplementary Cementitious Materials*. 2016. 470 p.



«Кирпичный наряд Невского проспекта» — новая книга Всеволода Инчика

Санкт-Петербург, 2016. —180 с.: ил.

ISBN 978-5-9907396-2-8

Новая книга «Кирпичный наряд Невского проспекта» знакомит читателя с историей возникновения Невского проспекта, технологией строительства и технологией производства кирпича в XVIII–XIX вв. В ней рассказывается о 116 домах главной городской магистрали и образцах керамического кирпича, которые использовались при возведении зданий. Выпуску издания предшествовал долгий научно-исследовательский и творческий путь. Более сорока лет Всеволод Владимирович Инчик профессионально занимался изучением истории кирпичного производства в Санкт-Петербургской губернии, анализировал состояние кирпичных конструкций зданий, сооружений и памятников. Проведенные работы позволили не только оценить состояние стеновой керамики визуально, но также определить их важнейшие физико-механические свойства: прочность при сжатии и изгибе,

водопоглощение, морозостойкость и т. д. Было установлено, что кирпичи, выпущенные на разных заводах, особенно в XVIII в., отличались между собой по прочности, геометрии и габаритам. Большим подспорьем в научной работе стала уникальная коллекция кирпичей В.В. Инчика.

Первый петербургский кирпич попал в руки Всеволода Владимировича случайно и при весьма драматичных обстоятельствах. В апреле 1942 г. маленький Воля Инчик вернулся домой из блокадного госпиталя, где проходил лечение от дистрофии, и обнаружил завал на кухне, куда попал артиллерийский снаряд, разрушивший часть стены. Именно в куче строительных обломков был найден кирпич с клеймом «Я. ЕЛИСЕЕВЪ». Находка очень заинтересовала мальчика, в результате чего возникла идея собирать подобные материалы. Отыскивать их в осажденном, постоянно подвергающемся бомбежкам и артобстрелам городе не составляло труда: достаточно было обходить близлежащие улицы, на каждой из которых стояли разрушенные дома. С тех пор вот уже более 60 лет коллекция В.В. Инчика регулярно пополняется и в настоящее время представляет большую научную ценность.

Книгу «Кирпичный наряд Невского проспекта» было решено издать в виде альбома. Помимо литературно-исторического он включает большой объем справочного материала. В книге освещены вопросы технологии строительства кирпичных сооружений петербургских зданий, представлена информация о кирпичных заводах, поставлявших кирпич для застройки Невского проспекта.

Для большинства жителей и гостей Санкт-Петербурга Невский проспект стал его полноправным символом, увековеченным в произведениях изобразительного, литературного, музыкального искусства. Но, проходя или проезжая по Невской «перспективе», мы не задаемся вопросом о том, как возводились, функционировали, перестраивались, а порой, увы, погибали (чтобы возродиться в том же самом или ином облике) здания, составившие во многом уникальное архитектурное обрамление Невского проспекта. Профессор СПбГАСУ, д-р техн. наук Всеволод Владимирович Инчик предлагает читателям совершить своеобразный экскурс в необычную, непривычную и на первый взгляд весьма специфическую для неспециалиста историю Невского как истории кирпича. А точнее, кирпичного строительства и технологии возведения зданий, многие из которых являются памятниками истории и архитектуры.

Не случайно уже с первых страниц книги история «кирпичного наряда» Невского проспекта предстает как череда увлекательных и значительных событий, связанных в том числе и с одной из самых героических и трагичных страниц истории нашего города – Ленинградской блокадой.

Однако на страницах книги в самой манере изложения разнообразных исторических фактов и сведений технического характера сохранилась та радость открытия совершенно нового и увлекательного материала, которая в биографии Всеволода Инчика когда-то оказалась сопряженной с трагедией блокады. Не случайно книга открывается фрагментом из повести «Невский проспект» Н.В. Гоголя, который так начал свое повествование: «Нет ничего лучше Невского проспекта, по крайней мере в Петербурге...». Это не только необходимый пролог к истории возникновения самой главной городской магистрали и ее последующей застройки. Текст классика русской литературы в сопровождении исторических фотографий и репродукций художественных произведений разных лет как бы приглашает нас перелистать страницы истории проспекта, в которой как в зеркале отразились судьбы тех, кто участвовал в его создании или когда-то проходил по его тротуарам...

Далее, уже в заключительной четвертой главе книги («Перечень домов и сооружений Невского проспекта с указанием кирпича, пошедшего на их строительство»), мы воочию убеждаемся в том, сколь увлекательной является история зданий (зафиксированных в уже современных фотографиях) в аспекте истории предприятий – государственных и частных заводов, на которых изготавливались эти кирпичи. Обращаясь к данным материалам, мы находим любопытные параллели и пересечения в истории зданий, возведенных в разные годы и на разных участках Невского. И тем самым учимся воспринимать зодчество изнутри, через близкое знакомство с невидимыми в большинстве случаев слагаемыми архитектурного памятника.

Весьма удачным представляется выбор черного фона, на котором показан кирпич каждого дома, – он создает вокруг главного «героя»

своего рода плотную непроницаемую среду, заставляющую еще пристальнее вглядеться в фактуру материала, в заводские клейма с буквами и цифрами, в щербинки и сколы, также по-своему отразившие время строительства этих зданий и их последующую судьбу... Таким образом, утверждается одновременно историческая, технологическая и эстетическая значимость того материала, который лишь на первый, невзыскательный взгляд кажется лишенным художественной ценности. Но собранные в альбомной части книги рядом с фотографиями каждого отдельного здания или представленные в Музее истории петербургского кирпича, созданного по инициативе В.В. Инчика в СПбГАСУ, эти увесистые предметы обнаруживают то, что принято называть печатью времени. И это определение в данном случае имеет отнюдь не переносное значение – достаточно внимательно ознакомиться с историей клеймения кирпичей, приведенной в книге, которая, как отмечает В.В. Инчик, является важным информационным, атрибутивным материалом для датировки строительства домов и зданий или частей каменных конструкций. В самом деле, вполне оправданной кажется такая структура издания, где самые разнообразные сведения изложены ясным и образным языком, а справочные таблицы дополнены впечатляющим визуальным рядом и биографическими справками об архитекторах и строителях, упоминаемых на страницах книги. Такой подход, возможно, оказался единственно верным в издании подобного рода, рассчитанном на всех интересующихся историей и культурой города на Неве.

Завершает книгу стихотворение «Невский проспект», написанное самим Всеволодом Владимировичем. Эти поэтические строки – признание в любви к своему родному городу, и к своей профессии. Они раскрывают еще одну важную сторону личности В.В. Инчика – автора поэтических сборников, а также слов и музыки для песен и романсов, звучащих в замечательном исполнении его супруги Татьяны Балета. Предложенная читателям книга, несомненно, откроет также мир личности человека, для которого верность избранному делу, своей профессии нерасторжима с гражданственным содержанием творчества, с искренней, беззаветной любовью к великому городу, к его духовным святыням.

Р.А. Бахтияров, кандидат искусствоведения, член Международной ассоциации искусствоведов, действительный член Петровской академии наук и искусств



Производство стеновых панелей на длинных стандах Nordimpianti в Грузии

До 1990 г. в Грузии, как и практически на всей территории бывшего Советского Союза, строительство гражданских зданий и сооружений велось в большинстве случаев из сборных железобетонных изделий. После распада Советского Союза «сборное строительство» стало символом низкого качества и однообразной формы. С подъемом строительства после кризиса 1990-х гг. в странах СНГ преимущество было отдано монолитному способу строительства, с помощью которого удавалось строить здания со свободной планировкой. Существовавший тогда уровень технологий производства сборных железобетонных элементов не позволял проектировать и возводить здания сборным способом, который мог бы вобрать в себя все плюсы монолитного строительства. Однако монолитный способ строительства обладает рядом существенных недостатков по сравнению со сборным: материалоемкость такого способа выше, темпы ниже, контроль качества строительства сложнее, значительно влияние погодных условий.

Благодаря возникшей необходимости объединить все преимущества монолитного и сборного способа строительства на территории стран СНГ высокими темпами начали осваивать передовые методы производства высококачественного сборного железобетона. Грузия не стала исключением.

Выпуск железобетонных изделий безопалубочным способом на длинных стандах – современный, высокопроизводительный и универсальный метод, набирающий все большую популярность на заводах сборного железобетона. Данный метод производства чаще всего ассоциируется с выпуском пустотелых плит перекрытия, однако плиты перекрытия – безусловно популярный, но не единственный продукт, производимый этим способом. На длинных стандах возможно производить различные изделия – столбики сельскохозяйственного назначения, перемычки, сваи, элементы несъемной опалубки, элементы мостовых конструкций и т. д. Одним из видов продукции, производимых безопалубочным способом на длинных стандах, являются самонесущие стеновые панели из легкого бетона. Данные стеновые панели (перегородки) находят очень широкое применение при строительстве складских помещений, жилых и общественных зданий. Панели, изготовленные из легкого бетона, просты и быстры в монтаже, обеспечивают высокую влагуустойчивость, огнестойкость и звукоизоляцию.

На строительном рынке Грузии межквартирные и межкомнатные ограждения, различные перегородки в жилых (и не только) зданиях выполняются из шлакоблоков – это трудоемкий и, требующий значительных затрат материалов способ организации перегородок. По этой причине компания Mega Production заинтересовалась поиском альтернативного способа. Благодаря наличию вышеописанных преимуществ специалисты компании



Нано-экструдер в процессе формовки изделий



Пустотные плиты перекрытия толщиной 265 мм с антисейсмической шпонкой на боковой поверхности



Специализированная машина для подъема пустотной стеновой панели



Готовые стеновые панели толщиной 90 мм

Mega Production обратили внимание на перегородки, производимые на длинных стандах безопалубочным способом.

Кроме поиска решения по перегородкам в связи с дефицитом изделий на строительном рынке, компания Mega Production параллельно искала решение для индустриального метода выпуска пустотных плит перекрытия.

Эти задачи, объединенные в одно техническое задание, и послужили причиной знакомства и дальнейшего сотрудничества компаний «Нордимпianti» и Mega Production.

Проект было решено реализовывать поэтапно – первый этап включал в себя строительство производственного здания, установку бетоносмесительного узла и установку «базового» варианта линии – два станда длиной по 168 м; универсальный экструдер с формообразующими вставками для производства пустотных плит перекрытия высотой 200, 220 и 265 мм; пила для порезки изделий и некоторые вспомогательные компоненты (система натяжения и плавного отпуска арматуры, подача бетона). Вторым этапом стало дополнительное приобретение четырех стандов длиной 168 м каждый, машины для чистки производственных стандов и полного комплекта для производства стеновых панелей – формующей машины (наноэкструдер) и машины для группового съема и штабелирования панелей. Специалистами компании «Нордимпianti» выполнено проектирование линии. В процессе реализации осуществлялось постоянное техническое сопровождение проекта: установлена пусконаладка после поставки оборудования. Большим преимуществом явилось то, что линия для выпуска стеновых панелей не потребовала организации отдельного производства, – нано-экструдер и штабелер работают на тех же производственных стандах, на которых производится пустотная плита перекрытия.

В качестве легкого заполнителя для производства стеновых панелей был выбран доступный на сырьевом рынке гранулированный шлак. Несмотря на то что обычно такие панели произво-



Общий вид производственной линии

дятся из керамзитобетона, достигнут превосходный результат: масса панели длиной 3 м, шириной 600 мм и толщиной 90 мм составила всего 135 кг. Это позволяет двум рабочим с легкостью осуществить ее монтаж. Пиковая скорость монтажа таких панелей может достигать 90 м²/день. Средняя скорость монтажа составляет около 50 м²/день. Геометрия панели легко может быть доработана с помощью угловой отрезной машины; если необходимо сделать выемки под розетки или другие проемы, то все выполняется ручным электроинструментом в любом необходимом месте; электропроводка может быть уложена в пустоты. Последующие этапы также быстро решаются: поверхность панели гладкая и нуждается лишь в финальной шпатлевке в один слой.

Таким образом, в результате взаимодействия двух профессионалов – компании Mega Production, стремящейся организовать на рынке Грузии высокопроизводительные и эффективные решения для производства строительных материалов, и компании «Нордимпianti», обладающей более чем 40-летним опытом в производстве машин и механизмов для безопалубочного производства, имеющей собственное конструкторское бюро и постоянно совершенствующей свои продукты – в Закавказье был построен первый завод, выпускающий индустриальным способом современные железобетонные изделия. Дальнейшие планы компании Mega Production – расширение существующего ассортимента изделий и освоение производства элементов не только для гражданского, но и для промышленного строительства (плит с большими пролетами, элементов мостовых конструкций, балок и т. д.).

В настоящее время компания Mega Production уже начала строительство комплекса жилых зданий из полностью сборных железобетонных элементов, спроектированных еще одной командой профессионалов – компанией «Структурама», с использованием собственной продукции.



MEGA PRODUCTION LTD
Mtskheta, Zahesi Georgia, Gldani Nadzaladevi Region,
TBILISI, 0125, GEORGIA T. +995574800008
Website: megaproduction.ge
email: info@megaproduction.ge



Nordimpianti System SRL
Via Erasmo Piaggio, 19/A 66100 Chieti (CH) – Abruzzo, Italy
T +39 0871 540222 F +39 0871 562408
Andrey Borisenkov | Sales Export Manager
Mob. +39 335 64 98 388
+7 926 49 87 286 + 380 50 424 14 19
info@nordimpianti.com www.nordimpianti.com

Р.А. ИБРАГИМОВ¹, канд. техн. наук (rusmag007@yandex.ru); Е.В. КОРОЛЕВ², д-р техн. наук;
Т.Р. ДЕБЕРДЕЕВ³, д-р техн. наук, В.В. ЛЕКСИН³, канд. физ.-мат. наук

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

² Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

³ Казанский национальный исследовательский технологический университет (420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68)

Прочность тяжелого бетона на портландцементе, обработанном в аппарате вихревого слоя

В настоящее время наблюдается тенденция повышения физико-механических свойств строительных материалов за счет активации сырьевых компонентов. Одним из таких способов является активация цемента в аппаратах вихревого слоя. В работе представлены данные оптимизации параметров работы аппарата вихревого слоя путем реализации четырехфакторного плана второго порядка на тяжелом бетоне класса В25. На основе планирования эксперимента выявлены оптимальные параметры работы аппарата вихревого слоя, размеры ферромагнитных частиц и отношение ферромагнитных частиц к активируемому материалу. Найдена математическая зависимость прочности тяжелого бетона в возрасте 1 и 28 сут твердения от независимых переменных. При оптимальных режимах работы аппарата вихревого слоя происходит повышение прочности при сжатии тяжелого бетона в первые сутки твердения в 2,44 раза, а в марочном возрасте – в 1,48 раза.

Ключевые слова: активация, вяжущее, вихревой слой, ферромагнитные частицы, тяжелый бетон.

Для цитирования: Ибрагимов Р.А., Королев Е.В., Дебердеев Т.Р., Лексин В.В. Прочность тяжелого бетона на портландцементе, обработанном в аппарате вихревого слоя // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 28–31.

R.A. IBRAGIMOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (rusmag007@yandex.ru); E.V. KOROLEV², Doctor of Sciences (Engineering) (KorolevEV@mgsu.ru); T.R. DEBERDEEV³, Doctor of Sciences (Engineering), V.V. LEKSIN³, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics)

¹ Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

² Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

³ Kazan National Research Technological University (68, K. Marksa Street, Kazan, 420015, Russian Federation)

Durability of Heavy-Weight Concrete with Portland Cement Treated in Apparatus of Vortex Layer

At present, the tendency of improving physical-mechanical properties of building material due to the activation of raw components is observed. One of the methods is the activation of cement in the apparatus of vortex layer. The paper presents the data on optimization of parameters of the apparatus of vortex layer by means of realization of the four-factor plan of the second order for heavy-weight concrete of B25 class. On the basis of the experiment planning, optimal parameters of operation of the apparatus of vortex layer, sizes of ferromagnetic particles and relation of ferromagnetic particles to the material activated were revealed. The mathematical dependence of durability of heavy-weight concrete at the age of 1 and 28 days of hardening on the independent variables was found. At optimal conditions of the apparatus of vortex layer operation, improving the compression strength of heavy-weight concrete takes place at the first day of hardening by 2.44 times and at the grade age – by 1.48 times.

Keywords: activation, binder, vortex layer, ferromagnetic particles, heavy-weight concrete.

For citation: Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev T.R., Leksin V.V. Durability of heavy-weight concrete with portland cement treated in apparatus of vortex layer. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 10, pp. 28–31. (In Russian).

Повышение качества строительных материалов может быть осуществлено различными способами: рецептурным (оптимизация рецептуры материала без существенного изменения технологического режима производства материала), технологическим (применение нового технологического режима и/или аппарата), комплексным – рецептурно-технологическим. Указанное четко прослеживается в эволюции бетона [1]. В работе [2] с применением критерия совершенства технологии Φ_{mt} показано, что эффективными способами повышения качества цементных материалов являются: повышение активности портландцемента (способ № 1); снижение начального водосодержания посредством введения пластификаторов (способ № 2); пропитка поровой структуры бетона органическими веществами или серой (способ № 3); применение сухого формирования (способ № 4). По величине Φ_{mt} указанные способы можно расположить в ряд эффективности: способ № 3 > способ № 1 > способ № 2 > способ № 4.

Способ № 3, безусловно, усложняет и повышает затраты на технологический процесс производства изделий и конструкций; способ № 4 не получил достаточной апробации для широкого применения, а также ограничен производством штучных изделий. Способ № 2 наи-

более часто реализуется в повышении качества цементных композитов. Перспективен также способ № 1, как посредством повышения физико-химической активности минеральных вяжущих, так и путем создания композитных, тонкомолотых вяжущих систем [3–8].

В настоящее время широко распространены и известны следующие способы воздействия на вяжущее: турбулентное [9–11], кавитационное [12, 13], механо-химическое [14], ультразвуковое [15], вибрационное [16–18] и т. д. Данные способы активации вяжущего приводят к увеличению дисперсности и удельной поверхности новообразований.

Отдельно необходимо отметить незаслуженно забытый способ активации цемента в аппарате вихревого слоя. Такие аппараты впервые были разработаны Д.Д. Логвиненко [19]. В процессе апробации аппаратов вихревого слоя была отмечена их высокая производительность, а также выявлены некоторые физические аномалии, связанные с особенностями перераспределения внутренней потенциальной энергии вещества [20].

Работа аппарата вихревого слоя обеспечивается постоянно движущимся (вращающимся) электромагнитным полем (рис. 1). В немагнитной трубе аппарата могут размещаться различные ферромагнитные тела, движе-

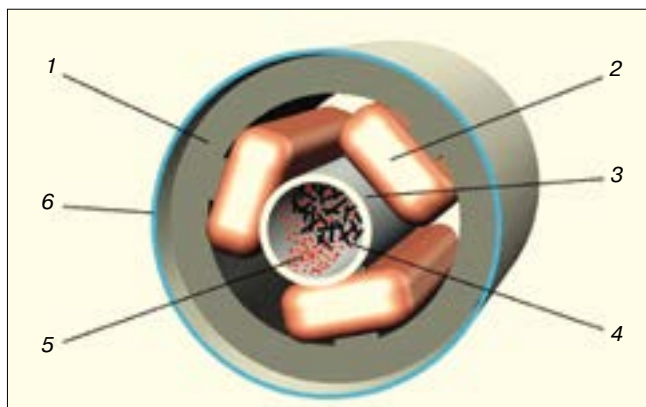


Рис. 1. Типовая конструкция аппарата с вращающимся электромагнитным полем [20]: 1 – магнитопровод индуктора; 2 – трехфазная обмотка индуктора; 3 – немагнитный цилиндрический корпус рабочей зоны аппарата; 4 – ферромагнитные иглы; 5 – обрабатываемый материал; 6 – кожух

ние которых обеспечивает вращающееся электромагнитное поле. При движении ферромагнитных тел в немагнитной трубе происходит измельчение находящихся веществ, сопровождающееся сложными физическими, химическими и механохимическими явлениями.

Изучение вопросов активации материалов в аппаратах вихревого слоя, в частности портландцемента, к сожалению, не имеет систематического характера. Так, например, в работах [21, 22] представлено влияние массы мелющих тел, отношение их диаметра к длине, времени обработки на активность портландцемента при получении неавтоклавных пенобетонов.

В данной работе с целью формирования базы экспериментальных данных, являющихся основой для по-

следующих исследований с применением высокоинформативных методов изучения структуры и свойств вещества, выявления ключевых физико-химических параметров и механизмов, проведены исследования по установлению влияния технологического режима обработки портландцемента в аппарате вихревого слоя на кинетику набора и прочность тяжелого бетона.

Исследование влияния обработки портландцемента в аппарате вихревого слоя производили на тяжелом бетоне с проектным классом по прочности В25.

Для исследований приняли портландцемент (Ц) ЦЕМ I 42,5 Б/ПЦ 500-Д0-Н Новотроицкого цементного завода, соответствующего требованиям ГОСТ 31108–2016. Указанный портландцемент имеет следующий минералогический состав: C_3S – 64–65%; C_2S – 11–13%; C_3A – 5–6%; C_4AF – 14–15%.

Мелким заполнителем служил кварцевый песок (П) Камско-Устьинского месторождения. Модуль крупности 2,7, соответствует требованиям ГОСТ 8736–2014.

Крупным заполнителем являлся гранитный щебень (Щ) Уральского месторождения. Размер фракций 5–20 мм, соответствует ГОСТ 8267–93.

Расходы указанных компонентов бетона следующие, кг/м³: Ц – 490; П – 555; Щ – 1315.

Количество воды затворения подбирали при условии равной подвижности бетонной смеси марки П2.

Обработку портландцемента производили в аппарате вихревого слоя (АВС), модель 297, производитель ООО «Регионметтранс».

Оценку эффективности применения АВС на начальном этапе целесообразно произвести по величине прочности, являющейся структурно-чувствительной характеристикой структуры материала. Изменение кинетики набора и величины прочности бетона в условиях данного эксперимента определяется изменениями, возника-

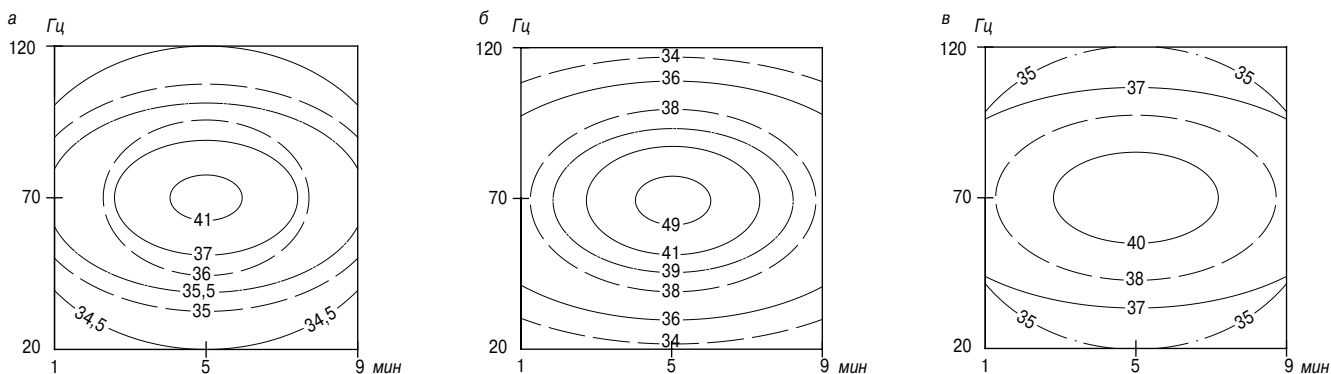


Рис. 2. Графическая интерпретация влияния выбранных факторов обработки портландцемента в АВС на предел прочности при сжатии бетона в возрасте 28 сут; отношение диаметра ферромагнитных тел к их длине: а – 0,06; б – 0,12; в – 0,18

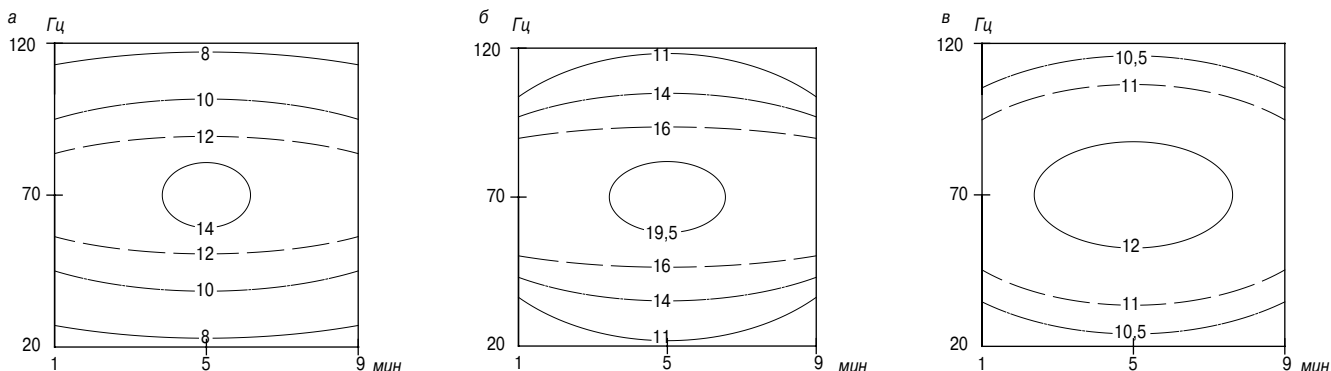


Рис. 3. Графическая интерпретация влияния выбранных факторов обработки портландцемента в АВС на предел прочности при сжатии бетона в возрасте 1 сут; отношение диаметра ферромагнитных тел к их длине: а – 0,06; б – 0,12; в – 0,18

Таблица 1

Факторы	Название факторов	Уровни варьирования		
		-1	0	+1
X ₁	Частота вращения электромагнитного поля, Гц	20	70	120
X ₂	Время активации, мин	1	5	9
X ₃	Отношение диаметра ферромагнитных тел к их длине	0,06	0,12	0,18
X ₄	Отношение массы ферромагнитных тел к массе измельчаемого материала	0,2	0,4	0,6

Таблица 2

Наименование фактора	Уравнение прочности	
	R ₁ =f(X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄)	R ₂₈ =f(X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄)
Фактор X ₁	+7,6	-0,16
Фактор X ₂	+44,2	+25,2
Фактор X ₃	-9764	-688
Фактор X ₄	-224	-36

ющими при обработке портландцемента в АВС (колебания свойств других компонентов и в режимах на других технологических этапах принимаются статистически незначимыми). Как показано, в работах [19, 20], обработка в АВС приводит как к повышению дисперсности, так и к изменению энергетического состояния вещества. Эти изменения, безусловно, будут оказывать существенное влияние на процессы гидратации и структурообразования цементного камня, соответственно на параметры структуры и его эксплуатационные свойства.

Ведущими факторами при обработке материала, в частности портландцемента, в АВС, способными оказать значительное влияние на физико-химические свойства, являются: частота вращения электромагнитного поля, время активации, отношение диаметра ферромагнитных тел к их длине, отношение массы ферромагнитных тел к массе измельчаемого материала.

Уровни варьирования указанных независимых переменных, выбранные для данного эксперимента, приведены в табл. 1.

После исключения статистически незначимых коэффициентов вид математической зависимости прочности (после твердения в нормальных условиях в течение 28 сут – R₂₈, то же, после первых сут – R₁) от независимых переменных X₁, X₂, X₃, X₄ примут следующий вид:

$$R_{28} = 34,1 + 0,05X_1 + 0,74X_2 - 0,006X_3 - 0,056X_4 - 0,08X_1^2 + 12,6X_2^2 - 344X_3^2 - 18X_4^2 - 0,2X_1X_2 - 0,88X_1X_3 + 0,7X_1X_4 + 104X_2X_3 + 8,6X_2X_4 + 12,4X_3X_4; \quad (1)$$

$$R_1 = 11,6 + 12,8X_1 - 42X_2 - 1008X_3 + 109X_4 + 3,8X_1^2 + 22,1X_2^2 - 4897X_3^2 - 112X_4^2 - 8,2X_1X_2 - 0,02X_1X_3 + 3,9X_1X_4 + 1345X_2X_3 + 4,9X_2X_4 + 2,5X_3X_4. \quad (2)$$

Графические интерпретации уравнений (1) и (2) представлены на рис. 2 и 3 (пунктирная линия – отно-

шение массы ферромагнитных тел к массе измельчаемого материала, равно 0,2; непрерывная линия – 0,4; штрихпунктирная линия – 0,6).

Оценку влияния выбранных факторов на прочность бетона производили как по результатам расчетов, производимых по уравнениям (1) и (2), так и по тангенсу угла наклона прямой частной производной указанных уравнений (табл. 2):

$$\frac{\partial R_j(X_1, X_2, X_3, X_4)}{\partial X_i} = kX_i + b;$$

$$k = \text{tg}(\alpha),$$

где α – угол наклона прямой.

Анализ показывает, что все выбранные факторы оказывают влияние на величину прочности бетона. По интенсивности влияния рассмотренные факторы располагаются в ряд:

$$X_3 > X_4 > X_2 > X_1.$$

Наибольшая весомость факторов X₃ и X₄ указывает на то, что обработка портландцемента в АВС связана в первую очередь с процессами его измельчения. Так, если принять элементарную модель дисперсной системы, состоящей из частиц портландцемента и стальных волокон, длиной l, измельчение в которой осуществляется посредством столкновения волокон с частицами портландцемента, то частота столкновений, определяющая интенсивность измельчения, будет равна:

$$Z = \pi(1 + d_{cem})^2 \bar{v} N, \quad (3)$$

где d_{cem} – диаметр частицы портландцемента; \bar{v} – средняя скорость движения стальных волокон, зависящая от факторов X₁ и X₂; N – концентрация частиц портландцемента и стальных волокон.

При этом количество частиц N связано с факторами X₃ и X₄:

$$N = m_{cem} \left(\frac{6}{\pi \rho_{cem} d_{cem}^3} + \frac{4 X_4}{\pi \rho_s (X_3)^2 l^3} \right), \quad (4)$$

где ρ_{cem}, ρ_s – соответственно плотность портландцемента и стальных волокон; d_{cem} – средний диаметр частиц портландцемента.

Из представленных формул видно, что интенсивность измельчения должна сильнее возрастать при уменьшении величины фактора X₃ и менее интенсивно при увеличении значения фактора X₄. Указанное четко следует из уравнения (2). Отсюда можно принять за основу рассмотренную модель дисперсной системы.

С набором прочности бетона наблюдается снижение интенсивности влияния факторов X₂, X₃ и X₄ (интенсивность влияния фактора X₂ уменьшается в 1,7 раза, X₃ – в 14,2 раза, а X₄ – 6,2 раза). Фактор X₁ с увеличением продолжительности твердения бетона изменяет как величину, так и направленность влияния (с положительного на отрицательное). Такое изменение значений рассмотренных факторов указывает на то, что обработка портландцемента в АВС приводит в первую очередь к интенсификации начальных процессов твердения – растворения и гидратации минералов цементного клинкера, а также к сокращению периода гетерогенной нуклеации. При этом вследствие изменения энергетического состояния вещества должна наблюдаться нелинейная зависимость интенсивности этих процессов от дисперсности. Указанное должно быть четко выявлено при проведении

исследований с применением высокоинформативных методов исследования структуры вещества.

Диапазон технологического режима обработки портландцемента в АВС можно установить по полученным уравнениям (1) и (2). Так, по данным, представленным на рис. 2, видно, что наибольшее повышение марочной прочности тяжелого бетона происходит при времени активации 4,5–5,5 мин, частоте вращения электромагнитного поля 70 Гц, отношении диаметра ферромагнитных тел к их длине 0,12 и отношению массы ферромагнитных тел к массе измельчаемого материала, равном 0,4. При этом марочная прочность бетона повышается с 33 МПа до 49 МПа (в 1,48 раза).

Повышение ранней прочности бетона (рис. 3) происходит при тех же параметрах активации, что и при

повышении марочной прочности бетона. При этом прочность бетона при сжатии в первые сутки твердения повышается с 8 до 19,5 МПа (в 2,44 раза).

Увеличение времени активации цемента при частоте вращения электромагнитного поля 20 и 120 Гц и увеличении фактора $X_3 > 0,12$, $X_4 > 0,4$ приводит к незначительному повышению прочности тяжелого бетона при сжатии во все исследуемые сроки (повышение прочности составляет 5–8%).

Таким образом, для дальнейших исследований режим обработки портландцемента в АВС следующий: время активации 5 мин; частота вращения электромагнитного поля 70 Гц; отношение диаметра ферромагнитных тел к их длине 0,12; отношение массы ферромагнитных тел к массе измельчаемого материала 0,4.

Список литературы / References

- Ушеров-Маршак А.В. Современный бетон и его технологии // *Бетон и железобетон*. 2009. С. 20–25.
- Usherov-Marshak A.V. Modern concrete and its technologies. *Beton i Zhelezobeton*. 2009, pp. 20–25. (In Russian).
- Королев Е.В. Принцип реализации нанотехнологии в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 60–64.
- Korolev E.V. Principle of realization of nanotechnology in building materials science. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 60–64. (In Russian).
- Rajesh, D.V.S.P., Narender Reddy A., Venkata Tilak U., Raghavendra M. Performance of alkali activated slag with various alkali activators. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2013. No. 2, pp. 378–386.
- Benes L., Minar L. Geopolymer as a bonding agent in braking segment composites. *Proceed. 3rd International Symposium «Non-traditional cement&concrete»*. Brno. 2008, pp. 86–89.
- Bakharev T., Sanjayan J.G., Cheng Y.B. Effect of admixtures on properties of alkali-activated slag concrete. *Cement and Concrete Research*. 2001. No. 30 (9), pp. 1367–1374.
- Van Jaarsveld J.G.S., Van Deventer J.S.J., Lukey G.C. The effect of composition and temperature on the properties of fly ash and kaolinite – based geopolymers. *Chemical Engineering Journal*. 2002. No. 89, pp. 63–73.
- Fediuk R.S. Mechanical activation of construction binder materials by various mills. *Materials Science and Engineering*. 2016. No. 125, pp. 1–7.
- Sadique M., Al-Nageima H., Atherton W., Setonb L., Dempster N. Mechano-chemical activation of high-Ca fly ash by cement free blending and gypsum aided grinding. *Construction and Building Materials*. 2013. No. 43, pp. 480–489.
- Balaz P. Mechanochemistry in nanoscience and minerals engineering. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 2008. 413 p.
- Bouzoubaa N., Zhang M.N., Bilodeau A., Malhotra V.M. The effect of grinding on the physical properties of fly ashes and a portland cement clinker. *Cement and Concrete Research*. 1997. No. 27, pp. 1861–1874.
- Bergold S.T., Goetz-Neunhoeffler F., Neubauer J. Mechanically activated alite: New insights into alite hydration. *Cement and Concrete Research*. 2015. No. 76, pp. 202–211.
- Sekulic Z., Petrov M., Zivanovic D. Mechanical activation of various cements. *International Journal of Mineral Processing*. 2004. No. 74, pp. 355–363.
- Sekulic Z., Popova S., Đuričić M., Rosic A. Mechanical activation of cement with addition of fly ash. *Materials Letters*. 1999. No. 39, pp. 115–121.
- Scian A.N., Porto López J.M., Pereira E. Mechanochemical activation of high alumina cements-hydration behaviour. *Cement and Concrete Research*. 1991. No. 21, pp. 51–60.
- Kalinkin A.M., Krzhizhanovskaya M.G., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. Hydration of mechanically activated blended cements studied by in situ X-ray diffraction. *Inorganic Materials*. 2015. No. 51, pp. 828–833.
- Emoto T., Bier T.A. Rheological behavior as influenced by plasticizers and hydration kinetics. *Cement and Concrete Research*. 2007. No. 37 (5), pp. 647–654.
- Puertas F., Santos H., Palacios M., Martínez Ramírez S. Polycarboxylate superplasticizer admixtures: effect on hydration, microstructure and rheological behaviour in cement pastes. *Advances in Cement Research*. 2005. Vol. 17. No. 2, pp. 77–89.
- Sakai E., Kasuga T., Sugiyama T., Asaga K., Daimon M. Influence of superplasticizers on the hydration of cement and the pore structure of hardened cement. *Cement and Concrete Research*. 2006. Vol. 36. No. 11, pp. 2049–2053.
- Логвиненко Д.Д., Шеляков О.П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем. Киев: Техника, 1976. 144 с.
- Logvinenko D.D., Shelyakov O.P. Intensifikatsiya tekhnologicheskikh protsessov v apparatakh s vikhrevym sloem [Intensification of technological processes in devices with a vortex layer]. Kiev: Tekhnika. 1976. 144 p.
- Mischenko M.V., Bokov M.M., Grishaev M.E. Activation of technological processes of materials in the device rotary electromagnetic field. *Technical Sciences*. 2015. No. 2, pp. 3508–3512.
- Филонов И.А., Явруян Х.С. Механическая активация портландцемента в аппарате вихревого слоя // *Инженерный вестник Дона*. 2012. № 3 (21). С. 678–681.
- Filonov I.A., Yavruyan Kh.S. Mechanical activation of Portland cement in the vortex layer apparatus. *Inzhenernyi Vestnik Dona*. 2012. No. 3 (21), pp. 678–681. (In Russian).
- Явруян Х.С., Филонов И.А. Гомогенизация наномодифицированных цементных систем и подбор параметров их обработки в установках с вихревым слоем // *Вестник Московского государственного строительного университета*. 2013. № 2. С. 130–136.
- Yavruyan Kh.S., Filonov I.A. Homogenization of nanomodified cement systems and selection of parameters for their processing in installations with a vortex layer. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Stroitel'nogo Universiteta*. 2013. No. 2, pp. 130–136. (In Russian).

УДК 666.972.2

В.В. РУСИНА¹, канд. техн. наук (rusina07@bk.ru),
Ю.Ю. ДУБРОВИНА¹, канд. техн. наук;
Е.И. ЧЕРНОВ², инженер (ev7080@yandex.ru)

¹ Костромская государственная сельскохозяйственная академия (156530, Костромская область, Костромской район, пос. Караваево, Учебный городок, Караваевская с/а, 34)

² «Мостоотряд-6» Ярославская территориальная фирма, филиал ПАО «Мостотрест» (150033, Ярославль, Тутаевское ш., 64А)

Бетоны для ограждающих конструкций на основе отходов механической переработки древесины

Показаны преимущества композитов на основе минеральных вяжущих веществ и органического заполнителя из отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки. Определены отрицательные качества древесного заполнителя, которые затрудняют получение материала высокой прочности. Предлагаются органо-минеральные бетоны для стеновых конструкций, в которых в качестве легкого заполнителя используются отходы механической переработки древесины – опилки и кора, а минеральными вяжущими служат шлако- и золощелочные вяжущие, состоящие из золошлаковых отходов и жидкого стекла из микрокремнезема. Объясняются достаточно высокие физико-механические показатели таких бетонов, обусловленные фазовым составом используемых вяжущих и особенностями жидкого стекла. Изучены процессы и явления, которые имеют место при формировании контактной зоны древесный заполнитель – вяжущее. Сделан вывод, что на основе отходов механической переработки лиственницы и ШЩВ, ЗЩВ на жидком стекле из микрокремнезема получены бетоны, удовлетворяющие всем требованиям для ограждающих конструкций. Показана возможность использования в качестве заполнителя древесной коры. При этом отмечается, что для успешного применения коры требуется одновременное использование низко- и высокомодульного жидкого стекла. В регионах, где металлургические шлаки и топливные золы от сжигания угля отсутствуют, предлагается для органо-минеральных бетонов использовать торфяную золу.

Ключевые слова: древесные заполнители, арболит, жидкое стекло, золошлаковые отходы, бетоны ограждающих конструкций.

Для цитирования: Русина В.В., Дубровина Ю.Ю., Чернов Е.И. Бетоны для ограждающих конструкций на основе отходов механической переработки древесины // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 32–35.

V.V. RUSINA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (rusina07@bk.ru),

Yu.Yu. DUBROVINA¹, Candidate of Sciences (Engineering);

E.I. CHERNOV², Engineer (ev7080@yandex.ru)

¹ Kostroma State Agricultural Academy (34, Karavaevskaya Village, Campus, Kostroma District, Kostroma Region, 156530, Russian Federation)

² "Mostootryad-6" Yaroslavl territorial firm, branch of PJSC "Mostotrest" (64A, Tutaevskoye Highway, Yaroslavl, 150033, Russian Federation)

Concretes for Enclosing Structures on the Basis of Waste of Wood Machining

Advantages of composites on the basis of mineral binders and an organic filler from the waste of logging, lumbering, and machining are shown. Negative qualities of a wood filler which make it difficult to obtain material of high strength are determined. Organo-mineral concretes for wall structures, in which the waste of wood machining – sawdust and bark – are used as a light filler, and slag- and ash-alkaline binders consisting of ash-slag wastes and liquid glass from micro-silica serve as mineral binders, are proposed. Quite high physical-mechanical characteristics of such concretes due to the phase composition of the binders used and the peculiarities of liquid glass are explained. Processes and phenomena, which take place when forming the contact zone of wood filler – binder, have being studied. It is concluded that concretes obtained on the basis of waste of larch machining and slag- and ash-alkaline binders on the liquid glass from micro-silica meet all the requirements for enclosing structures. The possibility of using the bark, as a filler, is shown. It is noted that for the successful use of bark, the simultaneous use of low- and high-module liquid glass is needed. For regions where metallurgic slag and furnace bottom ash from coal burning are absent, it is proposed to use the peat ash for organo-mineral concretes.

Keywords: wood fillers, arbolite, liquid glass, ash-slag wastes, concretes of enclosing structures.

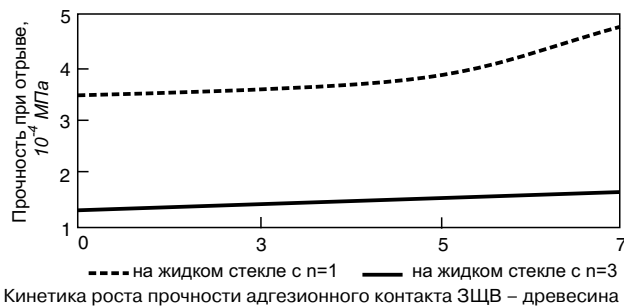
For citation: Rusina V.V., Dubrovina Yu.Yu., Chernov E.I. Concretes for enclosing structures on the basis of waste of wood machining. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 32–35. (In Russian).

В настоящее время, в связи с увеличением объемов малоэтажного и индивидуального строительства, отмечается возрастающее потребление мелкоштучных стеновых изделий. При этом основными требованиями потребителей являются не только низкая плотность и высокая прочность стеновых материалов, но и небольшая стоимость изделий, что, в свою очередь, предопределяет потребность в дешевых строительных материалах на основе местного сырья, полученного из попутных продуктов и отходов промышленных предприятий.

В регионах с развитой лесной и деревообрабатывающей промышленностью материалами, отвечающими этим требованиям, могут стать композиты на основе минеральных вяжущих веществ и органического заполнителя из отходов лесозаготовок, лесопиления и дере-

вообработки. Так, например, широко известны бетоны, состоящие из цементного вяжущего, древесного заполнителя и некоторых добавок. В Швейцарии это дюризол, в Австрии – велокс, в Англии – лигнесайт, в США – вундстроун, в Чехии – пилинобетон, в Японии – центери-боад, в Германии – дюрипанель. В нашей стране подобный материал получил название арболит [1–3].

Арболит зарекомендовал себя хорошим стеновым материалом. Благодаря крупнопористой структуре этот легкий бетон обладает ценными качествами: малой средней плотностью, способностью поддерживать осушающий режим в помещениях, не конденсируя влаги на поверхности и не повышая влагосодержания в стенах, хорошими звуко- и теплоизоляционными свойствами. Между тем древесный заполнитель наряду с



присушими ему ценными качествами имеет и отрицательные свойства, которые затрудняют получение материала высокой прочности из высокопрочных компонентов (цемент и древесина). К специфическим свойствам древесного заполнителя, отрицательно влияющим на процессы структурообразования, прочностью и стойкостью арболита, относятся прежде всего, повышенная химическая агрессивность и низкая адгезия к цементному камню, обусловленные воздействием водорастворимых веществ древесины — сильнейших «цементных ядов». Для уменьшения отрицательного влияния таких веществ на прочность древесно-цементного камня предложены различные способы и технологические приемы, сущность которых заключается в частичном удалении этих веществ из древесного заполнителя; в переводе простейших сахаров в нерастворимые или безвредные для цемента соединения, в ускорении твердения портландцемента, то есть в сокращении времени воздействия цемента на процессы твердения. Так, например, с целью получения качественных изделий древесный заполнитель подвергают длительному выдерживанию и высушиванию, а также минерализации — обработке химическими добавками. Как правило, это составы, которые локализируют действие экстрактивных веществ, содержащихся в органическом заполнителе, или покрывают частицы заполнителя водонепроницаемой пленкой, препятствующей соприкосновению вредных веществ заполнителя с цементным тестом. Кроме того, в производстве арболита используются только те породы древесины, в которых содержится немного веществ, являющихся замедлителями твердения портландцемента. Поэтому, например, древесина лиственницы для производства органоминеральных бетонов считается непригодной [4–6].

Авторами разработаны и запатентованы составы и технология получения органоминеральных бетонов для стеновых конструкций (при средней плотности $750\text{--}950\text{ кг/м}^3$ и теплопроводности $0,15\text{--}0,17\text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ прочность материала составляет $5,5\text{--}10\text{ МПа}$). В качестве легкого заполнителя используются древесные опилки — отход механической переработки древесины лиственницы. Минеральными вяжущими веществами в разработанных композициях служат шлако- и золощелочные вяжущие (ШЩВ и ЗЩВ), состоящие соответственно из молотого гранулированного ваграночного шлака ПО «Сибтепломаш» (г. Братск) или золы-уноса ТЭЦ-7 «Иркутскэнерго» (г. Братск) и жидкого стекла, получаемого из микрокремнезема Братского ферросплавного завода.

Достаточно высокие физико-механические показатели полученных бетонов объясняются прежде всего, особенностями фазового состава используемых вяжущих. Среди продуктов гидратации ЗЩВ и ШЩВ на жидком стекле из микрокремнезема полностью от-

сутствуют высокоосновные соединения [7], что позволяет без какой-либо предварительной обработки древесного заполнителя (даже из древесины лиственницы) получать материал с необходимыми свойствами. Кроме того, традиционно используемое в качестве минерализатора древесины жидкое стекло (в данном случае применяемое как щелочной компонент вяжущих) также благоприятно сказывается на прочностных показателях органоминеральных бетонов. Однако, как известно, прочность многокомпонентных материалов зависит не только от прочности самих структурных элементов, но и от прочности связей между ними. Так, в органоминеральных композициях на основе портландцемента прочность отдельных компонентов достаточно велика: древесины — 15 , цемента — 40 МПа . В то же время прочность таких материалов при значительном расходе цемента ($300\text{--}400\text{ кг}$ и более) практически не превышает $2,5\text{--}3,5\text{ МПа}$. Следовательно, определяющим фактором является прочность сцепления древесины с вяжущим.

Эксперименты по изучению процессов и явлений, которые имеют место при формировании контактной зоны древесный заполнитель — вяжущее, были проведены с использованием ЗЩВ. Исследования проводились по методу, разработанному в Томской государственной архитектурно-строительной академии. Эксперименты выполнялись с единичными образцами-пластинками размером $40\times 40\times 10\text{ мм}$, изготовленных из древесины лиственницы распиловкой с последующим шлифованием. Величину адгезии золощелочного теста к срезу древесины определяли по усилию отрыва образца от поверхности теста. Усилие отрыва измеряли с помощью установки, смонтированной на базе весов ВЛА-200. Результаты эксперимента, представленные на рисунке, показывают хорошую адгезию ЗЩВ к древесине лиственницы (во всех случаях имел место только когезионный характер разрушения). Известно, что составляющие древесины, и в первую очередь целлюлоза, обладают структурной поляризацией (поверхность молекулярных цепей несет отрицательный заряд), поэтому хорошо соединяются полярными веществами. В то же время щелочь, содержащаяся в жидком стекле, вследствие диффузии способна проникать к волокнам целлюлозы и адсорбироваться на ее гидроксильных группах. На начальной стадии на поверхности древесины, вероятно, образуется слой адсорбента повышенной концентрации. Наличие градиента концентрации заставляет затем адсорбент диффундировать во внутренние слои волокна со скоростью, пропорциональной этому градиенту. В результате воздействия ионов натрия на целлюлозу древесины происходит образование щелочной целлюлозы. Возникшие при этом промежуточные свободные радикалы в целлюлозе позволяют создать дополнительные связи в контактной зоне. Для оценки роли ионов натрия в формировании адгезионного контакта был проведен эксперимент с жидким стеклом, имеющим различные значения силикатного модуля. Как показывают полученные данные, адгезионная прочность материала на низкомодульном жидком стекле более чем в $2,5$ раза выше адгезионной прочности экспериментальных образцов на высокомодульном жидком стекле. Вероятно, это вызвано меньшей концентрацией щелочи в высокомодульном жидком стекле, а также его меньшей способностью к гидролизу вследствие более высокой степени полимеризации. Что касается резкого перехода пологого участка графика (на седьмой минуте контакта) в вертикальное положение,

Таблица 1

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	SO ₃	P ₂ O ₅	ППП
Содержание, мас. %	23	14–17	16–19	15–18	0,98	23	5–12	3,4	0,07–0,18	1,42	< 1
Средние значения	21,52	15,4	16	15	0,98	23	7,4	3,4	0,18	1,42	< 1

Таблица 2

Остатки на ситах	10	10	Размер ячеек, мм					<0,14	Сумма
			2,5	1,25	0,63	0,315	0,14		
Частные, г	13,1	12,43	13	22	52	162	27,5	470	994
Частные, %			1,31	2,2	5,22	16,24	28	47,03	100
Полные, %			1,31	3,51	8,73	24,97	52,97	100	94,19

то, по-видимому, это обусловлено взаимодействием полярных функциональных групп компонентов древесины не только с ионами натрия, но и с ионами кальция гидролизованной к этому времени золы.

Таким образом, выполненные исследования показали, что ЗЩВ на жидком стекле из микрокремнезема обладает хорошей адгезией к древесине, обусловленной особенностями состава вяжущего. Прежде всего это – наличие иона щелочного металла, который благодаря малому радиусу и высокой реакционной способности при формировании контактной зоны вызывает ряд физико-химических процессов. Между тем известно, что любой органический наполнитель обладает специфической способностью – изменяет объем при увлажнении и высушивании, что отрицательно сказывается на прочности и стойкости органоминеральных бетонов к влагопеременным воздействиям. В связи с этим изучены свойства исследуемого бетона по отношению к воздействию воды. При этом установлено, что бетоны на ШЩВ и ЗЩВ обладают достаточно высокой водостойкостью и морозостойкостью. Коэффициент размягчения составляет более 0,8 (для бетонов на ЗЩВ) и более 0,9 (для бетонов на ШЩВ), а морозостойкость во всех случаях составляет более 50 циклов. Очевидно, щелочь, содержащаяся в жидком стекле, хорошо проникает в глубь клеток древесины и взаимодействует с лигнином, что приводит к возникновению нерастворимых в воде органоминеральных соединений, в которых в виде межкарбасных ионов присутствуют ионы натрия и кальция. В результате воздействия ионов натрия на древесный наполнитель в процессе смешивания по поверхности древесной частицы происходит образование щелочной целлюлозы, а возникновение промежуточных свободных радикалов в целлюлозе позволяет создать дополнительные связи в контактной зоне древесный наполнитель – вяжущее, что приводит к образованию плотной оболочки вокруг частиц органического наполнителя. Это, в свою очередь, исключает возможность миграции воды в наполнитель.

Выполненные исследования показали, что на основе отходов механической переработки древесины лиственницы и ШЩВ, ЗЩВ на жидком стекле из микрокремнезема получены бетоны, удовлетворяющие всем требованиям для ограждающих конструкций.

Древесная кора является еще лучшим, чем сама древесина, природным теплоизолятором. Однако вместе с этим кора отличается от других частей древесины хрупкостью и повышенным содержанием экстрактивных веществ. Поэтому нормативными документами содержание коры в составе любого древесного наполнителя ограничивается 10%, а сама кора в качестве такового не

используется. Однако если учесть, что кора составляет около 13% всех круглых лесоматериалов, поступающих на распиловку, то для районов с развитой лесной и деревообрабатывающей промышленностью проблема ее использования является весьма актуальной.

Сравнительные эксперименты, выполненные с корой, предварительно подвергнутой водно-тепловой экстракции, показали, что свойства шлако- и золощелочных бетонов на ней в среднем на 15% лучше, чем бетонов на непроэкстрагированной коре. Поэтому предложено одновременное использование жидкого стекла различных составов и свойств. На начальном этапе кора обрабатывается высокомолекулярным жидким стеклом. Затем к ней добавляется зола или молотый шлак и все затворяется низкомолекулярным жидким стеклом. Обработка коры высокомолекулярным жидким стеклом предусматривает создание на поверхности ее частиц пленки, упрочняющей хрупкий древесный наполнитель, а также препятствующей выходу экстрактивных веществ в твердеющее золо- или шлакощелочное цементное тесто. Последующее же введение в бетонную смесь низкомолекулярного жидкого стекла обеспечивает максимальную активизацию алюмосиликатного компонента вяжущих. При этом следует отметить, что особенности используемого жидкого стекла из микрокремнезема (присутствие примесей мельчайших кристаллических частичек графита и карбида кремния) позволяют использовать высокомолекулярное жидкое стекло без каких-либо отвердителей. Обладая огромным потенциалом поверхностной энергии, графит и карборунд являются активными компонентами при отвердевании жидкого стекла в процессе формирования пленки, перевода жидкое стекло из объемного в пленочное состояние. Причем особенно благоприятно в этом случае использование жидкого стекла на микрокремнеземе, частицы которого имеют пластинчатую форму [8]. Кроме того, образующийся при твердении высокомолекулярного жидкого стекла из микрокремнезема гель кремниевой кислоты соединяет мельчайшие кристаллические частички графита и карборунда, обеспечивая передачу на них прилагаемой нагрузки. Достаточно прочные кристаллические частицы карборунда и графита армируют жидкостекольную матрицу и выполняя роль микронаполнителя, по аналогии с наполненными полимерами, повышают прочность и твердость пленки из жидкого стекла. Применение рассмотренных приемов позволило получить на основе древесной коры, ШЩВ и ЗЩВ водостойкие (коэффициент размягчения более 0,8) и достаточно морозостойкие (более 50 циклов) бетоны со средней плотностью 650–800 кг/м³ и прочностью при сжатии 4–7 МПа.

Между тем в некоторых регионах России металлургические шлаки и топливные золы от сжигания угля отсутствуют. Поэтому базой для создания легких органических бетонов с использованием отходов механической переработки древесины может стать отход теплоэнергетики в виде торфяной золы, имеющейся во многих областях страны в значительных количествах [10–12].

Исследования, выполненные в Костромской государственной сельхозакадемии, показали, что торфяная зола Костромской ТЭЦ-1 и ТЭЦ в п. Волжский Костромского района, образующаяся при использовании торфа в качестве топлива, представляет собой пылевидный порошок с размером частиц преимущественно менее 0,315 мм (табл. 1). По химическому составу исследуемая зола представляет собой кислое алюмосиликатное сырье (табл. 2).

Торфяная зола не гидратируется водой и самостоятельно не твердеет. Для полной гидратации исследуемой золы с проявлением вяжущих свойств необходимо введение щелочного компонента. В проводимых исследованиях в качестве щелочной составляющей использовано промышленное жидкое стекло из силикат-глыбы по ГОСТ 13078–81 и жидкое стекло, синтезируемое из микрокремнезема Новолипецкого металлургического комбината. В результате твердения (в нормальных условиях и при пропаривании) композиции, состоящей из торфяной золы, жидкого стекла и кварцевого песка, получен искусственный камень с прочностью 10–20 МПа и более, что является прямым подтверждением наличия вяжущих свойств у торфяной золы и основанием для дальнейших исследований с целью разработки составов и технологии получения ЗЩВ и бетонов на базе отходов механической переработки древесины.

Список литературы

1. Лукаш А.А., Лукутцова Н.П. Новые строительные материалы и изделия из древесины. М.: АСВ. 2015. 288 с.
2. Чулкова И.Л., Пастушенко И.В., Парфенов А.С. Строительные композиты на основе местного техногенного сырья // *Технологии бетонов*. 2014. № 3 (92). С. 12–13.
3. Баракхтенко В.В., Бурдонов А.Е., Зелинская Е.В., Толмачева Н.А., Головнина А.В., Самороков В.Э. Исследование свойств современных строительных материалов на основе промышленных отходов // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10–12. С. 2599–2603.
4. Бужевич Г.А., Савин В.И. Состояние и основные направления научно-исследовательских работ по арболиту. Арболит. Производство и применение. М.: Стройиздат, 1979. 36 с.
5. Наназашвили И.Х. Арболит – эффективный строительный материал. М.: Стройиздат. 1984. 121 с.
6. Килышева Н.В., Данилов В.Е., Айзенштадт А.М. Теплоизоляционный материал из коры сосны и ее экстракта // *Строительные материалы*. 2016. № 11. С. 48–51.
7. Русина В.В. Золошлакощелочные вяжущие на основе жидкого стекла из примесесодержащего микрокремнезема // *Строительные материалы*. 2011. № 11. С. 25–28.
8. Русина В.В. Закономерности формирования состава и свойств микрокремнезема // *Бетон и железобетон*. 2009. № 3. С. 20–23.
9. Лукаш А.А., Лукутцова Н.П. Перспективность производства строительных материалов из древесины с ядровой гнилью // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 85–88.
10. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Афанасьева О.В., Федотов А.И., Ермолаев Д.В. Современные тенденции переработки и использования золошлаковых отходов ТЭС и котельных // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 6. С. 225. (https://elibrary.ru/download/elibrary_22877254_27213876.pdf)
11. Яценко Е.А., Грушко И.С., Гольцман Б.М. Опыт создания строительных материалов на основе зол и шлаков тепловых электростанций // *Научное обозрение*. 2014. № 9–2. С. 443–448.
12. Панибратов Ю.П., Староверов В.Д. К вопросу применения зол ТЭС в бетонах // *Технологии бетонов*. 2012. № 1–2. С. 43–47.

References

1. Lukash A.A., Lukuttsova N.P. Novye stroitel'nye materialy i izdeliya iz drevesiny [New construction materials and products from wood]. Moscow: ASV. 2015. 288 p.
2. Chulkova I.L., Pastushenko I.V., Parfenov A.S. Construction composites on the basis of local technogenic raw materials. *Tekhnologii Betonov*. 2014. No. 3 (92), pp. 12–13. (In Russian).
3. Barakhtenko V.V., Burdonov A.E., Zelinskaya E.V., Tolmacheva N.A., Golovkina A.V., Samorokov V.E. Research of properties of modern construction materials on the basis of industrial wastes. *Fundamental'nye Issledovaniya*. 2013. No. 10–12, pp. 2599–2603. (In Russian).
4. Buzhevich G.A., Savin V.I. Sostoyanie i osnovnye napravleniya nauchno-issledovatel'skikh rabot po arbolitu. *Arbolit. Proizvodstvo i primeneniye* [State and main directions of research works on wood concrete. Wood concrete. Production and application]. Moscow: Sroyizdat. 1979. 36 p.
5. Nanazashvili I.Kh. Arbolit – effektivnyi stroitel'nyi material [Wood concrete – effective construction material]. Moscow: Sroyizdat. 1984. 121 p.
6. Kilyusheva N.V., Danilov V.E., Aizenshtadt A.M. Heat insulation material produced from pine bark and its extract. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 11, pp. 48–51. (In Russian).
7. Rusina V.V. Ash-slag-alkali binders on the basis of liquid glass from impurities-containing microsilica. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 11, pp. 25–28. (In Russian).
8. Rusina V.V. Regularities of formation of structure and properties of microsilicon dioxide. *Beton i Zhelezobeton*. 2009. No. 3, pp. 20–23. (In Russian).
9. Lukash A.A., Lukuttsova N.P. Perspektivity of producing building materials from wood with heart rot. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 85–88. (In Russian).
10. Mingaleeva G.R., Shamsutdinov E.V., Afanas'eva O.V., Fedotov A.I., Ermolaev D.V. Current trends of processing and use of cindery and slag waste of thermal power plant and boiler rooms. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. No. 6, p. 225. (https://elibrary.ru/download/elibrary_22877254_27213876.pdf)
11. Yatsenko E.A., Grushko I.S., Gol'tsman B.M. Experience of creation of construction materials on the basis of the evils and slags of thermal power plants. *Nauchnoe Obozrenie*. 2014. No. 9–2, pp. 443–448. (In Russian).
12. Panibratov Yu.P., Staroverov V.D. To a question of use of the evils of thermal power plant in concrete. *Tekhnologii Betonov*. 2012. No. 1–2, pp. 43–47. (In Russian).

Е.А. БАРТЕНЬЕВА, магистр (ek.bartenjeva@yandex.ru), Н.А. МАШКИН, д-р техн. наук (nmashkin@yandex.ru)

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
(630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113)

Исследование свойств модифицированного пенобетона

Актуальной проблемой для строительства является снижение плотности и теплопроводности ячеистых бетонов введением модифицирующих добавок. Приведены результаты исследования неавтоклавно пенобетона на основе золы-уноса, модифицированного добавками. Рассматриваются свойства пены и неавтоклавно пенобетона с введением добавок-электролитов, волокнистых и минеральных добавок. В ходе проведенных исследований установлено, что применение минеральных добавок, таких как диопсид и волластонит, наиболее эффективно в неавтоклавно пенобетоне на протеиновом пенообразователе. Данные модификаторы позволяют увеличить агрегативную устойчивость пенобетонной смеси. Предлагаемый состав и технология производства пенобетонных изделий обеспечивают снижение средней плотности материала по сравнению с контрольным составом при введении добавки волластонита на 31%, при введении диопсида – на 54%. Коэффициент теплопроводности при введении волластонита и диопсида снижается до 41–43% по сравнению с контрольным составом. Коэффициент стойкости пены в растворяющей смеси увеличивается на 9,5% при введении волластонита, при введении диопсида – на 23%.

Ключевые слова: ячеистый бетон, пенобетон, белковый пенообразователь, добавки-электролиты, зола-уноса, волластонит, диопсид.

Для цитирования: Бартеньева Е.А., Машкин Н.А. Исследование свойств модифицированного пенобетона // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 36–40.

E.A. BARTENYEVA, Master (ek.bartenjeva@yandex.ru), N.A. MASHKIN, Doctor of Science (Engineering) (nmashkin@yandex.ru)
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (SIBSTRIN) (113, Leningradskaya Street, Novosibirsk, 630008, Russian Federation)

Research in Properties of Modified Foam Concrete

The actual problem for the construction is to reduce the density and heat conductivity of cellular concretes by introducing modifying additives. Results of the study of non-autoclaved concrete on the basis of fly ash modified with additives are presented. Properties of the foam and non-autoclaved foam concrete with introducing additive-electrolytes, fiber and mineral additives are considered. In the course of the study conducted it is established that the use of mineral additives such as diopside and wollastonite is the most efficient in the non-autoclaved foam concrete with protein-based foaming agent. These modifiers make it possible to improve the aggregate stability of the foam concrete mix. The proposed composition and production technology of foam concrete products provide the reduction in the average density of the material in comparison with the control composition when introducing the wollastonite additive by 31%, when introducing the diopside by 54%. The heat conductivity factor when introducing the wollastonite and diopside is reduced up to 41–43% in comparison with the control composition. The foam stability factor is increased in the mortar mix by 9.5% when introducing the wollastonite, by 25% when introducing the diopside.

Keywords: cellular concrete, foam concrete, protein-based foaming agent, additive-electrolytes, fly ash, wollastonite, diopside.

For citation: Bartenyeva E.A., Mashkin N.A. Research in properties of modified foam concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 10, pp. 36–40. (In Russian).

Использование пенобетона в строительстве неуклонно растет: он применяется в качестве конструкционного, конструкционно-теплоизоляционного материала, при декорировании и отделке [1–3]. Относительно простая технология, доступность сырьевых материалов, относительная дешевизна, экологичность и хорошие теплоизолирующие свойства неавтоклавно пенобетона делают его востребованным на рынке строительных материалов.

Однако производители не всегда соблюдают рекомендуемые рецептуры и технологию получения пенобетона, не используют модифицирующих добавок. В результате готовые изделия обладают недостаточной прочностью, значительной усадкой, повышенной теплопроводностью.

Задача данной работы – подобрать оптимальные составы пенобетонных смесей и выявить наиболее эффективные модификаторы для обеспечения улучшенных характеристик неавтоклавно пенобетона.

На основании проведенных ранее исследований в работе рассматривается пенобетон с использованием белкового пенообразователя, в качестве модификаторов используются добавки-электролиты, минеральные и волокнистые добавки. Приготовление пенобетона осуществлялось на турбулентном пенобетоно-смесителе, твердение происходило в естественных условиях.

Для получения пенобетона использовался портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 (г. Искитим), имеющий следующий химический состав, мас. %: Na_2O_3 – 0,41;

MgO – 1,94; Al_2O_3 – 4,29; SiO_2 – 20,46; P_2O_5 – 0,08; K_2O – 0,97; CaO – 63,63; TiO_2 – 0,23; MnO – 0,09; Fe_2O_3 – 3,69; SO_3 – 1,77; ППП – 2,44. Истинная плотность портландцемента – 3060 кг/м³, насыпная плотность – 1083 кг/м³. В качестве кремнеземистого заполнителя применялась кислая зола-уноса, полученная на ТЭЦ-5 г. Новосибирска от сжигания кузнецких каменных углей. Химический состав золы, мас. %: SiO_2 – 60,77; Al_2O_3 – 19,45; Fe_2O_3 – 5,16; CaO – 5,12; MgO – 2,10; Na_2O – 0,89; K_2O – 2,01; SO_3 – 0,54; P_2O_5 – 0,39; TiO_2 – 0,82; BaO – 0,20; MnO – 0,07. Насыпная плотность золы – 885 кг/м³, истинная плотность – 1870 кг/м³, остаток на сите 008 (по массе) – 4,49%. Белковый пенообразователь – «FoamСem» (Италия).

В качестве волокнистых добавок использовалось стеклянное рубленое волокно марки ЕС 13-12-4С (Армпласт) с длиной волокон 12,3 мм и диаметром 13,7 мкм, а также базальтовая фибра с длиной волокон 12 мм, диаметром 12 мкм.

Из минеральных добавок применяли волластонит и диопсид. Волластонит – минерал из класса силикатов Алтайского месторождения, истинная плотность которого равна 2455 кг/м³, удельная поверхность составляла 100 м²/кг, 300 м²/кг и 600 м²/кг. Химический состав волластонита: SiO_2 – 46,1; Al_2O_3 – 2,93; Fe_2O_3 – 4,44; CaO – 45,12; MgO – 0,9; ППП – 0,51. Диопсид Слюдянского месторождения со следующим химическим составом, мас. %: CaO – 25,03; MgO – 20,01; SiO_2 – 51,33; Al_2O_3 – 1,88; Fe_2O_3 – 0,84; MgO – 20,01; K_2O – 0,17; TiO_2 – 0,14; ППП – 0,61; истинная плот-

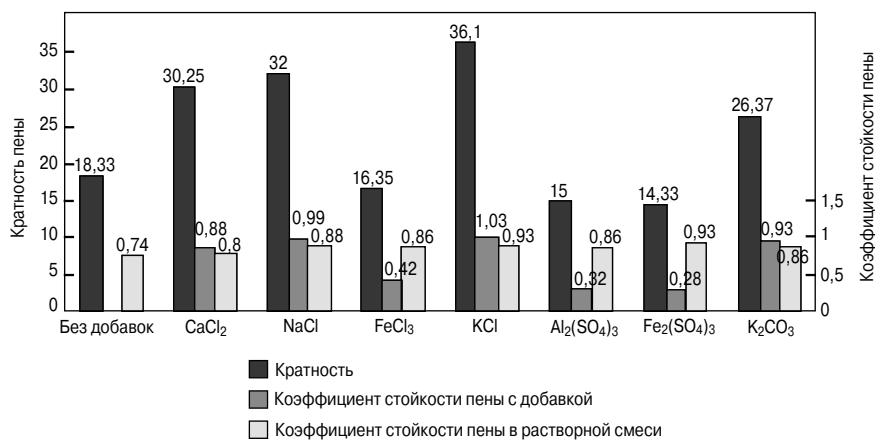


Рис. 1. Влияние добавок-электролитов на свойства пены

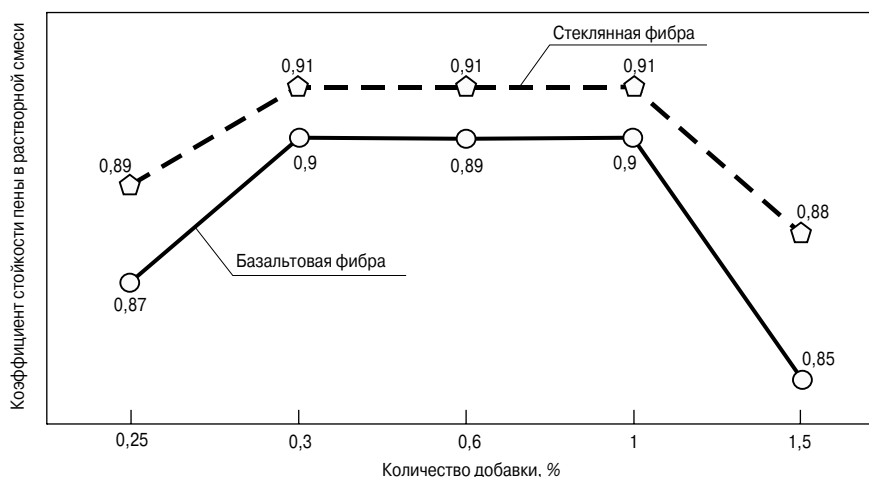


Рис. 2. Влияние волоконистых добавок на стойкость пены в растворяющей смеси

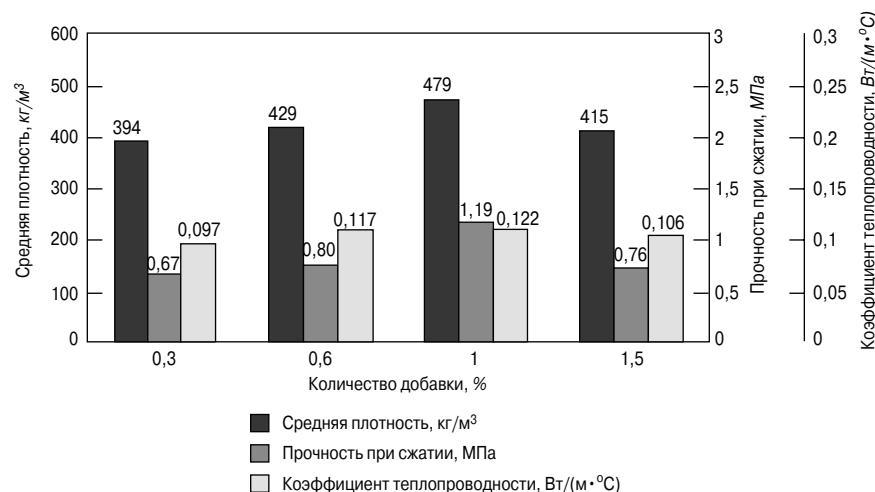


Рис. 3. Влияние стекловолоконной фибры на свойства пенобетона

ность — 2778 кг/м³; удельная поверхность — 100 м²/кг, 300 м²/кг и 700 м²/кг.

Наиболее известным вариантом повышения качества готового продукта в индустрии пенобетона является применение добавок-электролитов [4–6]. Предполагается, что такой технологический прием позволяет ускорить процесс твердения вяжущего вещества, а также снизить водотвердое отношение без ухудшения удобоукладываемости смеси и тем самым увеличить прочность пенобетона. Были проведены эксперименты

с введением в пенобетон наиболее распространенных добавок-электролитов, таких как CaCl₂, NaCl, KCl и K₂CO₃, FeCl₃, Al₂(SO₄)₃, Fe₂(SO₄)₃. Время приготовления пены составило 4,5 мин, затем вводился 1% добавки-электролита от массы портландцемента и производилось перемешивание в течение 1 мин (рис. 1).

Введение электролитов в пену позволяет повысить кратность пены (K) в случае с CaCl₂, NaCl, KCl и K₂CO₃. При увеличении количества добавки кратность пены увеличивается. Наименьшая стойкость пены в растворяющей смеси (C_{ст}^н) соответствует Al₂(SO₄)₃ и Fe₂(SO₄)₃, наибольшая характерна для KCl.

При введении FeCl₃, Al₂(SO₄)₃, Fe₂(SO₄)₃ кратность пены становится меньше по сравнению с контрольным образцом, происходит синергизис. Введение электролитов в пенобетонную смесь способствует увеличению связанной с ним воды, отнимая ее у молекул поверхностно-активного вещества, т. е. введение добавок электролитов способствует разрушению структуры пены. В связи с этим стойкость пены в растворяющей смеси снижается в соответствии с зарядом катионов K⁺>Na⁺>Ca²⁺>Al³⁺>Fe³⁺ и зарядом анионов Cl⁻>CO₃²⁻>SO₄²⁻.

Поэтому для получения пенобетона введение FeCl₃, Al₂(SO₄)₃, Fe₂(SO₄)₃ производилось в растворяющую смесь. Данные по средней плотности ρ и пределу прочности при сжатии R_{сж} представлены в табл. 1.

При твердении пенобетона продолжается воздействие электролитов на присоединение воды, что сказывается на усадке пенобетона и повышенной плотности образцов.

На сегодняшний день достаточно распространено в приготовлении пенобетона использование волоконистых добавок (хризотил-асбестовых, полимерных, минеральных) [7–9]. В работе были исследованы базальтовая и стекловолоконная фибры. Выбор данных добавок обусловлен способностью армировать пенобетонную смесь и повышать агрегативную устойчивость, что важно для получения качественного пенобетона, особенно твердеющего в естественных условиях. Данные по влиянию волоконистых добавок на стойкость пены в растворяющей смеси представлены на рис. 2; по средней плотности, прочности при сжатии, теплопроводности — на рис. 3, 4.

Введение стеклянных и базальтовых волокон положительно влияет на стойкость пены в растворяющей смеси, значения коэффициента стойкости пены повышаются максимально (0,89–0,91) при введении фибры в количестве 0,3–1% (для обоих видов фибры). В целом введение базальтовых волокон повышает агрегативную устойчивость пенобетонной смеси на 22%, а введение стеклянных — на 23%.

Таблица 1

Добавка	К	C _{цт} ⁿ	ρ, кг/м ³	R _{сж} , МПа	0,1%				0,5%				1%			
					К	C _{цт} ⁿ	ρ, кг/м ³	R _{сж} , МПа	К	C _{цт} ⁿ	ρ, кг/м ³	R _{сж} , МПа	К	C _{цт} ⁿ	ρ, кг/м ³	R _{сж} , МПа
CaCl ₂	17,31	0,91	457	0,54	20,3	0,72	726	1,65	30,25	0,8	489	0,66				
NaCl	15,42	0,85	534	0,97	16,54	0,87	572	0,8	32	0,88	370	0,32				
FeCl ₃	16,35	0,86	463	0,52	16,35	0,87	494	0,76	16,35	0,86	493	0,73				
KCl	13,96	0,89	473	0,97	16,87	0,85	682	1,76	36,1	0,93	472	0,51				
Al ₂ (SO ₄) ₃	15	0,9	505	0,79	15	0,93	355	0,77	15	0,86	470	0,57				
Fe ₂ (SO ₄) ₃	14,33	0,93	569	0,77	14,33	0,9	600	1,29	14,33	0,93	496	0,83				
K ₂ CO ₃	10,47	0,82	658	1,51	17,16	0,51	993	3,57	26,37	0,86	800	1,22				

Таблица 2

Вид добавки	Удельная поверхность, м ² /кг	Способ введения добавки	Количество добавки, мас. %							
			0		1		2,5		4	
			К	C _{цт} ⁿ	К	C _{цт} ⁿ	К	C _{цт} ⁿ	К	C _{цт} ⁿ
Волластонит	100	Пена	18,3	0,74	20,65	0,79	13,53	0,91	19,8	0,71
		Растворная смесь			–	0,81	–	0,89	–	0,73
	300	Пена			15,71	0,84	16	0,84	12,22	0,85
		Растворная смесь			–	0,96	–	0,93	–	0,96
	600	Пена			21,23	0,67	19,78	0,84	20,51	0,56
		Растворная смесь			–	0,81	–	0,87	–	0,74
Диопсид	100	Пена			13,24	1,14	14,69	0,77	17,89	0,66
		Растворная смесь			–	0,91	–	0,93	–	0,66
	300	Пена			16,29	0,9	14,11	0,86	15,6	0,91
		Растворная смесь			–	0,89	–	0,9	–	0,87
	700	Пена			11,93	0,96	13,96	0,87	15,42	0,84
		Растворная смесь			–	0,87	–	0,9	–	0,93

За счет улучшения агрегативной устойчивости смеси при введении волокнистых добавок снижается плотность и теплопроводность материала. Наименьшие показатели соответствуют количеству добавки 0,3% от массы цемента для стеклянной и базальтовой фибры, минимальная плотность соответствует марке D400. При введении базальтовой фибры теплопроводность материала меньше по сравнению с пенобетоном со стеклянной фиброй. Механизм действия волокнистых добавок заключается в армировании материала и препятствии распространению трещин.

Для повышения устойчивости пенной структуры рекомендуется использовать тонкодисперсные минеральные компоненты, в качестве которых использовались волластонит и диопсид [10, 11]. Значения кратности пены и коэффициента стойкости пены в растворной смеси представлены в табл. 2. При введении волластонита в пену наблюдается повышение кратности пены. Наибольший выход пены отмечен для волластонита с удельной поверхностью 600 м²/кг. Выход пены увеличивается по сравнению с контрольной пеной на 16%.

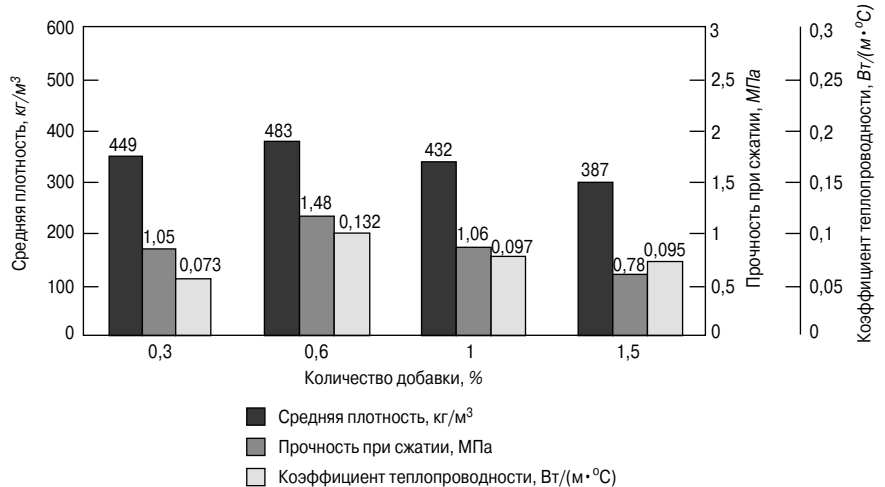


Рис. 4. Влияние базальтовой фибры на свойства пенобетона

Введение диопсида в состав пены уменьшает ее кратность по сравнению с контрольным образцом.

Коэффициент стойкости пены в поризованной растворной смеси выше для пенобетона с минеральными добавками, введенными в растворную смесь.

Наиболее высокие показатели коэффициента стойкости пены в растворной смеси соответствуют удельной поверхности добавки 300 м²/кг, количеству добав-

Таблица 3

Вид добавки	Удельная поверхность, м ² /кг	Способ введения добавки	Количество добавки, мас. %							
			0		1		2,5		4	
			ρ	R	ρ	R	ρ	R	ρ	R
Волластонит	100	Пена	547	1,22	415	1,37	435	0,55	638	1,56
		Растворная смесь			375	1,00	395	0,55	449	1,61
	300	Пена			420	0,97	502	1,00	512	1,34
		Растворная смесь			420	0,94	435	1,19	444	1,3
	600	Пена			545	2,1	404	1,05	783	2,95
		Растворная смесь			361	0,73	406	1,18	436	1,94
Диопсид	100	Пена			345	1,02	560	1,47	664	1,54
		Растворная смесь			274	0,57	377	0,79	520	1,22
	300	Пена			401	1,22	450	2,74	563	1,39
		Растворная смесь			433	1,58	467	0,88	477	0,69
	700	Пена			488	1,14	463	1,06	530	1,43
		Растворная смесь			434	1,37	461	0,77	424	0,73

Таблица 4

Вид добавки	Удельная поверхность, м ² /кг	Способ введения добавки	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)			
			Количество, % мас.			
			0	1	2,5	4
Волластонит	100	Пена	0,122	0,119	0,105	0,122
		Растворная смесь		0,07	0,107	0,114
	300	Пена		0,082	0,097	0,117
		Растворная смесь		0,075	0,103	0,085
	600	Пена		0,093	0,104	0,134
		Растворная смесь		0,083	0,095	0,094
Диопсид	100	Пена		0,088	0,108	0,13
		Растворная смесь		0,069	0,097	0,105
	300	Пена		0,073	0,096	0,079
		Растворная смесь		0,074	0,091	0,091
	700	Пена		0,101	0,086	0,11
		Растворная смесь		0,084	0,09	0,076

ки для волластонита – 1–2,5%. Для диоксида наилучшие показатели соответствуют удельной поверхности 100 м²/кг, а количество добавки составляет 1%, при введении в растворную смесь – 1 и 2,5%. Введение диоксида в количестве 1% в пенообразователь увеличивает коэффициент стойкости пенобетонной смеси до значения 1,14.

Увеличение количества добавки повышает плотность пенобетона (табл. 3). Введение диоксида способствует снижению средней плотности пенобетона значительно по сравнению с волластонитом. При увеличении удельной поверхности добавки изменения плотности образцов незначительны.

Наибольший показатель прочности получен для пенобетона с диоксидом удельной поверхностью 300 м²/кг.

Благоприятное воздействие волластонита на прочность пенобетона возможно за счет армирования раствора, что происходит из-за игольчатой формы его частиц. Данный эффект позволяет снизить пластическую усадку, ограничить седиментацию минеральных составляющих за счет вероятного создания трехмер-

ной сети в межпоровом пространстве пенобетонной смеси.

Введение добавок в пенобетон позволяет уменьшить теплопроводность (табл. 4). Для диоксида коэффициент теплопроводности несколько ниже, чем волластонита.

Введение диоксида и волластонита позволяет повысить агрегативную устойчивость пенобетонной смеси.

Похожий механизм действия осуществляется и при введении волокнистых добавок в пенобетон. Однако показатели стойкости пены в растворной смеси в этом случае ниже (0,89–0,91), чем у минеральных добавок (0,9–1,14), что позволяет предположить, что частицы волластонита также являются ядрами, т. е. подложками для новых центров кристаллизации, а добавки диоксида, кроме того, способствуют перераспределению напряжений в материале за счет его большей, чем у цементного камня, твердости.

По результатам эксперимента отмечено, что на свойства пенобетона влияет дисперсность добавки, предпочтительнее вводить добавки с удельной поверхностью от 300 м²/кг и ниже.

При минимальном количестве вводимой добавки получают наиболее низкие показатели плотности и коэффициента теплопроводности пенобетона. По-видимому, это связано со значительным влиянием минеральных добавок (в большей степени диоксида), в первую очередь на агрегативную устойчивость пенобетонной смеси. Так как минеральные добавки оказывают уплотняющее действие на межпоровые перегородки пенобетона, при максимальном введении добавки этот процесс усиливается, что видно по высокому значению плотности пенобетона (500–700 кг/м³). Минимальное же количество добавки обеспечивает устойчивость пенобетонной смеси, уплотняет и упрочняет межпоровые перегородки настолько, что при перемешивании растворной смеси и пены продолжает происходить воздухововлечение, способствующее образованию оптимальной пористой структуры пенобетона.

Выводы.

1. Добавки-электролиты негативно влияют на стойкость пены протеинового пенообразователя и пе-

Список литературы

1. Герасимов М.М., Лetyагина А.Н. Преимущества использования литого пенобетона в современном строительстве. *Актуальные проблемы управления экономикой и финансами транспортных компаний: Сборник трудов Национальной научно-практической конференции.* Москва, 2016. С. 70–73.
2. Лундышев И.А. История работы с монолитным пенобетоном в жилищном строительстве. решения, проблемы и особенности // *Жилищное строительство.* 2014. № 5. С. 67–72.
3. Славчева Г.С., Чернышов Е.М., Новиков М.В. Теплоэффективные пенобетоны нового поколения для малоэтажного строительства // *Строительные материалы.* 2017. № 7. С. 20–24.
4. Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М. Пенобетоны для интенсивных технологий строительства. Белгород: БГТУ, 2015. 127 с.
5. Моргун Л.В. Пенобетон. Ростов н/Д.: РГСУ, 2012. 154 с.
6. Рахимбаев Ш.М., Половнева А.В., Аниканова Т.В. Влияние новых добавок электролитов на свойства мелкозернистого бетона // *Известия высших учебных заведений. Строительство.* 2015. № 11–12 (683–684). С. 12–17.
7. Кудряков А.И., Стешенко А.Б. Пенобетон дисперсно-армированный теплоизоляционный естественного твердения // *Вестник ТГАСУ.* 2014. № 2 (43). С. 127–133.
8. Жуков А.Д., Рудницкая В.А. Пенобетон, армированный базальтовой фиброй // *Вестник МГСУ.* 2012. № 6. С. 83–86.
9. Кадомцева Е.Э., Моргун Л.В., Бескопыльная Н.И., Моргун В.Н., Бердник Я.А. Исследование влияния бимодульности фибропенобетона на прочность армированных балок // *Строительные материалы.* 2017. № 5. С. 52–55.
10. Хасанов Н.М. Применение природного волластонита в качестве армирующей и стабилизирующей добавки в составе ЦМА // *Вестник гражданских инженеров.* 2016. № 3. С. 181–186.
11. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Зырянова В.Н. Влияние минеральных микронаполнителей на свойства композиционных строительных материалов. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. 124 с.

нобетонной массы; при последующем твердении материала постепенно происходит его усадка, нарушается пористая структура и повышается плотность материала.

2. За счет улучшения агрегативной устойчивости смеси при введении волокнистых добавок снижается плотность и теплопроводность материала. Наименьшие показатели отмечаются при содержании стеклянной и базальтовой фибры в количестве 0,3% от массы цемента, минимальная плотность пенобетона соответствует марке D400. При введении базальтовой фибры показатель теплопроводности меньше по сравнению с пенобетоном со стеклянной фиброй.

3. Введение волластонита с удельной поверхностью 100 м²/кг в растворную смесь в количестве 1% позволяет получить пенобетон с плотностью 375 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности 0,07 Вт/(м·°С).

4. Для диоксида наилучшие показатели соответствуют удельной поверхности 100 м²/кг, а количество добавки составляет 1% при введении в растворную смесь. Средняя плотность пенобетона составляет 274 кг/м³, коэффициент теплопроводности 0,069 Вт/(м·°С).

References

1. Gerasimov M.M., Letyagina A.N. Advantages of using cast foam concrete in modern construction. *Actual problems of managing the economy and finance of transport companies: a collection of works of the National Scientific and Practical Conference.* Moscow. 2016, pp. 70–73. (In Russian).
2. Lundyshchev I.A. The history of work with monolithic foam concrete in housing construction. solutions, problems, and features. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 5, pp. 67–72. (In Russian).
3. Slavcheva G.S., Chernyshov E.M., Novikov M.V. Thermal efficient foam concretes of a new generation for low-rise construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 20–24. (In Russian).
4. Anikanova T.V., Rakhimbaev Sh.M. Penobetonny dlya intensivnykh tekhnologii stroitel'stva [Foam concrete for intensive construction technology]. Belgorod: BSTU. 2015. 127 p.
5. Morgun L.V. Penobeton [Foam concrete]. Rostov-on-Don: RGSU. 2012. 154 p.
6. Rakhimbaev Sh.M., Polovneva A.V., Anikanova T.V. The effect of new electrolyte additives on the properties of fine-grained concrete. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Stroitel'stvo.* 2015. No. 11–12 (683–684), pp. 12–17. (In Russian).
7. Kudyakov A.I., Steshenko A.B. Foam concrete, dispersed-reinforced, heat-insulated, natural hardening. *Vestnik TGASU.* 2014. No. 2 (43), pp. 127–133. (In Russian).
8. Zhukov A.D., Rudnitskaya V.A. Foam concrete reinforced with basalt fiber. *Vestnik MGSU.* 2012. No. 6, pp. 83–86. (In Russian).
9. Kadomtseva E.E., Morgun L.V., Beskopylnaya N.I., Morgun V.N., Berdnik 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).
10. Khasanov N.M. The use of natural wollastonite as a reinforcing and stabilizing additive in the composition of SCHM. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov.* 2016. No. 3, pp. 181–186. (In Russian).
11. Berdov G.I., Il'ina L.V., Zyryanova V.N. Vliyanie mineral'nykh mikronapolnitelei na svoystva kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov [The influence of mineral micro fillers on the properties of composite building materials]. Novosibirsk: NGASU (Sibstrin). 2013. 124 p.

УДК 691; 691: 621.1

Ю.А. ГОНЧАРОВ¹, инженер, председатель Совета директоров,
Г.Г. ДУБРОВИНА¹, инженер, технический советник (dubrovina_gg@mail.ru);
А.Г. ГУБСКАЯ², канд. техн. наук, зав. лабораторией (gubskaya@niism.by)

¹ ОАО «БЕЛГИПС» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 24)

² ГП «Институт НИИСМ» (220014, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Минина, 23)

Гипсокартон для защиты помещений от проникновения радона

Одним из основных признаков нарушения экологического равновесия между природными факторами и жизнедеятельностью человека является увеличение радиационного фона, создаваемого как природными, так и искусственными (техногенными) источниками излучения. Описан механизм воздействия радона и короткоживущих дочерних продуктов радона на человека, пути проникновения их в здания. Путем измерения плотности потока радона с поверхности кирпича без покрытия и с покрытием показано, что использование защитных покрытий позволяет снизить плотность потока радона с поверхности строительных конструкций. Защитные материалы для радонозащиты (с низкой радонопроницаемостью) должны иметь высокую плотность и низкую удельную эффективную активность естественных радионуклидов. Разработаны составы композиции для изготовления гипсокартонных листов для защиты помещений от проникновения радона. Выявлено, что степень плотности потока радона при отделке бетона и кирпича радонозащитной гипсовой плитой снижается в 2,3–3 раза в зависимости от количества добавляемой химически модифицированной углеродной добавки.

Ключевые слова: радон, плита гипсовая радонозащитная, плотность потока радона.

Для цитирования: Гончаров Ю.А., Дубровина Г.Г., Губская А.Г. Гипсокартон для защиты помещений от проникновения радона // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 41–44.

Y.A. GONCHAROV¹, Engineer, Chairman of the Board of Directors, G.G. DUBROVINA¹, Research Engineer Technical Advisor(dubrovina_gg@mail.ru);
A.G. GUBSKAYA², Candidate of Sciences (Engineering), Head of Laboratory(gubskaya@niism.by)

¹ JSC "BELGIPS" (24, Kozlova Street, Republic of Belarus, 220037, Minsk)

² SE "Institute NIISM" (23, Minina Street, Republic of Belarus, 220014, Minsk)

Gypsum Boards for Protection of Premises against Penetration of Radon

One of the main signs of violation of the ecological balance between natural factors and human activity is the increasing of the radiation background, created by both natural and artificial (anthropogenic) sources of radiation. The mechanism of effect of radon and short-lived daughter products of radon on human beings, the ways of their penetration into buildings are described. By measuring the flux density of radon from the surface of a brick without covering and with covering, it is shown that the use of protective coverings makes it possible to reduce the flux density of radon from the surface of building structures. Protective materials for protection against radon (with a low radon penetration) must have a high density and a low specific efficient activity of natural radionuclides. Formulations for the production of gypsum boards for the protection of premises against penetration of radon have been developed. It is revealed that the grade of flux density of radon when finishing the concrete and brick with a radon protection gypsum slab is reduced by 2.3–3 times depending on the quantity of an added chemically modified carbon additive.

Keywords: radon, radon-protecting gypsum slab, flux density of radon.

For citation: Goncharov Y.A., Dubrovina G.G., Gubskaya A.G. Gypsum boards for protection of premises against penetration of radon. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 10, pp. 41–44. (In Russian).

Известно, что до 50% радиационного фона помещений обусловлено радоном и ДПР. Одним из основных направлений противорадиационных мероприятий является разработка новых видов строительных материалов, обеспечивающих снижение содержания радона в воздухе помещений зданий различного функционального назначения.

Радон – естественный радиоактивный инертный газ без вкуса и запаха, который образуется при распаде радия-226, входящего в семейство урана. Благодаря относительно большому периоду полураспада (3,82 дня) и газообразному состоянию радон распространяется по порам и трещинам земных пород, выходит в воздух помещений и в атмосферу.

Присутствие радона в воздухе помещения может быть обусловлено его поступлениями из следующих источников:

- залегающих под зданием грунтов;
- ограждающих конструкций, изготовленных с применением строительных материалов из горных пород;
- наружного воздуха;
- воды из системы водоснабжения здания;
- сжигаемого в здании топлива.

При распаде радона образуются короткоживущие дочерние продукты (ДПР): RaA (218), RaB (214) и

RaC (214) с периодом полураспада 3,1; 26,84; 19,7 мин соответственно. Эпидемиологическими исследованиями обнаружена прямая связь между облучением радоном и онкологическими заболеваниями (рис. 1).

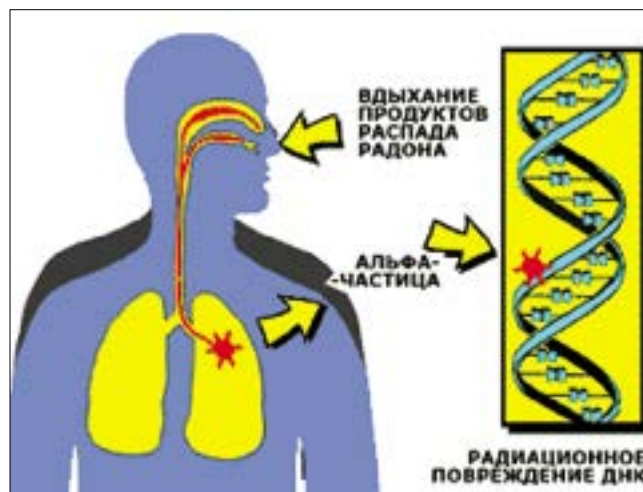


Рис. 1. Механизм облучения человека радоном

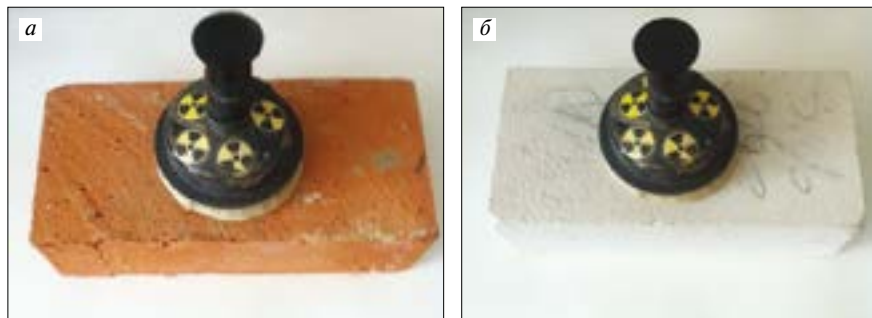


Рис. 2. Схема измерений плотности потока радона с поверхности керамического кирпича: а – без покрытия; б – с покрытием

Средняя эффективная эквивалентная доза, обусловленная природными источниками, составляет около 2/3 дозы от всех источников ионизирующего излучения, действующих в настоящее время на человека. Подсчет вклада радона в формирование средней дозы облучения человека в процессе его жизни дает неожиданные результаты. Общий вклад естественного облучения в дозовую нагрузку составляет около 72%.

В 2015 г. Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) издала новые рекомендации – Публикацию 126 [1] как дополнение к более ранней Публикации 115 [2]. Анализируя данные исследований, МКРЗ пришла к выводу, что риск от радона для бронхолегочной системы человека недооценен в 1,5 раза, и увеличила соответствующие оценки радиационных рисков.

В различных странах накоплена обширная информация о содержании радона в жилых и служебных помещениях. Эти данные постоянно пополняются и уточняются, поэтому представления о средних концентрациях радона в зданиях и его ПДК претерпевают изменения.

В настоящее время ужесточились требования Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [3] по уменьшению уровня радона в жилых зданиях и на рабочих местах. Важность проблемы защиты от радона привела к внесению изменений в Директивы Евратома [4] с требованием от всех государств – членов Евросоюза наличия национальных «Планов действий» по радону.

В России с 1994 г. действует программа «Радон». В Беларуси такая программа не разработана, хотя проблема радона является актуальной как для России, так и для Беларуси и требует решения.

Основные принципы противорадонной защиты отражены в ст. 13 Закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения», определяющей выбор земельных участков под проектирование, строительство и эксплуатацию жилых и общественных зданий с учетом уровня поступления радона и гамма-излучения. Эти меры осуществляются в целях ограничения облучения населения от природных источников излучения.

Разработка способов и эффективных материалов, препятствующих поступлению радона в воздух жилых помещений, представляется актуальной задачей.

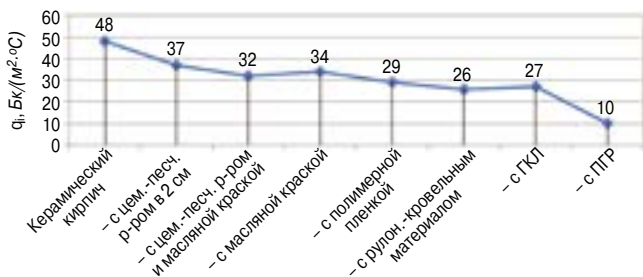


Рис. 3. Изменение плотности потока радона на поверхности керамического кирпича с различными видами отделки

Учитывая важность проблемы снижения эквивалентной равновесной объемной активности дочерних продуктов изотопов радона (ЭРОА) в воздухе помещений, исследователи ОАО «БЕЛГИПС» совместно с государственным предприятием «Институт НИИСМ» провели исследования по определению плотности потока радона с поверхности различных видов строительных материалов.

Плотность потока радона определялась в соответствии с разработанной ГП «Институт НИИСМ» методикой МВИ МН 1885–2003. Граница погрешности измерений плотности потока радона не более 34% в диапазоне измерений 15–10000 Бк/м³ при доверительной вероятности 0,95. При проведении измерений применяли гамма-спектрометр «Прогресс».

Принцип измерения активности радона основан на его адсорбции активированным углем в адсорберах с последующим измерением активности по интенсивности гамма-излучения дочерних продуктов распада радона Pb-214 и Bi-214, находящихся в состоянии радиоактивного равновесия. Обработка результатов измерений проводилась с помощью программы обработки спектров гамма-спектрометрического комплекса «Прогресс». До проведения измерений плотности потока радона с поверхности строительных материалов проводят измерение фоновой активности активированного угля.

Значение плотности потока радона с поверхности строительной конструкции рассчитывают по формуле:

$$\sigma = \frac{A \exp(\lambda t)}{Kn \left(1 - \exp(-\lambda t_{\text{exp}})\right)} 10^{-1},$$

где A – суммарная активность радона в угле накопительной камеры, Бк; t – интервал времени между окончанием экспонирования и началом измерения, ч; t_{exp} – время экспонирования, ч; λ – постоянная распада радона = 0,00755 ч⁻¹; n – число одновременно экспонируемых накопительных камер; K – градуировочный коэффициент ($K=1,38-0,25t_{\text{exp}}+0,141\exp(-0,774t_{\text{exp}})$).

На рис. 2 приведена схема измерений плотности потока радона с поверхности кирпича без и с его покрытием.

На рис. 3, 4 представлена плотность потока радона с поверхностями керамического и силикатного кирпича с разными видами отделки и без нее.

В Республике Беларусь экспозиционная доза радиационного фона до аварии на ЧАЭС не превышала 10–12 мкР/ч. По данным геологов, ее величина в районе Мозыря равнялась 2 мкР/ч, в северных регионах Беларуси, где расположены глинистые осадочные породы, обогащенные ураном, – 12 мкР/ч [5]. В настоящее время, как показывают проводимые исследования в городах республики, значения экспозиционной дозы колеблются в широких пределах: 10–20 мкР/ч. Следо-

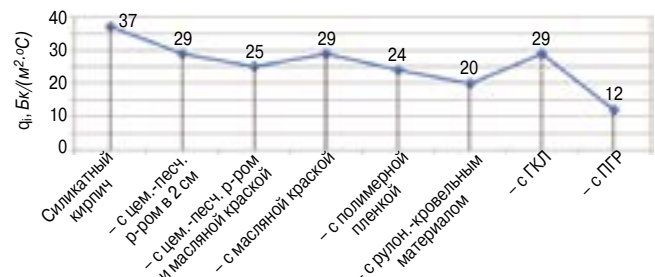


Рис. 4. Изменение плотности потока радона на поверхности силикатного кирпича с различными видами отделки



Рис. 5. Структура сердечника плиты гипсовой радонозащитной (ПГР)

Строительный материал	Активная концентрация радия, Бк/кг	Экссалация радона, Бк/(м ² ·ч)
Бетон	26–60	0,45–63
Кирпич керамический	87	1,1
Шлакоблочный кирпич	–	0,29
Гипсокартон	10	0,4

вательно, безопасность жизнедеятельности населения в помещениях ухудшилась. К радиационной защите помещения от радона нужно относиться так же, как и к защите от других радиоактивных элементов.

Результаты исследований, приведенные на рис. 3, 4, показывают, что использование защитных покрытий позволяет снизить плотность потока радона с поверхности строительных конструкций. Защитные материалы для радонозащиты (с низкой радонопроницаемостью) должны иметь высокую плотность и низкую удельную эффективную активность естественных радионуклидов. Обычно в качестве радонозащитного материала предлагают использовать рулонные битумно-полимерные и полимерные материалы. Однако с экологической точки зрения использование их оправданно только в подвалах, где не предполагается постоянного пребывания людей. Для радонозащиты в местах постоянного пребывания людей в зданиях различного функционального назначения необходимо использовать такие радонозащитные материалы, которые наряду со своей основной функцией не выделяли бы в воздух помещений вредных веществ. С этой точки зрения наиболее приемлемым является использование гипсовых материалов.

Типичная скорость экссалации радона для различных строительных материалов [6] представлена в таблице.

Данные таблицы показывают, что радон легко экссалирует с поверхности бетонных строительных материалов – усредненные данные для стен толщиной 15 см соответствуют примерно скорости экссалации 0,39 Бк/(м²·ч) на 1 Бк/кг для радия-226. Уровни экссалации радона с поверхности гипсокартона и прочих шламо-содержащих материалов довольно низкие и составляют порядка 0,06 и 0,15 Бк/(м²·ч) на 1 Бк/кг радия-226 [10].

Выявлено, что степень плотности потока радона при отделке бетона, кирпича радонозащитной гипсовой плитой снижается в 2,3–3 раза в зависимости от количества добавляемой химически модифицированной углеродной добавки. На рис. 5 показана структура гипсовой радонозащитной плиты, выпускаемой ОАО «БЕЛГИПС».

В литературе сведения о влиянии добавок на радонозащитные свойства гипсокартонных листов отсутствуют. При проведении экспериментальных исследований в качестве добавок были выбраны железистые добавки (оксиды железа), а также различные виды углеродистых материалов. Выбор углеродистых материалов был опре-



Рис. 6. Места проникновения радона в подвальное помещение [11]: 1 – между плитами пола и стеной; 2 – негерметичные участки трубопровода и канализации; 3 – негерметичные участки скважин; 4 – негерметичные участки канализации; 5 – негерметичные участки проложенной телефонной проводки; 6 – трещины при осадке здания; 7 – из строительных воздухопроницаемых материалов, таких как керамзит, полые блоки, швы и т. д.

делен исходя из их положительного влияния на структуру гипсовых материалов [7].

Анализ данных, приведенных на рис. 3, 4, показывает возможность и эффективность использования для радонозащитных мероприятий плиты гипсовые радонозащитные. Усилить радонозащитные свойства гипсовых плит стало возможно за счет ввода в состав гипсового сердечника углеродистых добавок (рис. 5). Этот принцип и был положен в технологию производства радонозащитных гипсовых плит, выпуск которых осуществлен на ОАО «БЕЛГИПС» (Минск, Республика Беларусь).

Установлено, что в разных странах мира используются разные подходы к оценке радоноопасности территорий. Кроме того, каждая страна разрабатывает и реализует на практике свою систему мер по снижению уровня радона в зданиях, которая напрямую связана с технологическими особенностями строительства и традиционными конструктивно-планировочными решениями зданий каждой конкретной страны.

Исследования отдельных факторов радонозащиты помещений показывают, что даже радонозащищенные здания засасывают из грунта порядка 1% общего объема внутреннего воздуха, а остальной поступает из атмосферы [8]. Даже при наличии мощных систем воздухообмена в домах с низким внутренним давлением, плохо изолированными полами и несколькими точками входа для грунтового воздуха объем последнего может составлять до 20% от общего воздухообмена. В этом случае, даже если грунт под зданием содержит умеренные активности радона, его активность внутри помещения может стать очень высокой [9].

На основании проведенных исследований авторы патента ПГР предлагают в качестве радонозащитных мероприятий использовать обязательно на первых этажах зданий в качестве отделки помещений радонозащитную экологически безопасную гипсовую плиту производства ОАО «БЕЛГИПС», которая не только снижает проникновение радона из строительных материалов, но и уменьшает экссалацию (сток) на ее поверхности.

Для эффективности мероприятий необходимо также комплексно решать герметизацию подвальных помещений (рис. 6).



Список литературы

1. ICRP Publication 126: Radiological protection against radon exposure // *Annals of the ICRP*. 2014. Vol. 43. Iss. 3, p. 73.
2. ICRP Publication 115: Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon // *Annals of the ICRP*. 2010. Vol. 40. Iss. 1, p. 64.
3. BFS 2011:26, BFS 2015:3 Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd) [Electronic resource]. Available at: www.boverket.se.
4. Council Directive 2013/59EURATOM of December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 9743/Euratom, 2003/122/Euratom // *Official Journal of the European Union*. 2014. Vol. 17. Iss. 1, p. 73.
5. Люцко А.М., Ролевич И.В., Тернов В.И. Чернобыль: шанс выжить. Минск: Полымя, 1996. 182 с.
6. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989. 119 с.
7. Чумак А.Г., Деревянко В.Н., Петрунин С.Ю., Попов М.Ю., Ваганов В.Е. Структура и свойства композиционного материала на основе гипсового вяжущего и углеродных нанотрубок // *Нанотехнологии в строительстве. Интернет журнал*. 2013. № 2. С. 27–37.
8. Ярмошенко И.В., Жуковский М.В., Екидин А.А. Моделирование поступления радона в жилища // *АНРИ*. 1999. № 4 (19). С. 17–26.
9. Нагорский П.М., Ипполитов И.И., Смирнов С.В., Яковлева В.С., Каратаев В.Д., Вуколов А.В., Зукау В.В. Особенности мониторинга радиоактивности в системе «литосфера-атмосфера» по β - и γ -излучениям // *Известия вузов. Физика*. 2010. Т. 53. № 11. С. 55–59.
10. Malmqvist L. Expositionsratens beroende av byggnadsmaterialdensitet, tjocklek och aktivitetsinnehåll. Stockholm: Statens Strålskyddsinstitut, 1974. 29 p. (на Шведском).
11. Ärgärder mot radon i bostäden. Boverket myndigheter för samhällsplanering, byggande ock boende. Sverige, 2013 år. (на Шведском).

References

1. ICRP Publication 126: Radiological protection against radon exposure. *Annals of the ICRP*. 2014. Vol. 43. Iss. 3, p. 73.
2. ICRP Publication 115: Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. *Annals of the ICRP*. 2010. Vol. 40. Iss. 1, p. 64.
3. BFS 2011:26, BFS 2015:3 Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd) [Electronic resource]. Available at: www.boverket.se.
4. Council Directive 2013/59EURATOM of December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 9743/Euratom, 2003/122/Euratom. *Official Journal of the European Union*. 2014. Vol. 17. Iss. 1, p. 73.
5. Lyutsko A.M., Rolevich I.V., Ternov V.I. Chernobyl': shans vyzhit' [Chernobyl: a chance to survive]. Minsk: Polymya. 1996. 182 p.
6. Krisyuk E.M. Radiatsionnyi fon pomeshcheniy [Radiation background of premises.]. Moscow: Energoatomizdat. 1989. 119 p.
7. Chumak A.G., Derevyanko V.N., Petrunin S.Yu., Popov M.Yu., Vaganov V.E. Structure and properties of composite material based on gypsum binder and carbon nanotubes. *Nanotekhnologii v Stroitel'stve. Internet Journal*. 2013. No. 2, pp. 27–37. (In Russian).
8. Yarmoshenko I.V., Zhukovskiy M.V., Ekinin A.A. Modeling radon intake in dwellings. *ANRI*. 1999. No. 4 (19), pp. 17–26. (In Russian).
9. Nagorskiy P.M., Ippolitov I.I., Smirnov S.V., Yakovleva V.S., Karataev V.D., Vukolov A.V., Zukau V.V. Features of monitoring of radioactivity in the "lithosphere-atmosphere" system for β - and γ -radiation. *Izvestiya vuzov. Fizika*. 2010. Vol. 53.No. 11, pp. 55–59. (In Russian).
10. Malmqvist L. Expositionsratens beroende av byggnadsmaterials densitet, tjocklek och aktivitetsinnehåll. Stockholm: Statens Strålskyddsinstitut, 1974. 29 p. (In Swedish).
11. Ärgärder mot radon i bostäden. Boverket myndigheter för samhällsplanering, byggande ock boende. Sverige, 2013 år. (In Swedish).

ИНФОРМАЦИЯ

Утвержден стандарт, который будет способствовать снижению уровня опасности бетонных и железобетонных конструкций

В рамках программы стандартизации подведомственным Минстрою России ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» подготовлена и утверждена новая версия национального стандарта ГОСТ 31384 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования». Стандарт будет введен в действие 1 марта 2018 г.

Стандарт устанавливает требования, учитываемые при проектировании защиты от коррозии бетонных и железобетонных конструкций в зданиях и сооружениях, как вновь возводимых, так и реконструируемых, предназначенных для эксплуатации в агрессивных средах с температурой от -50 до 50°C . В документе определены технические требования к защите от коррозии бетонных и железобетонных конструкций для срока эксплуатации 50 лет. Для конструкций со сроком эксплуатации 100 лет оценка степени агрессивности повышается на один уровень.

Проектирование реконструкции зданий и сооружений должно предусматривать анализ коррозионного состояния

конструкций и защитных покрытий с учетом вида и степени агрессивности среды. Требования настоящего стандарта следует учитывать при разработке других нормативных документов, технических условий (ТУ), а также при разработке технологической и проектной документации на данные конструкции.

Предыдущая версия ГОСТ 31384–008 введена в действие в 2010 г. в качестве межгосударственного стандарта и была поддержана большим количеством стран-участниц Евразийского совета по стандартизации, метрологии и сертификации. В стандарте впервые сделана попытка гармонизировать отечественные нормы по защите от коррозии с европейскими нормами. С момента выхода ГОСТ 31384 разработаны и выпускаются новые отечественные и зарубежные материалы, накоплен опыт применения стандарта проектными и строительными организациями, который был обобщен и отражен в новой редакции документа.

По материалам Минстрою России

УДК 691.32

Т.Э. ХАЕВ¹, инженер (haevt@mail.ru), Е.В. ТКАЧ¹, д-р техн. наук, (ev_tkach@mail.ru);
Д.В. ОРЕШКИН², д-р техн. наук (dmitrii_reshkin@mail.ru)

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

² Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук
(111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4)

Модифицированный облегченный гипсовый материал с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ

Рассмотрены материаловедческие проблемы гипсовых материалов для реставрации деталей, элементов лепнины в памятниках архитектуры в РФ. Традиционные гипсовые смеси имеют высокую среднюю плотность вплоть до 1900 кг/м³, что недопустимо для реставрации на ослабленных временем деревянных несущих конструкциях дворцов и других объектов. Известные облегчающие наполнители в гипсовые смеси: древесные опилки, вспученные перлит и вермикулит, гранулы пеностекла, пенообразователи, полые керамические микросферы – ведут к потере белизны и снижению прочности. Для проведения высококачественной реставрации разработаны облегченные гипсовые материалы белого цвета с полыми стеклянными микросферами (ПСМС) и гидрофобно-пластифицирующей добавкой. Это позволило получить гипсовый камень марок Г5 и Г4 при средней плотности 1102 и 531 кг/м³ соответственно. Приведены результаты рентгенофазовых и микроструктурных исследований и доказано, что ПСМС и добавки оказывают существенное влияние на межплоскостные расстояния решетки, интенсивности пиков, их углы и размеры кристаллов гипсовой матрицы.

Ключевые слова: облегченный гипсовый материал, свойства смеси и камня, полые стеклянные микросферы, рентгенофазовые и микроструктурные исследования, межплоскостные расстояния решетки, размеры кристаллов гипсовой матрицы.

Для цитирования: Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Модифицированный облегченный гипсовый материал с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 45–50.

T.E. KHAEV¹, Engineer (haevt@mail.ru), E.V. TKACH¹, Doctor of Sciences (Engineering) (ev_tkach@mail.ru);
D.V. ORESHKIN², Doctor of Sciences (Engineering) (dmitrii_reshkin@mail.ru)

¹ Russian Federation National Research Moscow State Construction University (26, Yaroslavl Highway, Moscow 129337, Russian Federation)

² Russian Federation Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences,
(4, Kryukovskij tupik, Moscow, 111020, Russian Federation)

Modified lightweight gypsum material with hollow glass microspheres for restoration works

In the article material science problems of gypsum materials for restoration parts, elements of stucco in the architectural monuments in Russia. Traditional plaster mixtures have a high average density of up to 1900 kg/m³, which is unacceptable for a restoration of the weakened wooden load-bearing structures of palaces and other objects. Known to facilitate bulking in a plaster mixture: sawdust, expanded perlite and vermiculite, granules of foamed glass, foam, hollow ceramic microspheres lead to the loss of white and a sharp decrease in strength. The authors suggest for the high-quality restoration lightweight gypsum materials white color with hollow glass microspheres (HGMS), hydrophobic-plasticizing additive. It is possible to obtain gypsum grades G5 and G4 at an average density of 1102 and 531 kg/m³, respectively. The article presents x-ray diffraction and microstructural studies and proven that PSMS and supplements features could have their significant effect on the interplanar distances of the lattice, the intensity of peaks, their angles and dimensions of crystals of gypsum matrix.

Keywords: light weight gypsum material, the properties of the mixture and stone, hollow glass microspheres, powder x-ray diffraction and microstructural studies, the interplanar distances of the lattice, sizes of crystals of gypsum matrix.

For citation: Khaev T.E., Tkach E.V., Oreshkin D.V. Modified lightweight gypsum material with hollow glass microspheres for restoration works. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 10, pp. 45–50. (In Russian).

В последнее время в России существенно возросли объемы реставрации памятников архитектуры, которые изобилуют в том числе лепным декором. Поэтому важной задачей является развитие производства гипсовых материалов для реставрационных работ с целью сохранения деталей из гипсовых материалов в памятниках архитектуры: уникальных гипсовых лепных элементов и украшений на стенах, карнизах и потолках, отделки стен, каминов, колонн, балясин и балюстрад из искусственного мрамора. Традиционные гипсовые смеси имеют высокую среднюю плотность вплоть до 1900 кг/м³, что со временем может приводить к значительным прогибам и разрушениям несущих деревянных конструкций. Для облегчения веса декора на практике в строительные гипсовые смеси вводят древесные опилки, вспученный перлит и вермикулит, гранулы из пеностекла, пенообразователи, полые алюмосиликатные микросферы. Однако это не дает желаемого снижения средней плотности, но приводит к снижению прочности и потере белизны. Комплексных исследований по разработке реставрационных облегченных гипсовых систем белого цвета, имеющих необходимую прочность, не проводилось.

Решением проблемы проведения высококачественных реставрационных работ является разработка облегченных гипсовых материалов белого цвета с полыми стеклянными микросферами, которые заявили себя как лучшие облегчающие наполнители в минеральные вяжущие системы [1–4].

Достоинства гипсовых систем, в том числе и с облегчающими наполнителями, пенообразователями и пластифицирующими добавками, доказаны в работах советских и российских ученых [5–10].

Облегченная гипсовая смесь с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ получается в результате перемешивания высокопрочного гипса для художественной лепнины производства ЗАО «Самарский гипсовый комбинат» и полых стеклянных микросфер (ПСМС) белого цвета производства ОАО «НЗСВ» в соответствии с ГОСТ 125–79 (СТ СЭВ 826–77) «Вяжущие гипсовые. Технические условия» и ТУ 5951-035-00204990–2010 «Порошок стеклянный», соответствующий ГОСТ 31377–2008 «Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем. Технические условия».

В качестве добавок применялся суперпластификатор (СП) Peramin SMF-10 в виде порошка белого, а также редиспергируемый полимерный порошок белого цвета Vinnapas 8031 Н (ГФ). Оптимальные расходы СП Peramin SMF-10 и ГФ Vinnapas 8031 Н были приняты 0,75 и 4% от массы гипса соответственно.

Стандартные по расплыву лепешки гипсовые смеси без ПСМС имели следующие техническими показатели:

Без СП и ГФ

- При диаметре лепешки 18 см, В/Г=0,4:
 - начало схватывания 12 мин;
 - конец схватывания 15,5 мин;
 - марка по прочности Г16.

Модифицированные СП и ГФ

- При диаметре лепешки 18 см, В/Г=0,34:
 - начало схватывания 21 мин;
 - конец схватывания 23 мин;
 - марка по прочности Г19.

Для гипсовых смесей и затвердевшего гипсового камня с 10% ПСМС были определены следующие свойства:

10% ПСМС

- При диаметре лепешки 17,8 см, В/Г=0,6:
 - начало схватывания 13,5 мин;
 - конец схватывания 18 мин;
 - марка по прочности Г3 10% ПСМС (с СП и ГФ).

При диаметре лепешки 17,6 см, В/Г=0,5:

- начало схватывания 15 мин;
- конец схватывания 17 мин;
- марка по прочности Г5.

Были определены свойства бездобавочного и модифицированного гипсовых камней с 10% ПСМС. Результаты сравнения представлены в табл. 1.

Сравнение результатов показало, что у смеси и гипсового камня с 10% ПСМС средняя плотность снизилась на 44,5%, влажность по массе повысилась в 2 раза, а В/Г – на 50%. При этом прочность в возрасте 2 ч

уменьшилась при сжатии – почти в 6 раз, а при изгибе – в 3,6 раза.

Сравнение результатов показало, что у смеси и камня с 10% ПСМС с СП, ГФ снизилось В/Г на 20%, влажность по массе – на 24%. При этом средняя плотность повысилась на 11%; прочность в возрасте 2 ч увеличилась: при сжатии – на 65%; при изгибе – на 57%; марка по прочности повысилась с Г3 до Г5.

Таким образом, введение СП Peramin SMF-10 и ГФ Vinnapas 8031 Н позволило более чем в 1,5 раза увеличить прочность при изгибе и сжатии за счет существенного уплотнения структуры гипсовой матрицы между микросферами.

Для дальнейшего снижения средней плотности было увеличено количество микросфер до 30%. Свойства представлены в табл. 2.

Для гипсовых смесей и камней с 30% ПСМС были определены следующие свойства:

30% ПСМС

- При диаметре лепешки 17,5 см, В/Г=1:
 - начало схватывания 11,5 мин;
 - конец схватывания 15,5 мин;
 - марка по прочности менее Г2.

ПСМС (с СП и ГФ)

- При диаметре лепешки 17,7 см, В/Г=0,84:
 - начало схватывания 13 мин;
 - конец схватывания 16 мин;
 - марка по прочности Г4.

Сравнение результатов показало, что у гипсового камня с 30% ПСМС и СП, ГФ в возрасте 2 ч В/Г снизилось на 19%, влажность по массе – на 38%. При этом средняя плотность уменьшилась на 6%, а прочность увеличилась: при сжатии – более чем в 3 раза; при изгибе – более чем в 2,4 раза; марка достигла Г4 (была менее Г2).

На рис. 1 приведена микроструктура гипсового камня с микросферами.

Был проведен элементный анализ кристаллов гипса в гипсовом камне, в камне с 10% ПСМС и в камне с 10% ПСМС, СП, ГФ. Сравнительные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 1

Свойства гипсового камня и камня с 10% ПСМС

№ образца и средние значения	Средняя плотность образца, г/см ³		Прочность, МПа		Влажность, %		
	влажного	сухого	при изгибе	при сжатии	по массе	по объему	
Чистый гипсовый камень, В/Г=0,4							
1	1,89	1,47	6,28	18,3	18,4	28,6	
2	1,9	1,48	6,28	17,4	17,5	28,4	
3	1,85	1,445	6,64	20	20,1	27,9	
Средние	1,88	1,465	6,46	18,62	28,3	41,4	
Гипсовый камень с 10% ПСМС, В/Г=0,6							
1	1,3	0,866	1,81	2,8	2,9	57,2	
2	1,302	0,868	1,78	3,4	3,3	57,1	
3	1,301	0,867	1,72	3,1	3,2	57,3	
Средние	1,301	0,867	1,77	3,12	57,1	49,6	
Гипсовый камень с 10% ПСМС, СП и ГФ, В/Г=0,5							
1	1,36	1,11	2,75	5,1	5,1	46,2	
2	1,34	1,09	2,81	5,3	5,2	45,9	
3	1,35	1,106	2,78	5,1	5,2	46,1	
Средние	1,35	1,102	2,78	5,17	46,1	52	

Свойства гипсового камня с 30% ПСМС

№ образца и средние значения	Средняя плотность, г/см ³ , образца:		Прочность, МПа:			Влажность, %	
	влажного	сухого	при изгибе	при сжатии		по массе	по объему
Гипсовый камень с 30% ПСМС, В/Г = 1							
1	0,96	0,535	0,74	1,28	1,3	80,4	43
2	0,962	0,545	0,78	1,32	1,28	80,2	43,9
3	0,964	0,542	0,74	1,3	1,32	80,3	43,3
Средние	0,963	0,544	0,76	1,3		80,3	43,4
Гипсовый камень с 30% ПСМС, СП и ГФ, В/Г = 0,84							
1	0,912	0,585	1,78	4,12	4,1	58,1	34
2	0,913	0,587	1,84	4,11	4,12	58,2	34,2
3	0,911	0,583	1,86	4,1	4,13	58,3	34
Средние	0,911	0,531	1,83	4,11		58,2	34,1

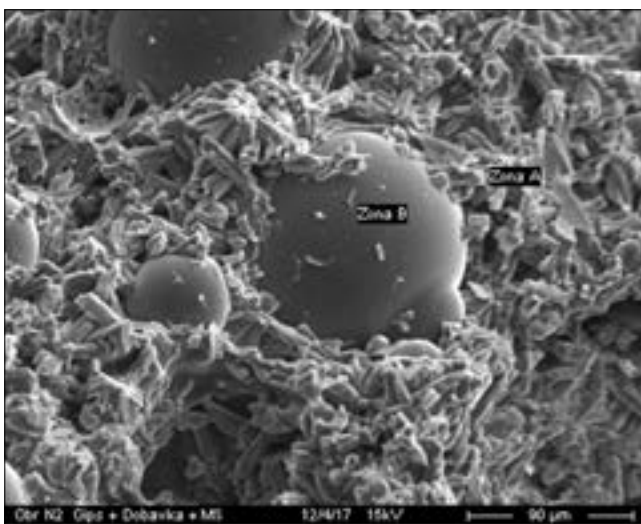


Рис. 1. Микроструктура гипсового камня с 10% ПСМС, СП, ГФ: зоны А (гипсовый камень) и зона В (микросфера)

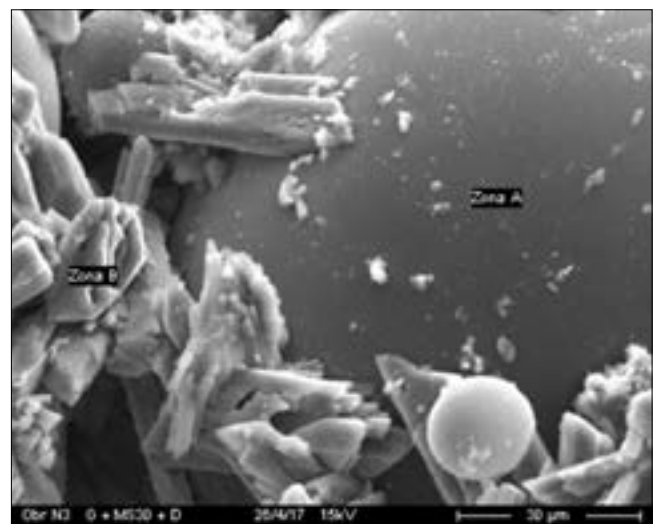


Рис. 2. Микроструктура гипсового камня с 30% ПСМС, СП, ГФ: зона А (микросфера) и зона В (гипсовый камень)

При анализе результатов сравнения камня без СП и ГФ и модифицированного состава с 10% ПСМС (табл. 3) установлено, что количество кремния у модифицированного камня увеличилось в 2,5 раза, количество серы осталось примерно на том же уровне. Количество кальция в модифицированном камне уменьшилось на 20% по сравнению с гипсовым камнем с 10% ПСМС без добавок. Однако оно осталось примерно на том же уровне, что и у чистого гипсового камня. Максимальное количество кальция отмечено

но в гипсовом камне с 10% ПСМС без добавок – более 36%.

При совместном анализе элементных составов исходных ПСМС и полых микросфер в гипсовом камне с 10% ПСМС без добавок и модифицированного камня была составлена табл. 4.

Анализ табл. 4 показал, что в составе микросфер в 2 раза уменьшилось количество натрия и появился кальций при сравнении гипсовых камней без добавок и модифицированного состава с 10% ПСМС.

Таблица 3

Элементный анализ кристаллов гипса, мас. %, в гипсовом камне, гипсовых камнях с 10% ПСМС, 10% ПСМС и СП, ГФ (зона А)

Элемент	Чистый гипсовый камень	Гипсовый камень с 10% ПСМС	Гипсовый камень с 10% ПСМС и СП, ГФ
Si	0,1–0,16	0,61–0,66	1,64–1,71
S	20,1–21,55	22,1–22,5	20,34–21,49
Ca	31,4–31,82	36,2–36,3	29,2–30,93
O	46,2–46,46	41,2–41,4	44,2–45,9
Cl	–	–	0,45–0,61

Таблица 4

Элементный анализ исходных ПСМС и ПСМС в гипсовом камне с 10% ПСМС (зона В), мас. %

Элемент	Исходные ПСМС	ПСМС в гипсовом камне с 10% ПСМС	ПСМС в гипсовом камне с 10% ПСМС и СП, ГФ
Na	7,56–7,58	6,9–7,12	3,46–3,9
Si	41,8–41,98	43,01–43,54	43,2–44,43
S	1,14–1,17	–	–
O	48,3–48,48	49,8–49,93	50,1–50,49
B	1,1–1,8	1,06–1,6	1,05–1,61
Ca	–	–	0,71–0,77

Таблица 5

Интегральный элементный и химический анализы гипсового камня с 10% ПСМС, СП, ГФ

Элемент	Количество, мас. %	Оксиды	Количество, мас. %
Na	2,07–2,11	Na ₂ O	3,16–3,24
Si	9,02–11,36	SiO ₂	25,76–26,32
S	14,64–16,68	SO ₃	29,1–29,18
Ca	22,78–24,68	CaO	40,1–40,2
O	44,3–45,12	–	–
Cl	0,19–0,2	Cl ₂ O	0,31–0,39

Таблица 7

Элементный анализ исходных ПСМС и ПСМС в гипсовом камне с 10 и 30% ПСМС с СП и ГФ

Элемент	Исходные ПСМС	ПСМС в гипсовом камне с 10% ПСМС и СП, ГФ	ПСМС в гипсовом камне с 30% ПСМС и СП, ГФ
Na	7,56–7,58	6,1–6,6	2,42–2,54
Si	41,8–41,98	42,5–44,43	44,51–44,53
S	1,14–1,17	–	–
O	48,3–48,48	50,1–50,49	51,84–51,91
B	1,1–1,8	1,05–1,61	1,05–1,59
Ca	–	0,71–0,77	0,27–0,28

После введения СП Peramin SMF-10 и ГФ Vinnapas 8031 Н в гипсовую систему с 10% ПСМС были получены результаты, приведенные в табл. 5.

Микроструктура и зоны А и В гипсового камня с 30% ПСМС, СП и ГФ представлены на рис. 2. В табл. 6 приведены интегральные элементный и химический анализы.

Элементный анализ ПСМС показан в табл. 7.

Сравнение результатов в табл. 7 говорит о том, что количество натрия и кремния в микроферах при расходе 10 и 30% осталось примерно на том же уровне, а количество кальция в микрофере в гипсовом камне с 30% ПСМС сократилось более чем в 2 раза. Анализ табл. 7 показал, что в составе микрофер уменьшилось количество натрия и кальция, кальция – в 2,5 раза. Количество кремния несколько увеличилось.

Было проведено сравнение элементных анализов кристаллов гипса в чистом гипсовом камне и с 10% ПСМС, СП, ГФ, а также с 30% ПСМС, СП, ГФ. Результаты приведены в табл. 8.

Таблица 9

Межплоскостные расстояния в кристаллах гипсового камня

Угол	Межплоскостное расстояние $d = n \cdot 10^{-10}$ м			
	Гипсовый камень с 10% ПСМС	Камень с 10% ПСМС с СП и ГФ	Гипсовый камень с 30% ПСМС	Камень с 30% ПСМС с СП и ГФ
11,6°	7,5989	7,642	7,622	6,0384 (14,5°)
20,7°	4,2819	4,2957	4,2897	4,3795
29,2°	3,0657	3,0729	3,0696	3,0115
31°	2,8754	2,8788	2,8766	2,8104 (32°)
33,5°	2,6841	2,6888	2,6868	2,7193 (33°)

Таблица 6

Интегральный элементный и химический состав гипсового камня с 30% ПСМС, СП и ГФ

Элемент	Количество, мас. %	Оксиды	Количество, мас. %
Na	2,42–2,44	Na ₂ O	3,45–3,5
Si	14,05–14,1	SiO ₂	31,78–31,8
S	17,03–17,1	SO ₃	27,15–27,2
Ca	25,21–25,28	CaO	37,55–37,57
O	41,24–41,32	–	–
Cl	0,09–0,1	Cl ₂ O	0,1–0,14

Таблица 8

Элементный анализ кристаллов гипса, мас. %, в гипсовом камне

Элемент	Чистый гипсовый камень	Гипсовый камень с 10% ПСМС и СП, ГФ	Гипсовый камень с 30% ПСМС и СП, ГФ
Na	–	–	0,85–0,87
Si	0,1–0,16	1,64–1,71	0,94–0,96
S	20,1–21,55	20,34–21,49	24,3–24,4
Ca	31,4–31,82	29,2–30,93	32,5–32,65
O	46,2–46,46	44,2–45,9	41,54–41,72
Cl	–	0,45–0,61	0,2–0,32

Сравнение элементных составов кристаллов гипса в табл. 8 говорит о том, что в составе камня появился натрий, а количество кремния уменьшилось в 1,5 раза в камне с 30% ПСМС и СП, ГФ. Количество кальция и серы стало немного больше.

Были получены рентгенограммы гипсового камня с 10 и 30% ПСМС и СП, ГФ (рис. 3), а также сводные данные по межплоскостным расстояниям в кристаллах (табл. 9) и интенсивности основных пиков гипса (табл. 10) для гипсовых систем с 10 и 30% ПСМС, в том числе с СП и ГФ.

При сравнении межплоскостных расстояний и углов исследований гипсового камня и камня с 10% ПСМС, СП и ГФ было установлено следующее. Все углы исследования остались теми же, что и для чистого гипсового камня без добавок, модифицированного гипсового камня с СП и ГФ, а также для гипсового камня с 10% ПСМС. По сравнению с гипсовым камнем с 10% ПСМС у модифицированного камня межплоскостное расстояние d при угле 11,6° увеличилось на $0,043 \cdot 10^{-10}$ м. При углах 20,7

Таблица 10

Интенсивность пиков гипсового камня

Гипсовый камень	Интенсивность пиков, имп/с, при межплоскостном расстоянии $d = n \cdot 10^{-10}$ м				
	$\approx 7,62$	$\approx 4,29$	$\approx 3,06$	$\approx 2,87$	$\approx 2,68$
Без добавок	1250	1900	1610	950	690
Добавка СП и ГФ	1500	2350	1600	1100	730
10% ПСМС	1410	2700	2300	850	600
10% ПСМС с СП и ГФ	1225	2275	1700	1125	750
30% ПСМС	1320	2050	1925	900	675
30% ПСМС с СП и ГФ	1025	150	1250	1125	150

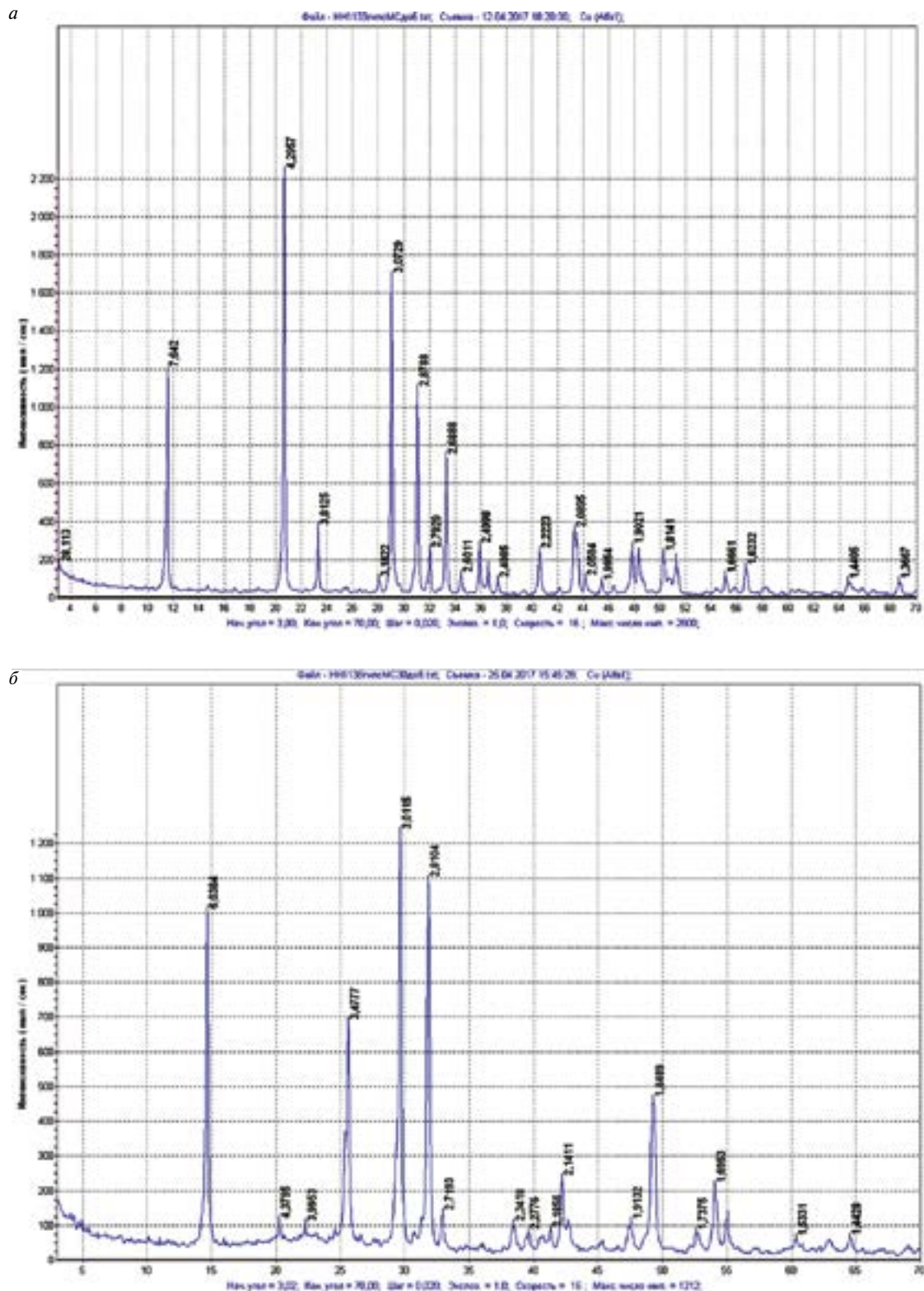


Рис. 3. Рентгенограмма гипсового камня с 10% (а) и 30% (б) ПСМС, СП, ГФ

и $29,2^\circ$ увеличение составило около $0,01 \cdot 10^{-10}$ м. При углах 31 и $33,5^\circ$ также наблюдается небольшое повышение величины межплоскостного расстояния.

При сравнении основных пиков гипса было установлено, что их интенсивность существенно снизилась при углах до $29,2^\circ$ по сравнению с гипсовым камнем с 10% ПСМС, но оказалась выше при углах 31 и $33,5^\circ$. При этом следует учитывать, что гипсовый камень с 10%

ПСМС имеет расход гипса 775 кг, а гипсовый камень с 10% ПСМС и СП, ГФ – 810 кг/м³.

При сравнении межплоскостных расстояний в кристаллах гипсового камня с 30% ПСМС и у гипсового камня с 30% ПСМС с СП и ГФ для основных пиков было определено, что все межплоскостные расстояния при всех углах исследования изменились. Более того, пик кристаллов гипса с $d=6,0384 \cdot 10^{-10}$ м обнаружен при но-

вом угле исследований – 14,5°. Пики с $d=2,8104 \cdot 10^{-10}$ м и с $d=2,7193 \cdot 10^{-10}$ м идентифицированы при углах 32 и 33° соответственно.

При оценке рентгенограмм гипсового камня с 10 и 30% ПСМС с СП, ГФ кроме основных пиков кристаллов гипса были обнаружены достаточно высокие пики с межплоскостными расстояниями: $d=4,4777 \cdot 10^{-10}$ м; $d=2,1411 \cdot 10^{-10}$ м; $d=1,8489 \cdot 10^{-10}$ м; $d=1,6953 \cdot 10^{-10}$ м. Они будут идентифицированы в дальнейших исследованиях.

Таким образом, полученные данные говорят о том, что, с одной стороны, полые стеклянные микросферы, добавки Peramin SMF-10 и Vinnapas 8031 Н оказывают влияние на кристаллическую решетку гипсового камня. Особенно ярко это выражено при совместном использовании в гипсовой системе 30% ПСМС и добавки Peramin SMF-10 и Vinnapas 8031 Н. С другой стороны, модификация структуры находит свое отражение в улучшении свойств облегченного гипсового камня с ПСМС для реставрационных работ.

Микроструктурный (рис. 1 и 2) и рентгенофазовый (рис. 3) анализ гипсового камня с 10 и 30% ПСМС с СП, ГФ доказывает формирование кристаллов двуводного гипса.

Кристаллы гипсовой матрицы с 10% ПСМС и СП, ГФ имеют размеры:

– минимальное сечение: $0,9 \times 0,72$ мкм или 900×720 нм;
– максимальное сечение: $6,12 \times 5,4$ мкм или 6120×5400 нм.
Следует отметить, что отношение сторон прямоугольника находится от 7 до 6. Такие кристаллы являются плоскими пластинами.

Причем толщины кристаллов становятся меньше, чем у гипсового камня с 10% ПСМС без добавок. Были установлены заметные изменения кристаллической решетки у гипсового камня с 30% ПСМС по сравнению с гипсовым камнем с 10% микросфер и чистым гипсовым камнем.

Кристаллы гипсовой матрицы с 30% ПСМС и СП, ГФ имеют размеры:

– минимальное сечение: $0,274 \times 0,218$ мкм или 274×218 нм.
– максимальное сечение: $0,71 \times 0,545$ мкм или 710×545 нм.

Таким образом, ПСМС снижают среднюю плотность более чем в 2 раза. В работе доказано, что полые стеклянные микросферы, суперпластификатор Peramin SMF-10 и Vinnapas 8031 Н, обладающий свойствами гидрофобизатора (ГФ), оказывают существенное влияние на формирование кристаллов гипсовой матрицы и их размеры. Это повышает прочность облегченного гипсового камня. Разработанный модифицированный облегченный гипсовый материал с ПСМС имеет белый цвет и полностью соответствует реставрационным требованиям для ослабленных деревянных несущих конструкций памятников архитектуры.

Список литературы

- Орешкин Д.В. Эффективные облегченные тампонажные растворы для условий аномально низких пластовых давлений и многолетнемерзлых пород // *Нефтяное хозяйство*. 2008. № 1. С. 50–53.
- Perfilov V.A., Oreshkin D.V., Semenov V.S. Environmentally Safe Mortar and Grouting Solutions with Hollow Glass Microspheres. Volume 150, 2016, Pages 1479–1484. *2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016)*. Procedia Engineering (2016) pp. 1479–1484.
- Орешкин Д.В. Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства // *Строительные материалы*. 2010. № 6. С. 34–37.
- Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Научно-технические предпосылки разработки облегченных гипсовых систем с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // *Научное обозрение*. 2017. № 7. С. 28–32.
- Ферронская А.В., Коровяков В.Ф., Баранов И.М., Бурьянов А.Ф. и др. *Гипс в малоэтажном строительстве*. М.: АСВ, 2008. 240 с.
- Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. *Малоэтажные жилые дома из гипсобетона*. СПб.: СПбГАСУ. 2003. 105 с.
- Рахимов Р.З., Халиуллин М.И. Состояние и тенденции развития промышленности гипсовых строительных материалов // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 52–53.
- Бурьянов А.Ф. Эффективные гипсовые материалы для устройства межкомнатных перегородок // *Строительные материалы*. 2008. № 8. С. 30–32.
- Пустовгар А.П., Бурьянов А.Ф., Василик П.Г. Особенности применения гиперпластификаторов в сухих строительных смесях // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 61–64.
- Yakovlev G., Polyanskikh I., Fedorova G., Gordina A., Bur'yanov A. Anhydrite and gypsum compositions modified with ultrafine man-made admixtures // *Procedia Engineering*. Vol. 108, 2015, pp. 13–21.

References

- Oreshkin D.V. Effective lightweight grouting solutions for conditions of abnormally low bed pressure and permafrost. *Neftyanoe Hozyajstvo*. 2008. No. 1, pp. 50–53. (In Russian).
- Perfilov V.A., Oreshkin D.V., Semenov V.S. Environmentally Safe Mortar and Grouting Solutions with Hollow Glass Microspheres. Volume 150, 2016, Pages 1479–1484. *2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016)*. Procedia Engineering (2016) pp. 1479–1484.
- Oreshkin D.V. Lightweight and ultralight cement solutions for construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 6, pp. 34–37. (In Russian).
- Khaev T.E., Tkach E.V., Oreshkin D.V. Scientific and technical prerequisite for the elaboration of the lightweight gypsum systems with hollow glass microspheres for restoration works. *Nauchnoe Obozrenie*. 2017. No. 7, pp. 28–32. (In Russian).
- Ferronskaya A.V., Korovjakov V.F., Baranov I.M., Bur'yanov A.F., etc. *Gips v malojetazhnom stroitel'stve* [Gypsum in low-rise construction]. Moscow: ASV. 2008. 240 p.
- Meshcheryakov Yu.G., Fedorov S.V. *Malojetazhnye doma iz gipsobetona* [Low-rise houses from gypsum concrete]. St. Petersburg: SPbGASU. 2003. 105 p.
- Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I. Status and development trends of the industry of gypsum building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 12, pp. 52–53. (In Russian).
- Bur'yanov A.F. Effective gypsum materials for the installation of interior partitions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 8, pp. 30–32. (In Russian).
- Pustovgar A.P., Bur'yanov A.F., Vasilik P.G. Features of the application of giperplasticizer in dry construction mixtures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials] 2010. No. 12, pp. 61–64. (In Russian).
- Yakovlev G., Polyanskikh I., Fedorova G., Gordina A., Buryanov A. Anhydrite and gypsum compositions modified with ultrafine man-made admixtures. *Procedia Engineering* “7th Scientific Technical Conference Material Problems in Civil Engineering”. Vol. 108, 2015, p. 13–21.

УДК 691.16

Ю.Н. ХАКИМУЛЛИН¹, д-р техн. наук; Д.А. АЮПОВ², канд. техн. наук (AyupovDamir@rambler.ru),
В.И. СУНДУКОВ², канд. физ.-мат. наук, Р.И. КАЗАКУЛОВ², инженер;
Б.И. ГИЗАТУЛЛИН³, канд. физ.-мат. наук

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет (420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 72)

² Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет (420111, г. Казань, ул. Кремлевская, 16а)

Нерасслаивающиеся трехкомпонентные полимерно-битумные вяжущие

Осуществлена модификация нефтяного дорожного битума сополимером этилена с винилацетатом (СЭВ) и 3-глицидилоксипропилтриметоксисиланом (эпоксисиланом). Эпоксисилан, являясь гетерофункциональным телехелатным веществом, сшивает битум с СЭВ, что позволяет получить нерасслаивающееся полимерно-битумное вяжущее. Для оптимизирования концентраций эпоксисилана и сэвилена, а также времени совмещения компонентов был реализован трехфакторный ротatable экспериментальный план. В результате установлено, что оптимальное содержание сэвилена – 12 мас. ч., эпоксисилана – 3 мас. ч., время совмещения – 4 ч. Оптимальное ПБВ (полимерно-битумное вяжущее) имеет следующие свойства: температура размягчения 66°C; пенетрация при 25°C 50; индекс пенетрации 2,15; температура хрупкости –22°C. Расслаиваемость существенно снижается. Методом ЯМР-спектроскопии установлено, что сшивание полимерно-битумного вяжущего не влияет на его молекулярную подвижность.

Ключевые слова: модификация битума, нерасслаивающиеся ПБВ, стабильность ПБВ, расслаиваемость ПБВ.

Для цитирования: Хакимуллин Ю.Н., Аюпов Д.А., Сундуков В.И., Казакулов Р.И., Гизатуллин Б.И. Нерасслаивающиеся трехкомпонентные полимерно-битумные вяжущие // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 51–55.

Yu.N. HAKIMULLIN¹, Doctor of Sciences (Engineering); D.A. AYUPOV², Candidate of Sciences (Engineering),

V.I. SUNDUKOV², Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), R.I. KAZAKULOV², Engineer;

B.I. GIZATULLIN³, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics)

¹ Kazan National Research Technological University (72, Karl Marx Street, 420015, Kazan, Russian Federation)

² Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

³ Kazan (Volga region) Federal University (16a, Kremlevskaya Street, 420111, Kazan Russian Federation)

Non-Stratified Three-Component Polymeric-Bitumen Binders

Modification of petroleum road bitumen with a copolymer of ethylene with vinyl acetate (CEV) and 3-glycidioxypropyltrimethoxysilane (epoxy silane) has been implemented. Epoxy silane, being a heterofunctional substance, sews the bitumen with CEV which makes it possible to obtain a non-stratified polymeric-bitumen binder. To optimize the concentrations of epoxy silane and sevylyene as well as the time of the combination of components, a three-factor rotatable experimental plan has been realized. As a result, it is established that the optimal content of sevylyene is 12 pts. wt., epoxy silane – 3 pts. wt., duration of combination – 4 hr. An optimal BPB (polymeric-bitumen binder) has the following properties: softening temperature is 66°C, penetration at 25°C – 50; penetration index – 2.15, brittleness temperature – 22°C. Stratification is significantly reduced. The NMR spectroscopy method made it possible to establish that the sewing of the polymeric-bitumen binder doesn't influence on its molecular mobility.

Keywords: bitumen modification, non-stratified PBB, stability of PBB, stratification of PBB.

For citation: Hakimullin Yu.N., Ayupov D.A., Sundukov V.I., Kazakulov R.I., Gizatullin B.I. Non-stratified three-component polymeric-bitumen binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 10, pp. 51–55. (In Russian).

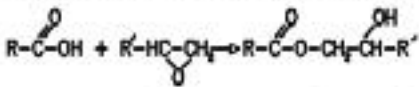
Преимущества полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) [1, 2] и мастик [3] перед немодифицированными битумами хорошо известны: широкий температурный интервал пластичности, высокая эластичность и стойкость к атмосферному старению. Несмотря на это, в силу высокой цены ПБВ до последнего времени не часто применяли в дорожном строительстве. Однако неудовлетворенность качеством существующих дорожных одежд привела к тому, что за последние четыре года объемы их применения увеличились в 2,6 раза [4]. При этом выяснилось, что важной технологической проблемой таких вяжущих является их склонность к расслоению при хранении и транспортировке. В российском ГОСТ 52056–2003 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блок-сополимеров типа стирол-бутадиен-стирол» регламентированы режимы их хранения и транспортировки, заставляющие производителей испытывать серьезные технологические неудобства. Тем не менее российские нормы не предусматривают требований к стабильности вяжущих. В литературе в настоящее время этой проблеме начали уделять повышенное внимание [5–8], хотя о важности стабильности состава

и свойств ПБВ в процессе хранения и транспортировки стали задумываться гораздо раньше, считая это обязательным условием обеспечения качественного приготовления асфальтобетонных смесей и асфальтобетона на модифицированном битуме [9–10].

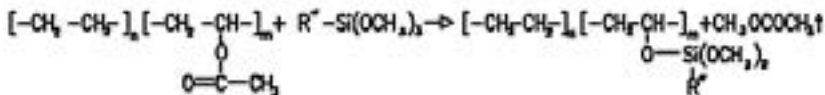
Одним из популярных термопластичных модификаторов является сополимер этилена с винилацетатом (сэвилен, СЭВ, СЭВА) [11–14], способный образовывать в битумах сетку, сопротивляющуюся деформированию, повышать эластичность, когезию и адгезионные свойства. Термопласты чаще применяют в южных районах России, где недостатки, характерные в целом для ПБВ на основе термопластов, такие как недостаточная эластичность и трещиностойкость при низких отрицательных значениях температуры [15], не проявляются.

Для получения нерасслаивающегося ПБВ с применением СЭВ в работе авторы использовали реакционноспособную добавку, химически сшивающую битумную матрицу с полимерным модификатором [16]. Считается, что химическое взаимодействие компонентов в полимерно-битумных композициях обеспечивает их однородность и стабильность, снижает вероятность

Взаимодействие битума с эпоксидной группой эпокссилана



Взаимодействие сэвилена с силаном



Где R – асфальтены битума;

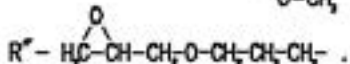
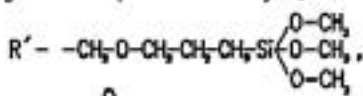


Рис. 1. Химическое взаимодействие эпокссилана с битумом и сэвиленом

расслоения композиции из-за разности плотности битумов и модификаторов [17].

Технология приготовления вяжущего была принята следующей: в нефтяной битум марки БНД 90/130 при 165°C вводили одновременно СЭВ марки 11708-210, содержащий 26–28% винилацетата, и сшивающий агент 3-глицидилоксипропилтриметоксисилан (эпокссилан, ЭС, ООО «Пента-91», ТУ 2437-210-40245042–88), являющийся гетерофункциональным телехелатным веществом, эпоксигруппа которого способна к химическому взаимодействию с карбоксильной группой асфальтенов битума [18], а метоксисилановые группы реагируют с ацетиловыми фрагментами сэвилена [19–21] (рис. 1).

Перемешивание компонентов осуществляли в течение 2 ч с последующей выдержкой при той же температуре в течение времени, необходимого для окончания химической реакции.

Для оптимизирования концентраций эпокссилана и сэвилена, а также времени совмещения компонентов был реализован трехфакторный ротatable-план, в котором факторами являлись оптимизируемые параметры, а критериями оптимизации – основные свойства битумного вяжущего: температура размягчения T_p ; пенетрация при 25°C P_{25} ; дуктильность при 25°C D_{25} ; температура хрупкости T_{xp} ; стабильность при хранении; индекс пенетрации ИПе; эластичность при 25°C – \mathcal{E}_{25} и изменение температуры размягчения после прогрева ΔT_p .

Результаты трехфакторного эксперимента невозможно графически наглядно представить в виде одного трехмерного графика. Поэтому для иллюстрации каждой характеристики вяжущего, принятой в качестве аргумента функции, факторы поочередно считали неизменными и принимали равными своему значению в центре плана. Таким образом, для каждой характеристики ПБВ было построено три трехмерных графика, что позволило обнаружить оптимальные значения факторов эксперимента.

На рис. 2 представлена зависимость температуры размягчения битума от концентраций ЭС, СЭВ и времени протекания реакции.

Как видно, поверхность на всех трех графиках имеет максимум, который совпал с центром плана. Увеличение концентрации эпокссилана влечет рост температуры размягчения, но лишь до тех пор, пока ЭС участвует в реакциях. Его излишек в композиции работает как пластификатор, снижая теплостойкость вяжущего. Увеличение содержания полимера в ПБВ влечет за собой поначалу интенсивный рост темпера-

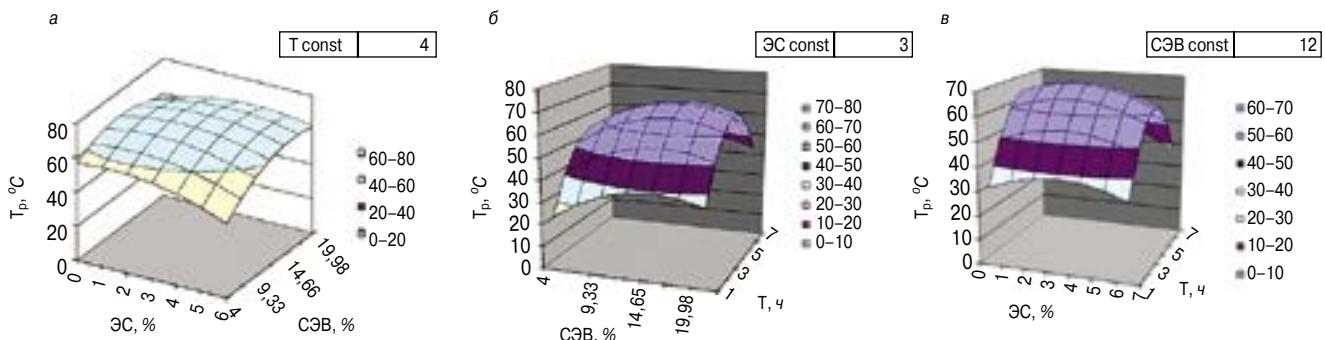


Рис. 2. Зависимость температуры размягчения битума: а – от содержания ЭС и СЭВ; б – от содержания СЭВ и времени протекания реакции; в – от содержания ЭС и времени протекания реакции

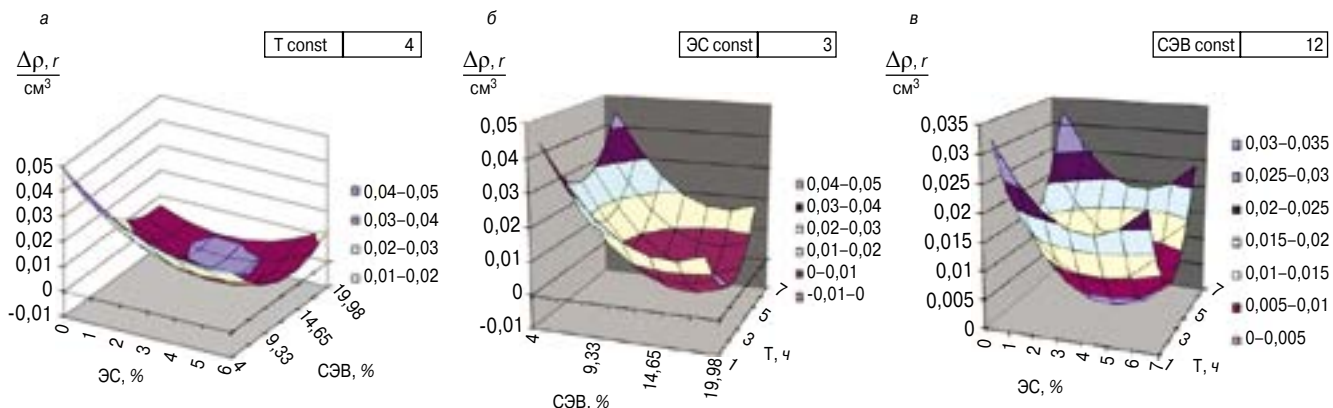


Рис. 3. Зависимость раскисляемости битума: а – от содержания ЭС и СЭВ; б – от содержания СЭВ и времени протекания реакции; в – от содержания ЭС и времени протекания реакции

Таблица 1

Вязущее	$T_p, ^\circ\text{C}$	$P_{25}, 0,1 \text{ мм}$	$D_{25}, \text{СМ}$	$\Xi_{25}, \%$	$T_{xp}, ^\circ\text{C}$	Расслаиваемость, г/см ³	ИПЕ	$\Delta T_p, ^\circ\text{C}$
БНД 90/130 – 100 мас. ч.	44	109	71	13	-17	0	-0,8	4
БНД 90/130 – 100 мас. ч. + СЭВ – 12 мас. ч.	63	61	10	58	-21	0,012	2,1	3
БНД 90/130 – 100 мас. ч. + СЭВ – 12 мас. ч. + ЭС – 3 мас. ч.	66	50	11	55	-22	0,002	2,15	3

Таблица 2

Номер образца	p_c	$T_{2c}, \text{МКС}$	p_b	$T_{2b}, \text{МКС}$	p_a	$T_{2a}, \text{МКС}$
1	0,52	12,6	0,23	80,6	0,25	319
2	0,45	12,7	0,25	91	0,3	401
3	0,51	12,3	0,25	87	0,31	376

туры размягчения. Однако повышение его концентрации свыше 12% не приводит к росту теплостойкости и потому неэффективно.

Зависимость теплостойкости от времени совмещения компонентов носит экстремальный характер. Поначалу время совмещения напрямую связано с протеканием химических реакций, однако после того как процесс сшивания компонентов завершился, изотермическая выдержка при высокой температуре оказывает лишь деструктивное влияние на композицию.

Аналогичные рисунки были получены для других свойств. Анализ этих графиков показал, что влияние эпоксисилана и сэвилена на твердость вязущего коррелирует с данными по теплостойкости: теплостойкие вязущие являются более твердыми. Повышение расслаиваемости композиции приводит к увеличению пенетрации ввиду всплывания рыхлого набухшего полимера. Этот эффект наблюдался в работах [9, 10].

Излишек содержания ЭС, не участвующий в реакции, отрицательно влияет на температуру хрупкости вязущего, в то время как полимер, даже находясь в свободном виде, улучшает этот показатель. Увеличение времени совмещения также положительно сказывается на температуре хрупкости композиции.

Методика определения стабильности модифицированных битумов регламентирована в межгосударственном стандарте ГОСТ EN 13399–2013 «Битумы и битуминозные вязущие. Определение стабильности модифицированных битумов при хранении». Эта методика заключается в изотермической выдержке столба вязущего высотой 100–120 мм в вертикальной трубке диаметром 25–40 мм и высотой 160 мм при 180°C в течение трех дней с последующей оценкой свойств в верхней и нижней третях цилиндра.

На рис. 3 показана зависимость расслаиваемости вязущих от концентраций ЭС, СЭВ и времени протекания реакции. На оси ординат – разность плотностей верхней и нижней частей расслоившегося вязущего.

Очевидно, что избыток компонентов увеличивает расслаиваемость композиции, в то время как длительность совмещения экстремально влияет на этот показатель. В начальный период совмещения время положительно влияет на стабильность вязущего, так как в это время происходит протекание химических реакций, дальнейшее выдерживание лишь способствует расслоению. Отметим, что вязущие без эпоксисилана имеют существенно более высокую расслаиваемость.

Приведенные выше, а также и другие построенные графики показали, что центр плана был выбран верно. Оптимальное содержание сэвилена – 12 мас. ч., эпоксисилана – 3 мас. ч., время совмещения – 4 ч. Свойства разработанного вязущего в сравнении с чистым битумом представлены в табл. 1.

Таким образом, разработанное вязущее действительно обладает высоким комплексом свойств и низкой расслаиваемостью. Однако взаимодействие его компонентов, а также теоретическая возможность получения в композиции сетчатых структур всегда требуют оценки опасности синерезиса, т. е. выделения геля из структуры, как одного из главных факторов стабильности вязущего [22, 23]. Авторы для этого путем измерения

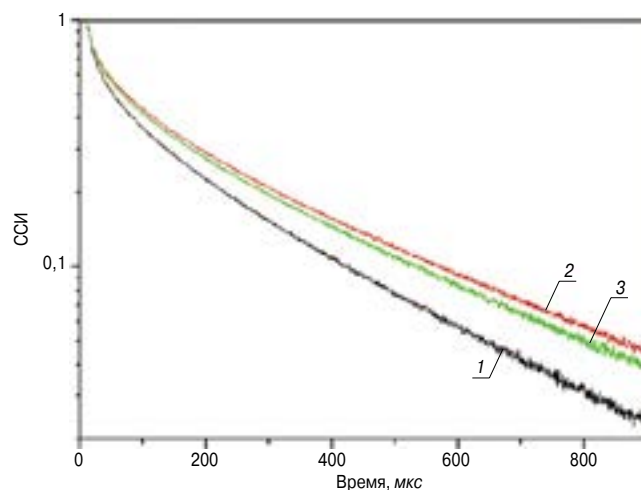


Рис. 4. Зависимость спада свободной индукции от времени: 1 – чистый битум; 2 – битум – 100 мас. ч., СЭВ – 12 мас. ч.; 3 – битум – 100 мас. ч., СЭВ – 12 мас. ч., ЭС – 3 мас. ч.

ядерно-магнитной релаксации на ЯМР-анализаторе «Хроматэк-Протон 20М» определяли молекулярную подвижность битумных композиций. Низкая подвижность молекул компонентов вязущего свидетельствует в таких случаях о формировании в композиции густо-сетчатых или высокомолекулярных компонентов, провоцирующих кристаллизацию, синерезис и расслоение вязущего.

В эксперименте рабочая частота для протонов составляла 20 МГц. Результаты измерения поперечной ядерной магнитной релаксации для трех образцов приведены на рис. 3 в координатах «логарифм-сигнал свободной индукции (ССИ) – время».

В простых случаях (жидкости) спад свободной индукции зависит от времени экспоненциальным образом, и в координатах получают прямую, по наклону которой определяют время поперечной релаксации T_2 . Чем больше время T_2 , тем меньше наклон. Показатели времени поперечной релаксации, определяемые в данном методе по движению атомов водорода, входящих в состав композиций, обратно пропорциональны времени корреляции τ_c , характеризующей молекулярную подвижность.

Начальное значение сигнала ССИ пропорционально числу ядер водорода (протонов) в образце. Поскольку в исследуемых образцах их количество было разное, перед построением зависимостей проводили нормирование к одинаковому начальному значению. Из рис. 4 видно, что зависимости ССИ от времени для всех образцов типичны и отличаются от прямой. Из этого следует, что сопоставление данных ЯМР и молекулярной подвижности может носить лишь качественный характер.

Для удобства сравнения ядерной магнитной релаксации образцов зависимости были аппроксимированы формулой:

$$A(t) = A(0) \cdot [p_c \exp(-\frac{t}{T_{2c}}) + p_b \exp(-\frac{t}{T_{2b}}) + p_a \exp(-\frac{t}{T_{2a}})],$$

где p_a, p_b, p_c – доли; T_{2a}, T_{2b}, T_{2c} – времена релаксации компонент разложения. Таким образом, все молекулы были распределены по некоторым «фазам», отличающимся подвижностью молекул. В нашем случае понятие «фаза» не связано с настоящими физическими фазами.

«Фаза с» характеризует наименее подвижные молекулы, относящиеся в большей степени к молекулам асфальтенов. «Фаза а» и «фаза б» относятся к мальтенам и другим более подвижным молекулам приготовленной смеси.

Добавление СЭВ в битум, по данным ЯМР (табл. 2), несколько снижает микровязкость смеси (увеличивается подвижность) и нормированные амплитуды молекул («фаза а»). Вероятно, это обусловлено большей подвижностью СЭВ и его влиянием на мальтеновую составляющую битума. Увеличение количества сшивающего ре-

агента, по данным ЯМР (табл. 2), практически не изменяет микровязкости смеси.

Таким образом, введение сшивающего агента в полимерно-битумное вяжущее не создает в нем малоподвижных структур, что позволяет прогнозировать высокую стабильность вяжущего при хранении и транспортировке.

Выводы.

Проведенными исследованиями установлено, что для получения нерасплаивающейся полимерно-битумной композиции с применением сэвилена целесообразно использовать гетерофункциональное телехелатное вещество, эпоксигрупа которого способна к химическому взаимодействию с карбоксильной группой асфальтенов битума, а метаоксисилановые группы реагируют с ацетильными фрагментами сэвилена.

Оптимизированы факторы получения нерасплаивающегося полимерно-битумного вяжущего с применением СЭВ. Оптимальное содержание сэвилена – 12 мас. ч., эпоксисилана – 3 мас. ч., время совмещения – 4 ч.

Метод ЯМР показал, что введение сшивающего агента в полимерно-битумное вяжущее не создает в нем малоподвижных структур, что позволяет прогнозировать его высокую стабильность.

Список литературы

1. Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Барабаш Д.Е. Наноструктурированные дорожно-строительные материалы на основе органических вяжущих // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 63–64.
2. Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Полушкин Д.Л., Фролов В.А. Решение проблемы утилизации полимерных отходов путем их использования в процессе модификации дорожного вяжущего // *Строительные материалы*. 2013. № 10. С. 38–41.
3. Мурафа А.В., Макаров Д.Б., Нуриев М.А., Хозин В.Г. Битумно-латексные эмульсионные мастики гидроизоляционного и герметизирующего назначения // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2012. № 8. С. 18–21.
4. Калинина М.О. Применение инновационных материалов в дорожном строительстве. *Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: Сборник статей победителей III Международной научно-практической конференции*. Пенза: ПГУАС, 2016. С. 19–22.
5. Киндеев О.Н., Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю. Влияние вида пластификатора на свойства битума и полимерно-битумных вяжущих // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 1. С. 26–30.
6. Шеховцова С.Ю., Высоцкая М.А. Влияние углеродных нанотрубок на свойства ПБВ и асфальтобетона // *Вестник МГСУ*. 2015. № 11. С. 110–119.
7. Беспалов В.Л. Битумополимерные вяжущие и асфальтополимербетоны, модифицированные Элвалом АМ и бутадиевметилстирольным каучуком СКМС-30 // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2015. Т. 11. № 1. С. 27–33.
8. Смолякова К.Р., Шарова А.И., Агапкина Н.А., Баскакова А.Г., Сафина Г.Ф. Синтез полимерно-битумных вяжущих материалов для дорожного строительства и изучение их товарных характеристик. *Наука ЮУрГУ: Материалы 66-й научной конференции. Серия «Секции естественных наук»*. Челябинск: ЮУрГУ, 2014. С. 369–374.
9. Золотарев В.А., Галкин А.В., Кишинский С.В. Оценка стабильности при хранении модифицированных полимерами битумов // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2006. № 2. С. 18–21.

References

1. Vysotskaya M.A., Kuznetsov D.A., Barabash D.E. Nanostructured road-building materials based on organic binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 63–64. (In Russian).
2. Belyaev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Polushkin D.L., Frolov V.A. Solution of polymer waste utilization problem by using them in the process of road binder modifying. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 10, pp. 38–41. (In Russian).
3. Murafa A.V., Makarov D.B., Nuriev M.A., Khozin V.G. Bitumen-latex emulsion mastics of waterproofing and sealing purpose. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*. 2012. No. 8, pp. 18–21. (In Russian).
4. Kalinina M.O. The application of innovative materials in road construction. *Modern technologies: current issues, achievements and innovations: a collection of articles by the winners of the III International Scientific and Practical Conference*. Penza: PSUAC. 2016, pp. 19–22. (In Russian).
5. Kindeev O.N., Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu. The influence of the plasticizer type on bitumen and polymer-bituminous binders properties. *Vestnik Belgorodskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo Universiteta im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 1, pp. 26–30. (In Russian).
6. Shekhovtsova S.Yu., Vysotskaya M.A. The effect of carbon nanotubes on the PMB and asphalt concrete properties. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 11, pp. 110–119. (In Russian).
7. Bepalov V.L. Bitumen-polymer binders and asphalt polymer concrete, modified by Elvaloy AM and butadiene methyl styrene rubber SKMS-30. *Sovremennoe Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo*. 2015. Vol. 11. No. 1, pp. 27–33. (In Russian).
8. Smolyakova K.R., Sharova A.I., Agapkina N.A., Baskakova A.G., Safina G.F. Synthesis of polymer-bitumen binders for road construction and study of their commercial characteristics. *Science of SUSU: materials of the 66th scientific conference. A series of natural sciences sections*. Chelyabinsk: SUSU. 2014, pp. 369–374. (In Russian).
9. Zolotarev V.A., Galkin A.V., Kishchinskii S.V. Polymer modified bitumens storage stability estimation. *Nauka i*

10. Золотарев В.А. Битумы, модифицированные полимерами, и асфальтополимербетоны // *Дорожная техника*. 2009. С. 16–23.
11. Закиева Р.Р., Гуссамов И.И., Гадельшин Р.М., Петров С.М., Ибрагимова Д.А., Фахрутдинов Р.З. Влияние модифицирования сополимером этилена с винилацетатом на эксплуатационные свойства вяжущего и асфальтобетона на его основе // *Химия и технология топлив и масел*. 2015. № 5 (591). С. 36–39.
12. Гадельшин Р.М., Ибрагимова Д.А., Закиева Р.Р., Абдельсалам Я.И., Петров С.М. Модификация окисленных битумов кислородсодержащими соединениями // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 14. С. 451–453.
13. Fang C., Zhou S., Zhang M., Zhao S., Wang X., Zheng C. Optimization of the modification technologies of asphalt by using waste EVA from packaging // *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2009. Т. 15. № 3. С. 199–203.
14. Upadhyay S., Mallikarjunan V., Subbaraj V.K., Varughese S. Swelling and diffusion characteristics of polar and nonpolar polymers in asphalt // *Journal of Applied Polymer Science*. 2008. Т. 109. № 1. С. 135–143.
15. Беляев П.С., Полушкин Д.Л., Макеев П.В., Фролов В.А. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2016. Т. 22. № 2. С. 264–271.
16. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Потапова Л.И., Ягунд Э.М., Макаров Д.Б., Казакулов Р.И., Хакимуллин Ю.Н. Эпоксидированный силан как сшивающий агент между битумом и полимерным модификатором // *Известия КГАСУ*. 2015. № 4. С. 253–258.
17. Тоневицкий Ю.В., Могнонов Д.М., Аюрова О.Ж., Кузнецов Ю.Н. Модификация дорожного битума отходами производства // *Строительные материалы*. 2016. № 11. С. 59–62.
18. Аюпов Д.А., Потапова Л.И., Мурафа А.В., Фахрутдинова В.Х., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Исследование особенностей взаимодействия битумов с полимерами // *Известия КГАСУ*. 2011. № 1 (15). С. 140–146.
19. Русанова С.Н., Стоянов О.В., Ремизов А.Б., Янаева А.О., Герасимов В.К., Чалых А.Е. ИК-спектроскопическое исследование силанольной модификации сополимеров этилена // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. № 9. С. 346–352.
20. Русанова С.Н., Стоянов О.В., Ремизов А.Б., Янаева А.О., Герасимов В.К., Чалых А.Е. ИК-спектроскопическое исследование взаимодействия этилсиликата и сополимеров этилена с акрилатами // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. № 9. С. 318–328.
21. Русанова С.Н., Темникова Н.Е., Мухамедзянова Э.Р., Стоянов О.В. Модификация сополимеров этилена аминотриалкоксисилоном // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. № 9. С. 353–355.
22. Tusar M., Avsenik L. Increasing the rate of recycled asphalt: an experimental study // *Transport Problems*. 2014. Т. 9. № 3. С. 31–42.
23. Шеина Т.В., Самохина А.А. Взаимосвязь фракционного состава, надмолекулярной структуры и эксплуатационных показателей дорожных битумов. Ч. II // *Градостроительство и архитектура*. 2015. № 4 (21). С. 108–114.
- Tekhnika v Dorozhnoi Otrazli*. 2006. No. 2, pp. 18–21. (In Russian).
10. Zolotarev V.A. Bitumen modified by polymers and asphalt-polymer concrete. *Dorozhnaya Tekhnika*. 2009, pp. 16–23. (In Russian).
11. Zakieva R.R., Gussamov I.I., Gadel'shin R.M., Petrov S.M., Ibragimova D.A., Fakhrutdinov R.Z. The influence of modifying by ethylene-vinyl acetate copolymer on the performance properties of binder and asphalt-based concrete. *Khimiya i Tekhnologiya Topliv i Masel*. 2015. No. 5 (591), pp. 36–39. (In Russian).
12. Gadel'shin R.M., Ibragimova D.A., Zakieva R.R., Abdel'salyam Ya.I., Petrov S.M. Modification of oxidized bitumens with oxygen-containing compounds. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta*. 2014. Vol. 17. No. 14, pp. 451–453. (In Russian).
13. Fang C., Zhou S., Zhang M., Zhao S., Wang X., Zheng C. Optimization of the modification technologies of asphalt by using waste EVA from packaging. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2009. Vol. 15. No. 3, pp. 199–203.
14. Upadhyay S., Mallikarjunan V., Subbaraj V.K., Varughese S. Swelling and diffusion characteristics of polar and nonpolar polymers in asphalt. *Journal of Applied Polymer Science*. 2008. Vol. 109. No. 1, pp. 135–143.
15. Belyaev P.S., Polushkin D.L., Makeev P.V., Frolov V.A. Modification of oil road bitumen with polymeric materials for production of asphalt-concrete coatings with enhanced performance characteristics. *Vestnik Tambovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2016. Vol. 22. No. 2, pp. 264–271. (In Russian).
16. Ayupov D.A., Murafa A.V., Potapova L.I., Yagund E.M., Makarov D.B., Kazakulov R.I., Khakimullin Yu.N. Epoxidized silane as crosslinking agent between bitumen and polymer modifier. *Izvestiya KGASU*. 2015. No. 4, pp. 253–258. (In Russian).
17. Tonevitskii Yu.V., Mognonov D.M., Ayurova O.Zh., Kuznetsov Yu.N. Modification of road bitumen by production waste. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 11, pp. 59–62. (In Russian).
18. Ayupov D.A., Potapova L.I., Murafa A.V., Fakhrutdinova V.Kh., Khakimullin Yu.N., Khozin V.G. The peculiarities of bitumens and polymers interaction investigation. *Izvestiya KGASU*. 2011. No. 1 (15), pp. 140–146. (In Russian).
19. Rusanova S.N., Stoyanov O.V., Remizov A.B., Yanayeva A.O., Gerasimov V.K., Chalykh A.E. The IR spectroscopic study of the ethylene copolymers silanol modification. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta*. 2010. No. 9, pp. 346–352. (In Russian).
20. Rusanova S.N., Stoyanov O.V., Remizov A.B., Yanayeva A.O., Gerasimov V.K., Chalykh A.E. The IR spectroscopic study of the ethylsilicate and ethylene with acrylates copolymers interaction. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta*. 2010. No. 9, pp. 318–328. (In Russian).
21. Rusanova S.N., Temnikova N.E., Mukhamedzyanova E.R., Stoyanov O.V. The modification of ethylene and aminotrialkoxysilane copolymers. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta*. 2010. No. 9, pp. 353–355. (In Russian).
22. Tusar M., Avsenik L. Increasing the rate of recycled asphalt: an experimental study. *Transport Problems*. 2014. Vol. 9. No. 3, pp. 31–42.
23. Sheina T.V. Samokhina A.A. Interrelation of the fractional composition, supramolecular structure and operational parameters of road bitumen. Part II. *Gradostroitel'stvo i Arkhitektura*. 2015. No. 4 (21), pp. 108–114. (In Russian).

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, канд. техн. наук, генеральный директор (info@inta.ru),
С.Г. МАКАРОВ, инженер, начальник отдела

Институт Новых Технологий и Автоматизации промышленности строительных материалов (ООО «ИНТА-СТРОЙ»)
(644113, г. Омск, ул. 1-я Путевая, 100)

Вопросы переработки опилок

Отмечено, что качество измельчения опилок, используемых в технологии керамического кирпича и легковесных огнеупоров в качестве отощающей и выгорающей добавки, оказывает существенное влияние на технологию и качество готовой продукции. Представлен новый агрегат для доизмельчения опилок «Кесарь» после ситобурата, традиционно применяемый в технологии керамического кирпича. Приведены технические характеристики агрегата и характеристики опилок до и после измельчения в нем. Показано, что измельчитель «Кесарь» успешно прошел испытания на Сухоложском огнеупорном заводе и установлен в технологическую линию. Предложены две схемы установки измельчителя «Кесарь» в линию производства керамического кирпича.

Ключевые слова: кирпич керамический, легковес огнеупорный, опилки, ситобурат, измельчитель «Кесарь».

Для цитирования: Шлегель И.Ф., Макаров С.Г. Вопросы переработки опилок // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 56–57.

I.F. SHLEGEL, Candidate of Sciences (Engineering), General Director (info@inta.ru), S.G. MAKAROV, Engineer, Head of Department
Institute of New Technologies and Automation of Building Materials Industry (OOO «INTA-STROY»)
(100, 1-ya Putevaya Street, 644113, Omsk, Russian Federation)

Issues of Sawdust Treatment

It is noted that the quality of sawdust grinding, used in the technology of ceramic brick and lightweight refractories as a thinning or burning-out additive, significantly influences on the technology and quality of ready-made production. A new device for re-grinding of sawdust "Kesar" after the sieve with polyhedral drum, which is traditionally used in the ceramic brick technology, is presented. Technical characteristics of the device and characteristics of sawdust before and after re-grinding in it are given. It is shown that the grinder "Kesar" has been successfully tested at the "Sukhoy Log Refractory Works" and installed in the technological line. Two schemes of installation of the grinder "Kesar" in the line for producing the ceramic brick are proposed.

Keywords: ceramic brick, lightweight refractory, sawdust, sieve with polyhedral drum, grinder "Kesar".

For citation: Shlegel I.F., Makarov S.G. Issues of sawdust treatment. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 10, pp. 56–57. (In Russian).

На многих кирпичных заводах в составе шихты используют опилки, повышающие качество выпускаемой продукции. Добавка опилок в количестве 3–8% улучшает сушильные свойства сырца, снижает трещинообразование, а при обжиге создает восстановительную среду, что способствует преобразованию оксидов железа в более легкоплавкую форму и улучшает спекание и соответственно марочность кирпича. Кроме того, при выгорании опилки образуют поры, повышающие теплоэффективность.

На некоторых предприятиях в состав шихты вводится гораздо большее количество опилок. Например, на огнеупорных заводах для получения легковеса добавляют до 45 мас. % опилок, что соответствует примерно 70 об. %. Это делается для образования большого количества пор при выгорании опилок и получения огнеупора-легковеса с низким коэффициентом теплопередачи.

Однако существующая технология подготовки опилок вызывает много вопросов.

Опилки на заводы поступают с предприятий переработки леса. Среди опилок попадают крупные куски горбыля, срезки, сучков и т. д. На заводах просеивают поступающие отходы древесины при помощи ситобурата, при этом образуется большое количество (до 50%) отсева, который сгребают в кучи. Эти кучи иногда самовоспламеняются и их сложно тушить [1].

Серьезным недостатком также является попадание в уже просеянные опилки длинномерных щепок, похожих на зубочистки. Причем снаружи при взгляде на кучу переработанных опилок щепок не видно, но если погрузить руки в эту массу, то даже при просеве через пальцы можно выловить эти длинномерные щепки. «Улов» показан на рис. 1.

Возникает вопрос, как через сито с размером ячейки 6×6 мм проходят щепки длиной до 100 мм? При анализе работы ситобурата становится понятным, как такое происходит.



Рис. 1. Щепки, прошедшие через ситобурат

При вращении барабанного сита опилки поднимаются и падают на сито практически перпендикулярно его поверхности (рис. 2).

Длинные щепки движутся параллельно направлению потока, и те из них, поперечное сечение которых меньше размера ячейки, проходят сквозь него, а это могут быть весьма длинные экземпляры. Понятно, что такие «зубочистки» являются настоящей головной болью для технологов кирпичных заводов. Каждая такая щепка способна, например, порвать струну или образовать вырыв в сырце при резке пластичного бруса, а это брак и остановка линии.

В 2017 г. по заказу ООО «Сухоложский огнеупорный завод» Институтом «ИНТА-Строй» был спроектирован и изготовлен измельчитель ШЛ 379 для доизмельчения

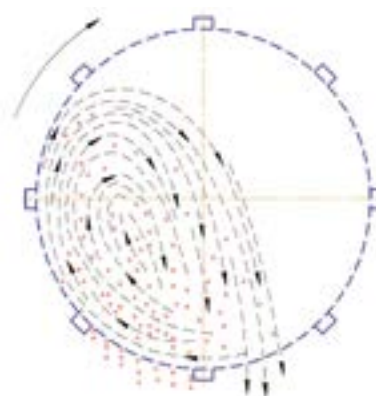


Рис. 2. Схема движения материала в ситобурате

Таблица 1
Технические характеристики измельчителя «Кесарь»

Производительность до, м ³ /час	2,5
Установленная мощность, кВт	18,75
Габаритные размеры, мм	1320×590×1344
Масса, кг	600

Таблица 2
Результаты измельчения (влажность W=48,9 %)

Фракция опилок до измельчения		Фракция опилок после измельчения	
№ сита	остаток, %	№ сита	остаток, %
10	0,2	10	–
6	1,3	6	0,3
5	2,1	5	0,7
3	9,6	3	4,2
2	36,3	2	14
1	35,8	1	51
0,5	13,2	0,5	26,9
менее 0,5–1,7		менее 0,5–2,9	



Рис. 3. Измельчитель «Кесарь» в линии завода

опилок без их отделения от основной массы. Изучение отечественной и мировой практики не выявило оборудования, способного справиться с поставленной задачей. Аналоги имеются только в патентной литературе, а рабочие машины отсутствуют. Поэтому разработка машины осуществлялась, как говорят, с нуля, и в результате было предложено решение и получен патент [2].

Измельчитель представляет собой два вала с установленными на них пакетами стандартных пильных дисков, расположенных параллельно, на подшипниковых опорах в горизонтальном разрезе корпуса. Несмотря на видимую простоту машины, пришлось в условиях экспериментального цеха ООО «ИНТА-Строй» сделать

Список литературы

1. Кашкаев И.С., Шейнман Е.Ш. Производство глиняного кирпича. М.: Высшая школа, 1978. 248 с.
2. Патент РФ 166991. *Устройство для сепарации и измельчения опилок* / Шлегель И.Ф. Заявл. 26.07.2016. Опубл. 20.12.2016. Бюл. № 35.
3. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Макаров С.Г., Либерова Г.Г., Туров М.Г., Челышев В.В. Испытания резательного автомата в экстремальных условиях // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 30–31.

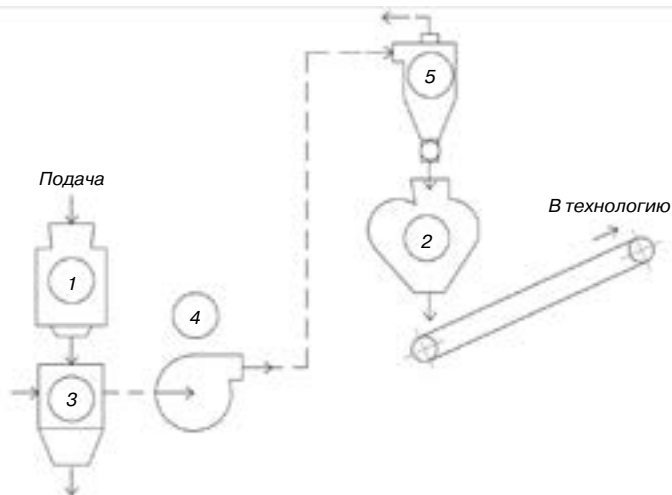


Рис. 5. Схема 2 полной переработки опилок. 1 – дробилка молотковая ШЛ-314; 2 – измельчитель «Кесарь»; 3 – камнеотделитель; 4 – вентилятор; 5 – циклон

большое количество экспериментов, чтобы определить оптимальные параметры пил, их расположение и частоту вращения.

В результате был получен измельчитель, полностью удовлетворяющий требованиям заказчика и названный нами измельчитель «Кесарь».

В настоящее время измельчитель «Кесарь» прошел производственные испытания на ООО «Сухоложский огнеупорный завод». Технические характеристики измельчителя соответствуют заявленным (табл. 1). Заказчик особенно высоко оценил, что измельчитель работает и при высокой влажности опилок (до 50%). Сравнительные результаты сита опилок до и после измельчения приведены в табл. 2.

При установке в технологическую линию (рис. 3) значительно повысилось качество выпускаемой продукции.

Ранее было отмечено, что внедрение резательного автомата РАШЛ-3 [3] сократило порывы струны. Измельчение опилок позволило еще больше сократить простои из-за порыва струны, улучшить качество реза и снизить выброс стружки при резании.

Кирпичным заводам, где применяется технологическая схема просева опилок через ситобурат, можно рекомендовать установку измельчителя «Кесарь» по схеме 1 (рис. 4).

Если беспокоит большой объем отсева при обработке опилок на ситобурате и стоит задача комплексной переработки опилок, можно рекомендовать схему 2 (рис. 5).

По этой схеме все сырье (или отсев от ситобурата) подается в молотковую дробилку ШЛ-314, имеющую шесть рядов бил для последовательного дробления сырья. Наш опыт показывает, что после обработки на дробилке древесная щепа превращается в тонкие волокна, которые легко перерабатывать на измельчителе «Кесарь».

ООО «Инта-Строй» может поставить как отдельные машины, так и принять участие в проработке технологической схемы подготовки опилок.

References

1. Kashkaev I.S., Sheinman E.Sh. Proizvodstvo glinyanogo kirpicha [Production of clay brick.]. M.: Vysshaya shkola. 1978. 248 p.
2. Patent RF 166991. *Ustroystvo dlya separatsii i izmel'cheniya opilok* [An apparatus for separating and pulverizing sawdust.]. Shlegel' I.F. Declared 26.07.2016. Published 20.12.2016. Bulletin No. 35.
3. Shlegel I.F., Shaevich G.Ja., Makarov S.G., Liberova G.G., Turov M.G., Chelyshev V.V. Tests of a cutting automatic machine under extreme conditions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 30–31. (In Russian).

М.В. ГРАВИТ, канд. техн. наук, доцент (marina.gravit@mail.ru),
А.С. КУЛЕШИН, бакалавр (alex_kulesh4@mail.ru), С.В. БЕЛЯЕВА, инженер (sbelaeva@gmail.com)
Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)

Национальные стандарты для жестких напыляемых PUR и PIR пен

Приводятся характеристики и свойства жесткого пенополиуретана и полиизоцианурата (PUR и PIR пен). Проведен краткий обзор исследований по модификации пен с целью улучшения теплоизоляционных свойств и снижения горючести пенополиуретанов. Представлен сравнительный анализ технических характеристик различных производителей жестких PUR и PIR пен. Обозначены проблемы состояния рынка производства пенополиуретана и полиизоцианурата в России. При ситуации, когда большинство сырьевых компонентов для PUR и PIR на российском рынке импортного производства, актуально импортозамещение отечественными компонентами. Установлено, что дальнейшее развитие технологии изготовления теплоизоляционных напыляемых жестких PUR и PIR пен требует единообразия технических характеристик исходных компонентов и готовых продуктов, создания единой информационной базы по сырью и вспомогательным материалам, применяемым при производстве пен PUR и PIR; разработки национальных стандартов РФ на производство работ и на компоненты для напыляемого ППУ, на методы оценки качества готовой пены.

Ключевые слова: теплоизоляция, пенополиуретан, пенополиизоцианурат, напыляемые системы, жесткая пена.

Для цитирования: Гравит М.В., Кулешин А.С., Беляева С.В. Национальные стандарты для жестких напыляемых PUR и PIR пен // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 58–64.

M.V. GRAVIT, Candidate of Sciences (Engineering), Docent (marina.gravit@mail.ru),
A.S. KULESHIN, Bachelor (alex_kulesh4@mail.ru), S.V. BELYAEVA, Engineer
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29, Polytechnicheskaya Street, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation)

National Standards for Rigid Spray-On PUR and PIR Foams

Differences between properties of the rigid foam polyurethane and polyisocyanurate (PUR and PIR foams) are presented. A brief review of studies of the foams modification with the purpose to improve heat insulation properties and reduce the flammability is made. A comparative analysis of technical characteristics of various producers of rigid PUR and PIR foams is presented. Problems of the market conditions of producing foam polyurethane and polyisocyanurate in Russia are identified. In the situation when most of the raw components for PUR and PIR at the Russian market are imported, the import substitution with domestic components is very relevant. It is established that the further development of the technology of producing heat insulation spray-on rigid PUR and PIR foams demands the uniformity of technical characteristics of primary components and ready-made products, the creation of uniform information base for raw materials and auxiliary materials which are used when producing PUR and PIR foams, development of the RF national standards for execution of works and for components for the spray-on foam polyurethane, for methods of quality assessment of the ready-made foam.

Keywords: heat insulation, foam polyurethane, foam polyisocyanurate, spray-on systems, rigid foam.

For citation: Gravit M.V., Kuleshin A.S., Belyaeva S.V. National standards for rigid spray-on PUR and PIR foams. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 10, pp. 58–64. (In Russian).

Отличительные свойства и модификации жестких закрытоячеистых PUR и PIR пен

Положительное проявление комплекса эксплуатационных свойств, надежности и экономичности полиуретанов определяют широкое практическое применение ППУ-изоляции, и в настоящее время альтернатива подобным материалам отсутствует.

Теплоизоляционные жесткие закрытоячеистые PUR и PIR пены можно получить на строительной площадке посредством смешивания двух компонентов [1]:

- смесь полиэфиров (полиолов), вспенивающих агентов, катализаторов, регулятора пены и различных добавок для улучшения свойств;
- изоцианатный продукт (MDI – метилдифенилдиизоцианат или TDI – толуилдидиизоцианат).

Пены имеют ячеистую структуру, содержащую, как правило, воздух, азот, углекислый газ порядка 90–95%. Закрытые поры исключают появление влаги, плесени и грибки в отличие от открытоячеистых материалов. Наибольшим преимуществом данных теплоизоляционных материалов является низкая теплопроводность: 18–25 мВт/(м·К), которая превосходит другие коммерчески доступные изоляционные материалы [2].

Вспенивание PUR и PIR происходит с помощью вспенивающих агентов: фреона, пентана, вспенивателя HFC 245fa, CO₂ или воды. Добавками при напылении

PUR и PIR пены могут использоваться: антипирены, наполнители, красители, удлинители цепи, бесфреоновые газообразователи, которые обычно используются для защиты физической целостности ПУ, для окрашивания; также они способствуют его формированию или уменьшают горючесть готовых изделий [3].

В зависимости от зоны применения в строении толщина слоя теплоизоляции из пенополиуретана варьируется для получения максимального эффекта и ППУ наносится в несколько слоев [3].

PIR – модифицированный PUR с преобладанием в системе изоцианатной группы и другим соотношением полиола. Доля MDI выше, а взамен полиолов на простые эфирах в реакции используется полиэфирный полиол. Катализаторы и добавки, используемые для получения PIR, также отличаются от тех, которые используются в PUR [4].

PIR пены получают в соотношении 1:2 (полиола и изоцианата), PUR пены – в пропорциях 1:1. Полимеризация PIR проводится при более высокой температуре, чем у PUR, в результате избыточный изоцианурат вступает в реакцию с самим собой, образуя более прочные и устойчивые связи [4].

Преимущества PUR и PIR пен с закрытоячеистой структурой перед пеной с открытой ячейкой – прочность, лучшие теплозащитные свойства, большая устойчивость к утечкам воздуха и водяного пара [5].

Таблица 1

Характеристики получаемых на месте работ PUR и PIR материалов

Марка	Производитель	Плотность, кг/м ³		Теплопроводность, Вт/(м·К)		Сопротивление сжатию, кПа		Водопоглощение, %			
		Значение	Метод испытания	Значение	Метод испытания	Значение	Метод испытания	Значение	Метод испытания		
Российские подрядчики, дистрибьюторы и производители											
Астраспрей 130	ООО «Авентура»	29-32	DIN EN ISO 845 (ГОСТ 409-77)	0,023	DIN 52612 (ГОСТ 7076-99)	160	DIN 53421	2,3	DIN 53428 (ГОСТ-75)		
Астраспрей 145		46-48		0,0218						200	
Астраспрей 160		58-64		0,0229						420-750	1,8
Poliuretlan Spray	ООО «Глобал Терм»	30-60	ГОСТ EN 1602-2011	0,02-0,028	EN 12667 (ГОСТ 31925-2011)	175-432	ГОСТ EN 826	5	DIN 53428 (ГОСТ 20869-75)		
Экотермикс 300	ЗАО «Химтраст»	27-45		0,023-0,028						310	0,58
Теплоспрей	ООО «Теплоспрей»	40-60		0,02						200-450	1,4-2,5
-	ООО «НСТ»	30-100	0,02-0,035	150-1200	3	200	4				
Владипур 3017	ООО «Владипур НВП»	30-70	0,028-0,032	200							
Изолан	ООО «Дау-Изолан»	30-70	EN ISO 845 (ГОСТ 409-77)	0,022	DIN 52612 (ГОСТ 7076-99)	200	DIN 53421	3	DIN 53428 (ГОСТ 20869-75)		
Европейские производители											
PUREX NG	Polychem System	35-65	EN 1602 (ГОСТ EN 1602-2011)	0,023	EN 12667 (ГОСТ 31925-2011)	200	EN 826 ГОСТ EN 826	2	EN 12087 (ГОСТ EN 12087)		
Elastospray (Lupranate M20S)	BASF Polyurethanes Europe	32-61		0,028						150-400	2
Baymer Spray 150+ Desmodur 44V20L (Desmodur VKS 20 F)	Covestro-Bayer	32		0,028						140	2
Baymer Spray 300+ Desmodur 44V20L (Desmodur VKS 20 F)		53		300							
США											
Dalitherm +Suprasec	Huntsman	30-65	ASTM D1622/D1622M	0,023	ASTM C 518	240-390	ASTM D1621	1,4	ASTM D2842		
Extrafoam TS 22011		35-45		0,023						150	3,5
Extrafoam TS 22012		50-60		0,021						300	3,5
Китай											
Wanefoam (Wannate PM-200)	Wanhua Chemical Group	30-50	GB/T 21333-2008	0,023	GB/T 20673-2006	150	GB/T 8813-2008	1,3	GB / T 8810-2005		

Пенополиуретаны эффективно сорбируют незаряженные крупные гидрофобные молекулы, такие как нафталин, пирен, бензопирен. Сорбционные свойства пенополиуретанов изменяются в результате модифицирования их поверхности различными реагентами. Пенополиуретаны, модифицированные органическими соединениями (органическими реагентами), образующими устойчивые комплексы с металлами, извлекают их более эффективно, чем немодифицированные [5].

У пенополиуретана, модифицированного керамическими наночастицами [6], выявлены общие закономерности изменения плотности, твердости, прочности и удлинения при разрыве, а также стойкости к абразивному истиранию пенополиуретанов в зависимости от наполнителя (его вида и времени механохимической обработки).

Установлено, что влияние биопродуктов, таких как кукурузный крахмал, рапсовый глицерин, а также пропиленгликоль на основе нефти, в качестве бифункциональных и трифункциональных удлинителей цепи характеризуется более высоким долгосрочным водопоглощением по сравнению с пенополиуретановой пеной. Пены, содержащие (5–25%) кукурузного крахмала, демонстрируют значительно более низкие значения плотности и прочности при сжатии, а также размер ячейки по сравнению с пенополиуретановой пеной. Наибольшую прочность при сжатии и низкую теплопроводность получают для пенопластов с введением 25% рапсового глицерина [7].

Различные биосырьевые материалы, такие как рапсовое масло и талловое масло, могли бы являться сырьем для производства пенополиуретанов, по данным [8]. Обычно снижение воспламеняемости ПУ материалов достигается добавлением антипиренов, галогенсодержащих соединений и фосфатов. Можно считать, что галогенированные антипирены выделяют летучие соединения из материалов и выделяют токсичные газовые продукты во время горения. Добавка терморасширяемого графита снижает токсичность образующихся продуктов реакции. Различные вспенивающиеся расширяемые графитовые огнезащитные составы обеспечивали значительное снижение воспламеняемости при сохранении низкой теплопроводности изоляционных материалов.

Тонкодисперсные конвертерные шлаки могут рассматриваться как эффективные наполнители в жестких пенополимерных композициях и применяться для улучшения строительно-технических свойств наполненных пенополиуретанов с целью применения их в качестве теплоизоляционного слоя в композитной металлочерепице [9]. Производство кровельных элементов осуществлено в Липецкой области и характеризуется значительным экономическим эффектом.

В настоящее время в Европе компания DowChemical проводит научные исследования по полиизоциануратным пенам [10]; также американская химическая компания Huntsman исследовала влияние ингредиентов рецептуры полиизоциануратов на их эффективность [11–12].

На сайте Национальной ассоциации производителей панелей из ППУ (http://www.nappan.ru/library/eef/features_ppu/) представлен анализ технико-экономической эффективности ППУ в сравнении с традиционной минеральной ватой. Так, коэффициент теплопроводности ППУ с закрытыми порами имеет пределы 0,018–0,03 Вт/м с толщиной покрытия от 5 до 70 мм; минеральная вата имеет открытые поры с коэффициентами 0,05–0,07 Вт/м (сухая) и 0,18 Вт/м (влажная) и толщиной 120–220 мм. Эффективный срок службы ППУ 25–50 лет, минеральной ваты – 5 лет. Также ППУ более стоек к агрессивным средам и является экологи-

чески безопасным. Рабочая температура ППУ в зависимости от марки находится в пределах от -80 до +150°C (у минеральной ваты от -40 до +120°C). У ППУ превосходная адгезия к кирпичу, бетону, металлу, древесине, в среднем 2 кг/см², которая у минеральной ваты отсутствует.

Также у PUR и PIR пен как теплоизоляционных материалов имеются преимущества, такие как отсутствие мостиков холода при бесшовной теплоизоляции, возможность изготовления теплоизоляционных «скорлуп» заданной формы путем прессования жидкого ППУ. Преимущества и возможность модификации жестких напыляемых пенополиуретанов и полиизоциануратов изучались ранее [13–21].

Несмотря на широкое распространение и большой объем научных исследований на всем этапе развития PIR и PUR пен, на сегодняшний день в России отсутствует унификация технических характеристик исходных компонентов и единая информационная база по системам сырья и вспомогательным материалам, применяемым при производстве пен PUR и PIR.

Анализ основных характеристик напыляемых PUR и PIR пен

Анализ технических характеристик жестких PUR и PIR пен с закрытыми ячейками сделан по крупным химическим производителям и организациям-членам ассоциации АПНППУ (Ассоциация производителей напыляемого пенополиуретана) и входящим в нее российским подрядчикам и дистрибьюторам. Зарубежные компании – крупные производители жестких пен PUR и PIR и поставщики компонентов для российских компаний. Выбор российских подрядчиков и дистрибьюторов сделан по материалам, марки которых не совпадают с марками приведенных зарубежных производителей. Среди крупных отечественных производителей сырья для PUR и PIR приводятся ООО «Владипур НВП» и «Дау-Изолан».

Основные параметры жесткой закрытоячейистой PUR и PIR пены соответствуют значениям, указанным в табл. 1. Российские методы испытания в большинстве случаев гармонизированы с европейскими стандартами. Для наглядности представлены наиболее важные характеристики PUR и PIR пен различных компаний с наиболее существенными различиями.

Как видно из приведенных характеристик получаемых на месте PUR и PIR материалов в табл. 1, жесткие PUR и PIR пены имеют плотность в пределах 30–70 кг/см³, данный предел применяется в строительстве для тепло- и шумоизоляции, а сверхплотные виды от 70 кг/см³ используются для гидроизоляции в фундаментах зданий и на прочих поверхностях, где требуется срок службы материала более 50 лет.

Разброс величин теплопроводности по сравниваемым в табл. 1 жестким PUR и PIR пенам с закрытыми ячейками находится в пределе 0,02–0,035 Вт/(м·К), т. е. у приведенных производителей отсутствует единообразие характеристик теплопроводности, вводящих в заблуждение потребителей при выборе теплоизоляционного материала.

В табл. 1 показатель сопротивления сжатию жестких PUR и PIR пен имеет пределы 150–1200 кПа; большие показатели актуальны для материалов большей плотностью и используются там, где требуется срок службы материала более 50 лет. Для плотностей 30–70 кг/см³ соответствуют 150–400 кПа, а для более плотных 400–1200 кПа. Единообразие данных характеристик у различных производителей также отсутствует.

Анализ характеристики водопоглощения материалом за 7 сут устанавливает значения в пределах 0,58–3,5%.

Пожарно-технические характеристики PUR и PIR пен

Материал	Показатель			
	Горючесть	Воспламеняемость	Дымообразующая способность	Токсичность
Вспененный пенополистирол ВППС	Г3, Г4	В3	Д3	Т3, Т4
Экструдированный пенополистирол ЭППС	Г3, Г4	В2, В3	Д3	Т3, Т4
Каменная вата КВ	НГ, Г1	–	–	–
Пенополиуретан PUR	Г3, Г4	В3	Д3	Т3, Т4
Пенополиизоцианурат PIR	Г1	В1	Д2, Д3	Т2
Древесина	Г4	В3	Д3	Т3

Наилучший показатель можно наблюдать у материалов Экотермикс 300 – 0,58%. Единообразие данной характеристики отсутствует.

своим показателям занимает среднюю нишу между минеральной ватой (НГ, К0) и пенополистиролом (Г3–Г4, К0–К3) [21–23].

Пожарно-технические характеристики PUR и PIR пен

Для PUR и PIR максимальная эксплуатационная температура составляет соответственно +100 и +150°C. Полиизоцианурат обладает пониженной пожарной опасностью благодаря содержащимся антипиренам, не поддерживает горения и самостоятельно затухает при отсутствии источника огня. Кроме того, по сравнению с PUR пенополиизоцианурат более устойчив к воздействию солнечного излучения [22].

Деревянная плитка 1000×1000×10 мм при плотности 500 кг/м³ при полном сгорании обеспечивает теплоту сгорания 80 МДж. Теплота сгорания пенополиуретана тех же размеров при плотности 50 кг/м³ оценивается в 13,5 МДж, т. е. вклад PUR в тепловой баланс пожара в шесть раз меньше, чем у дерева [22].

Напыляемые пенополиуретаны при горении выделяют CO, CO₂, HCN и оксиды азота.

Исследования [22] подтвердили более низкую токсичность продуктов горения PUR по сравнению с продуктами, выделяющимися при горении дерева, пробки, шерсти, хлопчатобумажных тканей, фанеры, ДСП. Меньшее выделение HCN при свободном горении PUR объясняют тем, что при размягчении PUR в зоне горения образуется жидко-вязкая масса, удерживающая цианистый водород, благодаря чему он успевает разложиться, что ведет к понижению токсичности продуктов сгорания. Также при воздействии пламени на PUR и PIR пены происходит обугливание наружного слоя материала с образованием пористой углеродной матрицы, которая препятствует горению внутренних слоев полимеров. Благодаря низкой теплопроводности и закрытопористой структуре пенополиуретан не прогорает сразу на всю глубину. Важным фактором является также то, что плотность пенополиуретана в десятки раз меньше, чем у дерева, т. е. в единице объема меньше сгораемого продукта. В табл. 2 представлены пожарно-технические характеристики полимерных материалов [23].

Таким образом, если сравнивать PIR продукты нового поколения с традиционными PUR системами, то PIR наполнители обладают пониженной горючестью. PIR при воздействии пламени моментально коксуется и препятствует распространению огня. Это обеспечивает высокие пожарно-технические показатели как самого материала (группа горючести Г1), так и конструкций, где он используется. В случае применения утеплителей в конструкциях достигаются показатели К0–К1 по классу конструктивной пожарной опасности согласно ГОСТ 30403–2012 «Конструкции строительные. Метод испытаний на пожарную опасность», т. е. материал по

Производство полиуретанов в России

Рынок полиуретанов в РФ остается зависимым от поставок импортного сырья. Существует решение Минпромторга включить проект производства MDI в план по импортозамещению в химической отрасли. Ориентировочный срок реализации – 2020 г.

Статистические данные за 2016 г. показывают, что импорт изоцианатов в РФ составил 157,2 тыс. т, что на 1,5% больше данных предыдущего года. Из этого объема основная часть пришлась на MDI – 113,6 тыс. т. Однако в сравнении с показателем 2015 г. импорт MDI снизился на 0,7%. Ввоз же TDI вырос на 2,2% и достиг 39 тыс. т. В структуре российских покупателей импортных изоцианатов в прошлом году лидировала «Дау Изолан», на втором месте – «Эластокам». В числе крупнейших поставщиков MDI – DowEurope, WanhuaChemical и BASF. Лидерами по ввозу в Россию TDI стали Covestro, BASF и BorsodChem. Важным изменением структуры производства полиуретанов в РФ за прошедшие 12 лет – с 2004 по 2016 г. является общий рост объемов выпуска на 47% (со 187 до 275 тыс. т).

По итогам 2016 г. объем рынка напыляемого ППУ в России составил 8,6 тыс. т. На данный момент рынок напыляемого ППУ составляет 0,7% от рынка ТИМ и в ближайшие годы может вырасти в два раза.

В целом отрасль полиуретанов в России в настоящее время динамически развивается, но при этом имеет определенные проблемы: российское потребление ППУ в строительстве ниже европейского уровня, однако рынок стремится к этой высокой планке. Для этого необходимо прежде всего популяризировать продукт и более активно участвовать в совершенствовании технического регулирования в части энергоэффективности и пожарной безопасности.

Нормативная база производства и применения напыляемых PUR и PIR пен

В России стандарты по производству и применению пенополиуретана и полиизоцианурата отсутствуют. Каждый производитель выпускает продукцию по собственным техническим условиям.

Стандарты по производству и применению пенополиуретана и полиизоцианурата в Европе и США:

– BS EN 14315-1:2013 – Теплоизоляционные продукты для зданий – получаемые на месте жесткие пенополиуретан (PUR) и пенополиизоцианурат (PIR) – европейский стандарт;

- Spezialelastomere/Infomaterial/elastollan_material_uk.pdf (Дата обращения 09.02.2017).
- Жуков А.Д., Смирнова Т.В., Чугунков А.В., Химич А.О. Особенности тепловой обработки слоистых высокопористых материалов // *Вестник МГСУ*. 2013. № 5. С. 96–102.
 - Дмитриенко С. Г., Апяри В.В. Пенополиуретаны: сорбционное концентрирование и применение в химическом анализе. М.: Наука, 2010. 264 с.
 - Волоскова Е.В., Полубояров В.А., Горбунов Ф.К., Гурьянова Т.И., Андрияшкова О.В., Гончаров А.И. Модифицирование пенополиуретана нанодисперсными керамическими частицами // *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2010. № 1. С. 8–12.
 - Kairyte Agnė, Vaitkus Saulius, Balčiūnas Giedrius. The impact of chain extender on the properties of polyurethane foam based on rapeseed oil polyol obtained via chemo-enzymatic route // *Engineering Structures and Technologies*. 2016. No. 3, pp. 101–107.
 - Kirpluks M., Cabulis U., Avots A. Insulation materials in context of sustainability. Riga, Latvia: Latvian State Institute of Wood Chemistry. 2016, pp. 85–111.
 - Корнеев А.Д., Гончарова М.А., Шаталов Г.А. Технология композитной черепицы с теплоизоляцией из наполненного пенополиуретана // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 92–95.
 - Vairo G., Pellacani L., Golini P., Lotti L. Enhanced polyisocyanurate foams for metal faced panels. <http://www.dow.com/scripts/litorder.asp?filepath=/polyurethane/pdfs/noreg/109-01836.pdf> (Дата обращения: 02.02.2017).
 - Lifeng Wu, Janine Van Gemert, Rafael E. Camargo. Rheology study in polyurethane rigid foams. http://www.huntsman.com/polyurethanes/Media%20Library/a_MC1CD1F5AB7BB1738E040EBCD2B6B01F1/Products_MC1CD1F5AB8081738E040EBCD2B6B01F1/Construction_MC1CD1F5AEF051738E040EBCD2B6B01F1/Technical%20presentati_MC1CD1F5AF6F41738E040EBCD2B6B01F1/files/cpi_08_lifengwu_revised.pdf (Дата обращения: 03.02.2017).
 - Sachchida N. Singh, Jody S. Fife, Sheila Dubs and Paul D. Coleman. Effect of formulation parameters on performance of polyisocyanurate laminate boardstock insulation. http://www.huntsman.com/polyurethanes/Media%20Library/a_MC1CD1F5AB7BB1738E040EBCD2B6B01F1/Products_MC1CD1F5AB8081738E040EBCD2B6B01F1/Construction_MC1CD1F5AEF051738E040EBCD2B6B01F1/Technical%20presentati_MC1CD1F5AF6F41738E040EBCD2B6B01F1/files/api06_huntsman_construction_paper.pdf (Дата обращения: 05.02.2017).
 - Еремина Т.Ю., Гравит М.В., Дмитриева Ю.Н. Средства огнезащиты строительных конструкций. Анализ общих положений российских и европейских нормативных документов // *Архитектура и строительство России*. 2012. № 8. С. 24–29.
 - Еремина Т.Ю., Гравит М.В., Дмитриева Ю.Н. Конструктивные средства огнезащиты. Анализ европейских нормативных документов // *Архитектура и строительство России*. 2012. № 9. С. 30–36 с.
 - Cabulis U., Kirpluks M., Stirna U., Lopez M.J., VargasGarcia M.C. Rigid polyurethane foams obtained from tall oil and filled with natural fibers: Application as a support for immobilization of lignin degrading microorganisms // *Journal of Cellular Plastics*. 2012. No. 48, pp. 500–515.
 - Gao L., Zheng G., Zhou Y., Hu L., Feng G., Zhang M. Synergistic effect of expandable graphite, diethylethylphosphonate and organically-modified layered double hydroxide on flame retardancy and fire behavior of polyiso-
 - Zhukov A.D., Smirnova T.V., Chugunkov A.V., Khimich A.O. Features of heat treatment of high-porosity layered materials. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 5, pp. 96–102. (In Russian).
 - Dmitrienko S.G., Apyari V.V. Penopoliuretany: sorbtsionnoe kontsentrirovaniye i primeneniye v khimicheskom analize [Polyurethane foams: sorption concentrating and use in chemical analysis]. Moscow: Nauka. 2010. 264 p.
 - Voloskova E.V., Poluboyarov V.A., Gorbunov F.K., Gur'yanova T.I., Andryushkova O.V., Goncharov A.I. Modification of polyurethane foam by nanodispersed ceramic particles. *Vestnik Kemerovskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2010. No. 1, pp. 8–12 (In Russian).
 - Kairyte Agnė, Vaitkus Saulius, Balčiūnas Giedrius. The impact of chain extender on the properties of polyurethane foam based on rapeseed oil polyol obtained via chemo-enzymatic route. *Engineering Structures and Technologies*. 2016. No. 3, pp. 101–107.
 - Kirpluks M., Cabulis U., Avots A. Insulation materials in context of sustainability. Riga, Latvia: Latvian State Institute of Wood Chemistry. 2016, pp. 85–111.
 - Korneev A.D., Goncharova M.A., Shatalov G.A. Technology of composite tiles with thermal insulation filled with polyurethane foam. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 92–95. (In Russian).
 - Vairo G., Pellacani L., Golini P., Lotti L. Enhanced polyisocyanurate foams for metal faced panels. <http://www.dow.com/scripts/litorder.asp?filepath=/polyurethane/pdfs/noreg/109-01836.pdf> (Date of access 02.02.2017).
 - Lifeng Wu, Janine Van Gemert, Rafael E. Camargo. Rheology study in polyurethane rigid foams. http://www.huntsman.com/polyurethanes/Media%20Library/a_MC1CD1F5AB7BB1738E040EBCD2B6B01F1/Products_MC1CD1F5AB8081738E040EBCD2B6B01F1/Construction_MC1CD1F5AEF051738E040EBCD2B6B01F1/Technical%20presentati_MC1CD1F5AF6F41738E040EBCD2B6B01F1/files/cpi_08_lifengwu_revised.pdf (Date of access 03.02.2017).
 - Sachchida N. Singh, Jody S. Fife, Sheila Dubs, Paul D. Coleman. Effect of formulation parameters on performance of polyisocyanurate laminate boardstock insulation. http://www.huntsman.com/polyurethanes/Media%20Library/a_MC1CD1F5AB7BB1738E040EBCD2B6B01F1/Products_MC1CD1F5AB8081738E040EBCD2B6B01F1/Construction_MC1CD1F5AEF051738E040EBCD2B6B01F1/Technical%20presentati_MC1CD1F5AF6F41738E040EBCD2B6B01F1/files/api06_huntsman_construction_paper.pdf (Date of access 05.02.2017).
 - Eremina T.Yu., Gravit M.V., Dmitrieva Yu.N. Means of fire protection of building structures analysis of general provisions of Russian and European regulations. *Arkhitectura i Stroitel'stvo Rossii*. 2012. No. 8, pp. 24–29. (In Russian).
 - Eremina T.Yu., Gravit M.V., Dmitrieva Yu.N. Constructive means of fire protection. Analysis of European regulations. *Arkhitectura i Stroitel'stvo Rossii*. 2012. No. 9, pp. 30–36. (In Russian).
 - Cabulis U., Kirpluks M., Stirna U., Lopez M.J., VargasGarcia M.C. Rigid polyurethane foams obtained from tall oil and filled with natural fibers: Application as a support for immobilization of lignin degrading microorganisms. *Journal of Cellular Plastics*. 2012. No. 48, pp. 500–515.
 - Gao L., Zheng G., Zhou Y., Hu L., Feng G., Zhang M. Synergistic effect of expandable graphite, diethylethylphosphonate and organically-modified layered double hydroxide on flame retardancy and fire behavior of polyiso-



- behavior of polyisocyanurate-polyurethane foam nanocomposite // *Polymer Degradation and Stability*. 2014. No. 101, pp. 92–101.
17. Feng F., Qian L. The flame retardant behaviors and synergistic effect of expandable graphite and dimethylmethylphosphonate in rigid polyurethane foams // *Polymer Composites*. 2013. No. 35, pp. 301–309.
 18. Paciorek-Sadowska J., Czuprynski B., Liszkowska J. Chair of Chemistry and Technology of Polyurethanes. Bydgoszcz: Casimir the Great University. 2012, pp. 302–306.
 19. Chattopadhyay, D.K. Webster D.C. Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes // *Progress in Polymer Science*. 2009. No. 34, pp. 1068–1133.
 20. Mosiewicki M.A., Aranguren M.I. A short review on novel biocomposites based on plant oil precursors // *European Polymer Journal*. 2013. No. 49, pp. 1243–1256.
 21. Zieleniewska M., Leszczyński M. K., Kurańska M., Prociak A., Szczepkowski L., Krzyżowska M., Ryszkowska J. Preparation and characterisation of rigid polyurethane foams using a rapeseed oil-based polyol // *Industrial Crops and Products*. 2015. No. 74, pp. 887–897.
 22. Огнестойкость и пожарная опасность конструкций покрытий на основе стального профилированного листа с полимерным утеплителем. Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2015. 29 с.
 23. Гравит М.В. Огнестойкость строительных конструкций в европейских и российских стандартах // *Стандарты и качество*. 2014. № 2. С. 36–37.
- cyanurate-polyurethane foam nanocomposite. *Polymer Degradation and Stability*. 2014. No. 101, pp. 92–101.
17. Feng F., Qian L. The flame retardant behaviors and synergistic effect of expandable graphite and dimethylmethylphosphonate in rigid polyurethane foams. *Polymer Composites*. 2013. No. 35, pp. 301–309.
 18. Paciorek-Sadowska J., Czuprynski B., Liszkowska J. Chair of chemistry and technology of polyurethanes. Bydgoszcz: Casimir the Great University. 2012, pp. 302–306.
 19. Chattopadhyay D.K., Webster D.C. Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes. *Progress in Polymer Science*. 2009. No. 34, pp. 1068–1133.
 20. Mosiewicki M. A., Aranguren M. I. A short review on novel biocomposites based on plant oil precursors. *European Polymer Journal*. 2013. No. 49, pp. 1243–1256.
 21. Zieleniewska M., Leszczyński M. K., Kurańska M., Prociak A., Szczepkowski L., Krzyżowska M., Ryszkowska J. Preparation and characterisation of rigid polyurethane foams using a rapeseed oil-based polyol. *Industrial Crops and Products*. 2015. No. 74, pp. 887–897.
 22. Огнестойкость и пожарная опасность конструкций покрытий на основе стального профилированного листа с полимерным утеплителем [Fire resistance and fire hazard coating structures based on steel profiled sheet with a polymer insulation]. Moscow: FGBU VNIPO Russian Emergency Situations Ministry, 2015. 29 p.
 23. Gravit M.V. Fire resistance of building structures in European and Russian standards. *Standarty i Kachestvo*. 2014. No. 2, pp. 36–37. (In Russian).

Требования к статьям, направляемым для публикации в журнал «Строительные материалы»[®]

Уважаемые авторы!

Приступая к оформлению статьи для журнала «Жилищное строительство» внимательно ознакомьтесь с правилами и рекомендациями, размещенными на сайте издательства:

– Статьи серии «Начинающему автору» – www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf

– Как подготовить к публикации научно-техническую статью – www.rifsm.ru/page/7

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями издания:

– текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf;

– графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;

– иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться:

- рекомендательным письмом руководителя предприятия (института);
- лицензионным договором о передаче права на публикацию;
- распечаткой, лично подписанной ВСЕМИ авторами;
- рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках;
- подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Жилищное строительство», ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания;
- сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов (заполненная информационная карта).

Особое внимание библиографическим спискам!

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Неосомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

**Следуйте рекомендациям, и публикация
не заставит себя долго ждать!**

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

NANO-TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION

NTC-2018

13-17 апреля 2018 г.
13-17 April, 2018

Прибытие и регистрация участников / Arrival & Registration 13.04.2018
Дни проведения конференции / Scientific activities 14–16.04.2018
Отъезд / Departure 17.04.2018

Хургада, Египет
Hurgada, Egypt

Отель / Hotel
Sunny Days El Palacio Resort & Spa

Организатор конференции / Organizer

Национальный исследовательский центр жилья и строительства (НБРС)
Housing & Building National Research Center (NBRC)

Соорганизаторы конференции / Co-organizers

Министерство жилищно-коммунального хозяйства и городского сообщества
Ministry of Housing, Utilities and Urban Communities



Египетско-российский университет
Egyptian Russian University (ERU)



Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова
Kalashnikov Izhevsk State Technical University (ISTU)



Тематика конференции / Conference Themes

- Синтез и применение наночастиц
- Наноразмерная характеристика материалов.
- Наноструктурированные или нанопористые материалы и нанокompозиты
- Наноматериалы для медицины
- Применение нанотехнологий в красках, покрытиях, слоях и мембранах.
- Наноматериалы в архитектуре для энергоэффективности, внутреннего экологического качества и устойчивости.
- Эффективность нанотехнологий в огнезащите.
- Другие.
- Nanoparticles synthesis and applications.
- Nanoscale materials characterization.
- Nanostructured or nanoporous materials and nanocomposites
- Nanomaterials for structural health monitoring and sensing.
- Application of nanotechnology in paints, coatings, layers and membranes.
- Nanomaterials in architecture for energy efficiency, indoor environmental quality and sustainability.
- Nano-technology's effect of fire performance.
- Others.

Параллельно с конференцией в помещении отеля будет проходить выставка.

Экспоненты предоставляются следующие категории спонсорского участия:

Exhibition: An exhibition will be held at the Hotel premises.

Exhibitors are welcomed for sponsoring with the following categories & fees:

Bronze	Silver	Gold
1000 \$	1500 \$	2000 \$

Основные даты и условия участия / Deadlines and Conference fees

- Принятие рефератов (abstract) 01/11/2017
- Представление полной рукописи 01/12/2017
- Принятие полных рукописей 01/01/2018
- Окончательный прием заявок 01/02/2018
- Acceptance for abstract 01/11/2017
- Submission of full manuscript 01/12/2017
- Acceptance for full manuscripts 01/01/2018
- Final acceptance 01/02/2018

Для участников, не являющихся египтянами, регистрационный взнос за участие в конференции (исключая проживание, транспорт и общественные мероприятия), составляет 200 долл. США/чел. и 100 долл. США/чел для студентов.

Регистрационный взнос за полный пакет участника (с проживанием, трансфером и общественными мероприятиями) составляет 500 долл. США/чел и 300 долл. США/чел для студентов.

Оплата производится: Банковским переводом в QNB Qatar National Bank Al Ahli, Swift Code QNB AEGCXXX, № счета 00037 00152 20315560107-56, Египетско-Российский университет.

For Non Egyptian participants, the conference registration fees excluding accommodation, transportation and social activities is 200 USD/Person and 100 USD/Person for Non Egyptian students.

A package for accommodation, internal transportation and social activities is available for Non Egyptian participants for 500 USD/Person and 300 USD/Person for Non Egyptian students.

Payment of fees must be: by Bank transfer to QNB Qatar National Bank Al Ahli, swift code QNB AEGCXXX, Account No. 00037 00152 20315560107-56, Egyptian-Russian University.

Информационная поддержка – журнал «Строительные материалы»®
Information support – the «Construction Materials» journal

СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®

К проведению конференции планируется выпуск журнала «Строительные материалы» № 1-2.2018. Статьи будут публиковаться на двух языках (русский английский). Срок подачи материала в редакцию до 13.01.2018 / To holding a conference the issue of the journal «Construction Materials» 1-2.2018 is planned. Articles will be published in two languages (Russian, English). Deadline for submitting the material to the editorial office before 13.01.2018

Контактная информация в России /

Contact information in Russia

Профессор Григорий Иванович Яковлев

ИжГТУ им. М.Т. Калашникова

E-mail: gyakov@istu.ru Тел.: 891285666688

Факс: +7(3412)592555

Prof. G.I. Yakovlev

Studencheskaya Str., 7, Izhevsk, 426069, Russia

Mob. +79128566688, E-mail: gyakov@istu.ru

Контактная информация в Египте

(только на английском языке)

/ Contact information in Egypt (English only)

Prof. Magdy Helal, Prof. Sayed Shebl

Housing & Building National Research Center

El-Tahrir Street, Dokki, Giza-Egypt

Tel: +20233356853, 37617107

Mr. Haysam Wahed

Mob: +201226293390

info@ntchbrc.com

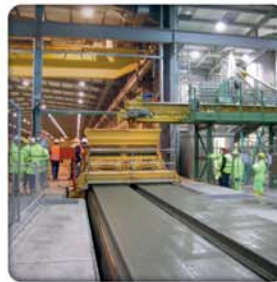
ntc_nano@yahoo.com



nordimpianti



References Referências Референции Referenze
业务范围 Referencias Referanslar Referencje Referenzen



Имея более чем 40 летний опыт в формовании преднапряженных железобетонных элементов, установки фирмы NORDIMPIANTI производят железобетонные изделия в более чем 50 странах.

Компетенция фирмы NORDIMPIANTI в производстве надежных и высококачественных производственных установок и оборудования доказана по всему миру.

Фирма NORDIMPIANTI способна поставлять отдельные установки или все, что необходимо для полнокомплектного завода, с поддержкой в виде профессиональных консультаций и послепродажного обслуживания, которые осуществляются собственным персоналом.

 +39 0871 540222 | nordimpianti.com    

 nordimpianti