

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ<sup>®</sup> №11



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

[WWW.RIFSM.RU](http://WWW.RIFSM.RU)

НОЯБРЬ

2016 г. (743)

*Ровных дорог в  
Новом году!*

## HRIZOPRO

СТАБИЛИЗИРУЮЩАЯ ДОБАВКА  
В ЦМА

☎ 8 - 800 - 200 - 53 - 10

✉ [ht@orenmin.ru](mailto:ht@orenmin.ru)

🌐 [www.hrizopro.ru](http://www.hrizopro.ru)





ЗАВОД  
ТЕХПРИБОР

Тульская обл., г. Щекино  
ПРЕДЛАГАЕТ

6050

# МЕЛЬНИЦЫ «ТРИБОКИНЕТИКА»



**miningworld**  
RUSSIA

Диплом за лучшую  
мельницу тонкого помола\*

**ОСМ 2015**

Диплом за лучший  
мельничный комплекс



## Всё перемелется!

\* Диплом за лучшую мельницу тонкого помола российского производства по версии выставки Miningworld Russia.



Завод «ТЕХПРИБОР» РФ, Тульская область, г. Щекино, ул. Пирогова, д.43  
Контактные телефоны: (48751) 9-05-95, 9-05-96, 9-05-21, 9-05-46  
E-mail: [manager@tpribor.ru](mailto:manager@tpribor.ru) / [www.tpribor.ru](http://www.tpribor.ru)





# Республика Адыгея

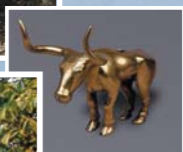
Республика Адыгея входит в состав Южного федерального округа. Подобно драгоценному изумруду, она, на 40% (280 тыс. га) покрытая лиственными лесами, переливается яркими гранями предгорий Кавказа. Республика богата запасами сырья для производства строительных материалов, имеются месторождения газа и золота.

Адыгея – индустриально-аграрная республика с развитыми пищевой, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленностью, машиностроением и металлообработкой.

Стоянки неандертальцев и homo sapiens, дольмены и курганы, под которыми погребены вожди древних племен делают Адыгею настоящим раем для геологов, археологов и путешественников.



На северной окраине п. Каменноостровский на краю фруктового сада сохранился целый дольмен (Ходжоский), одно из самых загадочных мегалитических сооружений, относящееся к концу III – середине II тыс. до н. э.



Майкопский курган Ошад – археологический памятник, относящийся к бронзовому веку, был раскопан в 1897 г. археологом Н. Веселовским. В кургане были обнаружены предметы, датируемые 2500 г. до н. э. В 1972 г. на месте, где находился курган, установлен памятный монумент работы А.А. Шикояна.



Зимой 1910 г., следуя по новому участку железной дороги, соединившей Армавир и Туапсе, на железнодорожную станцию Майкоп прибыл первый поезд.

Градоформирующим элементом старой архитектуры Майкопа является пожарная часть с каланчей, построенная в 1900 г. в стиле реминисцентного русского классицизма.



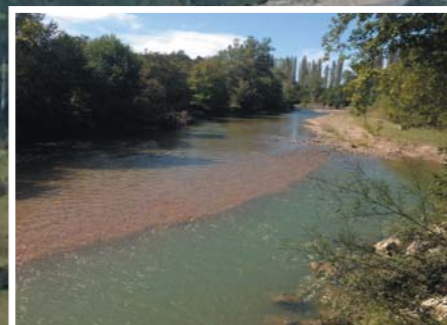
Майкопский государственный технологический университет создан в конце 1993 г. по инициативе и при непосредственном участии нынешнего главы Республики Адыгея А.К. Тхакушинова. В настоящее время МГТУ – крупный учебный и научно-исследовательский центр федерального значения. Входит в Ассоциацию строительных вузов России.



Соборная мечеть Майкопа – гордость всего Кавказа. В 2000 г. ее на свои деньги построил и подарил городу эмир Рас-эль-Хаймы Шейх Сауд бин Сакр аль-Касими из ОАЭ.



Памятник «Единение и согласие», выполненный в форме адыгского очага, который издревле считается материальной и духовной основой дома и семьи, открыт в 2013 г.



26 августа 2016 г. запущен в эксплуатацию восьмой гипсовый завод компании – «ВОЛМА-Майкоп». В торжественном открытии завода приняли участие более 300 гостей и партнеров «ВОЛМА», глава Республики Адыгея А.К. Тхакушинов, другие руководители, представители правительств Краснодарского края и Республики Беларусь. Поздравительную телеграмму от лица Министерства промышленности и торговли Российской Федерации в адрес «ВОЛМА» направил первый заместитель министра Г.С. Никитин.

Общий объем инвестиций в возведение завода превысил 2 млрд р., он оснащен современным высокотехнологичным оборудованием ведущих мировых производителей, в него интегрирована беспрецедентная система защиты окружающей среды. В основу полностью автоматизированного процесса производства легла технология, исключая образование жидких промышленных отходов. Система фильтрации гарантирует нулевые выбросы в атмосферу, а крытые склады обеспечат отсутствие пыли.



# ВОЛМА

ОТ СЛОВ  
К ДЕЛУ



**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®

## № 11

Основан в 1955 г.

(743) ноябрь 2016 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,  
 член-корреспондент РАН  
 (Санкт-Петербург)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,  
 журнал «Строительные материалы»®, 2016

**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**

**Гипсовые строительные материалы**

**VIII Международная научно-практическая конференция  
 «Повышение эффективности производства и применения  
 гипсовых материалов и изделий» (Информация) ..... 3**

**Древней Грузии – новое производство КНАУФ (Информация) ..... 9**

А.В. ЧЕРЕВАТОВА, Д.А. АЛЕХИН, А.Ф. БУРЬЯНОВ, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, Н.И. КОЖУХОВА

**Особенности комплексного механизма структурообразования  
 в системе композиционного гипсокремнеземистого вяжущего ..... 12**

**Современные бетоны: наука и практика**

О.М. СМИРНОВА, Е.В. АНДРЕЕВА

**Свойства тяжелого бетона дисперсно-армированного  
 синтетическим микроволокном ..... 17**

Л.Я. КРАМАР, Б.Я. ТРОФИМОВ, Т.Н. ЧЕРНЫХ, А.А. ОРЛОВ, К.В. ШУЛДЯКОВ

**Современные суперпластификаторы для бетонов,  
 особенности их применения и эффективность ..... 21**

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

**Механические свойства цементного поризованного бетона  
 при одноосном сжатии с учетом закономерностей его ползучести ..... 26**

**Материалы и технологии**

Г.Р. БУТКЕВИЧ

**Состояние промышленности минерального сырья строительных материалов  
 в США в 2015 году ..... 32**

С.В. ВАВРЕНЮК, В.А. АВРАМЕНКО, В.Г. ВАВРЕНЮК, С.Г. КРАСИЦКАЯ, А.Э. ФАРАФОНОВ

**Твердофазное механохимическое модифицирование портландцементов ..... 34**

А.Н. ГРИШИНА, Е.В. КОРОЛЕВ

**Особенности химического состава продуктов осаждения  
 гидросиликатов натрия ..... 37**

А.А. КУСТОВ, А.М. ИБРАГИМОВ

**Методики и результаты натуральных испытаний технических тканей с покрытием.  
 Часть 1. Обзор проведенных исследований ..... 41**

**«Градостроительство в тени Сталина.  
 Мир в поисках социалистического города в СССР» (Информация) ..... 46**

Н.В. КИЛЮШЕВА, В.Е. ДАНИЛОВ, А.М. АЙЗЕНШТАДТ

**Теплоизоляционный материал из коры сосны и ее экстракта ..... 48**

**Отходы в производстве строительных материалов**

Г.В. КУЗНЕЦОВА

**Гранулометрический состав мелкодисперсных золоотходов  
 и его влияние на свойства прессованных изделий ..... 51**

Г.Ю. ШАГИГАЛИН, А.В. ГАТАУЛЛИН, Н.Б. ХАБАБУТДИНОВА, Л.Н. ЛОМАКИНА

**Оценка возможности применения в строительстве бурового шлама  
 Республики Башкортостан ..... 57**

Ю.В. ТОНЕВИЦКИЙ, Д.М. МОГНОНОВ, О.Ж. АЮРОВА, Ю.Н. КУЗНЕЦОВ

**Модификация дорожного битума отходами производства ..... 59**

**Результаты научных исследований**

А.И. НИЖЕГОРОДОВ

**Экспериментальное определение коэффициентов трения  
 некоторых потенциально термоактивных минералов ..... 63**

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.

Уважаемые читатели! Не забудьте оформить подписку на 2017 год! Оставайтесь с нами!

**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

# STROYTEL'NYE MATERIALY®

## № 11

Founded in 1955

(743) November 2016 r.

### 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),  
Corresponding Member of RAS  
(St. Petersburg)

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

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

**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)

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

**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)

### Gypsum building materials

#### The VIII International Scientific-Practical Conference

«Improving Efficiency of Production and Application of Gypsum Materials and Products» (Information)..... 3

New Production of KNAUF to Ancient Georgia (Information)..... 9

A.V. CHEREVATOVA, D.A. ALEKHIN, I.V. BUR'YANOV, I.V. ZHERNOVSKY, N.I. KOZHUKHOVA

Features of Complex Structure Formation in Composite Gypsum-Silica Binder ..... 12

### Modern concretes: science and practice

O.M. SMIRNOVA, E.V. ANDREEVA

Properties of Heavy Concrete Disperse-Reinforced with Synthetic Micro-Fiber ..... 17

L.Ya. KRAMAR, B.Ya. TROFIMOV, T.N. CHERNYKH, A.A. ORLOV, K.V. SHULDYAKOV

Modern Superplasticizers for Concretes, Features of Their Application and Effectiveness ..... 21

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

Mechanical Properties of Cement Porous Concrete at Uniaxial Compression with Due Regard for Regularities of Its Creep ..... 26

### Materials and technologies

G.R. BUTKEVICH

The State of Mineral Raw Materials Industry for Building Materials in the USA in 2015 ..... 32

S.V. VAVRENIUK, V.A. AVRAMENKO, V.G. VAVRENIUK, S.G. KRASITSKAYA, A.E. FARAFONOV

Solid Phase Mechanical-Chemical Modification of Portland Cements ..... 34

A.N. GRISHINA, E.V. KOROLEV

Features of Chemical Composition of Subsidence Products of Sodium Hydrosilicates ... 37

A.A. KUSTOV, A.M. IBRAGIMOV

Procedures and Results of Full-Scale Tests of Technical Fabrics with Coating. Part 1. Review of Conducted Studies. .... 41

N.V. KILYUSHEVA, V.E. DANILOV, A.M. AIZENSHTADT

Heat Insulation Material Produced from Pine Bark and Its Extract. .... 48

### Waste in production of building materials

G.V. KUZNETSOVA

Granulometric Composition of Fine-Disperse Ash Waste and Its Influence on Properties of Pressed Products ..... 51

G.Yu. SHAGIGALIN, A.V. GATAULLIN, N.B. KHABABUTDINOVA, L.N. LOMAKINA

Assessment of the Use of Drilling Cuttings of the Republic of Bashkortostan in Construction ..... 57

Yu.V. TONEVITSKII, D.M. MOGNOV, O.Zh. AYUROVA, Yu.N. KUZNETSOV

Modification of Road Bitumen by Production Waste ..... 59

### Results of scientific research

A.I. NIZHEGORODOV

Experimental Determination of Friction Coefficient of Some Potential Thermosetting Minerals ..... 63

**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.



## VIII Международная научно-практическая конференция «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»



8–9 сентября 2016 г. в столице Республики Адыгеи г. Майкопе состоялась VIII Международная научно-практическая конференция «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий». В ее работе приняли участие более 200 руководителей и ведущих специалистов предприятий гипсовой отрасли, представителей инжиниринговых и машиностроительных организаций, ученые отраслевых НИИ и вузов из более чем 50 регионов России и 15 стран мира, а также студенты и преподаватели Майкопского государственного технологического университета.

Организаторы конференции: Российская гипсовая ассоциация (РГА), Московский государственный строительный университет, Научно-исследовательский институт строительной физики при поддержке Правительства Республики Адыгея. Генеральным спонсором мероприятия традиционно выступила компания «КНАУФ».



*Приветствуя участников и гостей конференции, глава республики А.К. Тхакушинов отметил важность строительной отрасли для развития региона. Он подчеркнул, что Адыгея ориентирована на повышение уровня жизни граждан и на развитие туризма, поэтому использование при возведении новых жилых и общественных зданий экологически чистых материалов, к которым относятся гипсовые, приобретает особое значение.*

*У Адыгеи есть все возможности для развития и роста. Руководство республики прилагает значительные усилия по созданию благоприятных условий для работы инвесторов. Одним из результатов совместной работы в этом направлении стало то, что несмотря на непростую экономическую ситуацию в стране, завод «ВОЛМА-Майкоп» в Майкопском районе был построен в рекордно быстрый срок – всего за 18 месяцев.*



В настоящее время можно смело утверждать, что гипсовая отрасль промышленности России вышла на высокий технический уровень и может гарантированно обеспечивать высококачественным сырьем и готовыми материалами строительный комплекс и смежные отрасли производства. Это стало результатом существенных изменений в организационно-правовой сфере и технологии: практически все предприятия отрасли частные, проводится планомерная работа по обновлению карьерного оборудования, реконструкции действующих производств, строительству новых предприятий, расширению ассортимента продукции.

Важным этапом развития любой отрасли промышленности, признаком ее высокой организованности является объединение профессионального сообщества. В гипсовой отрасли России создана и успешно работает Российская гипсовая ассоциация (РГА), которая в 2015 г. отметила 10-летие. Важным на-







правление деятельности РГА является систематическое (один раз в два года) проведение Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий».

Поскольку наибольший объем производства гипса приходится на строительный гипс и его доля в общем объеме выпуска занимает порядка 94–95%, ежегодно оставаясь практически неизменной, данную конференцию можно смело назвать главным отраслевым мероприятием.

Важнейшими задачами конференции являются обсуждение текущей рыночной ситуации и профессиональная оценка дальнейшего развития отрасли, обмен научно-технической информацией, ознакомление с техническими новинками, предлагаемыми российскими и зарубежными машиностроительными компаниями, деловые контакты с учеными, работающими в области гипсовых вяжущих и технологии. Важной составляющей работы конференции является выездная сессия на ведущем региональном предприятии.

Место проведения очередной конференции в Республике Адыгея было выбрано не случайно. В конце августа 2016 г. здесь был открыт новый высокотехнологичный завод по выпуску гипсовых материалов «ВОЛМА-Майкоп».

В течение пленарного заседания было заслушано более 25 докладов, характеризующих все направления, от разработки и добычи гипсового сырья до упаковки готовой продукции. Большой интерес, а иногда бурные обсуждения и даже скепсис участников вызвали доклады о научных разработках в области создания новых материалов и технологий.

Конечно, одним из главных вопросов, который волновал буквально всех специалистов, является обоснованный прогноз дальнейшего развития социально-экономической ситуации в стране, а соответственно и в строительстве. Ведь строительные материалы на основе гипса применяют в основном для отделки, их выпуск, как и добыча гипса, прямо зависит от темпов строительства. В 2015 г. объем работ по виду деятельности «Строительство» в России сократился почти на 10%, что повлекло за собой и сокращение объемов выпуска гипса.

По данным Росстата, объем добычи гипсового камня в 2015 г. снизился на 4,8% по сравнению с предыдущим годом и составил около 10,7 млн т. В текущем году снижение объемов добычи продолжается: за 9 месяцев 2016 г. в стране было добыто менее 7,4 млн т гипсового камня (-5,4% к аналогичному периоду 2015 г.). Снижение объемов добычи обусловлено сокращением спроса в основных сегментах потребления – производстве цемента и гипсовых вяжущих (гипса). Так, производство гипса в 2015 г. сократилось на 4,4%, до 4,2 млн т; за 9 месяцев 2016 г. выпуск этой продукции снизился еще на 5,9% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года и составил около 3,1 млн т.

В гипсовой отрасли продолжает накапливаться избыток производственных мощностей. Например, по данным маркетингового агентства «Строительная информация», на конец 2015 г. совокупные мощности производителей ГКЛ составляли 512 млн м<sup>2</sup>, а объем производства – лишь 274 млн м<sup>2</sup>. Мощности по выпуску пазогребневых плит загружены несколько больше (совокупная мощность 20 млн м<sup>2</sup>, объем выпуска и потребления 13,9 млн м<sup>2</sup>). Мощности производителей сухих строительных смесей на основе гипса также недогружены.







Журнал «Строительные материалы»® стал информационным партнером первой конференции по гипсу, проведенной по инициативе и на базе института ВНИИСТРОМ в 2005 г. Одним из ее итогов было решение о создании Российской гипсовой ассоциации (РГА), которую бесшумно возглавляет Юрий Алексеевич Гончаров, исполнительный директор – Александр Федорович Бурьянов. Ассоциация приняла эстафету организации и проведения конференции, придала ей новый импульс развития. С 2008 г. она стала проходить в разных городах России.

Сотрудники редакции как никто знают, насколько сложно раз за разом организовывать такие масштабные конференции в рамках одной подотрасли промышленности строительных материалов, чтобы участники не теряли к конференции интереса, чтобы она была полезна.

Но как бы ни были хороши идеи, как бы ни была велика спонсорская поддержка, дело, как и тело, не живет без души. Без преувеличения можно сказать, что душой конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»

является Александр Федорович Бурьянов, исполнительный директор Российской гипсовой ассоциации, доктор технических наук, профессор МГСУ и член редакционного совета журнала «Строительные материалы»®.

Так получилось, что журнал «Строительные материалы»® и Александр Федорович ровесники. В декабре 2015 г. он, как истинный друг, деликатно держался в тени масштабного празднования 60-летия журнала. Поэтому именно во время торжественного открытия конференции, в окружении профессионалов-гипсовиков редакция выразила Александру Федоровичу Бурьянову глубокую признательность за долгие годы совместной плодотворной работы, ведь именно гипсовой отрасли, гипсовой науке, этой конференции, коллегам наш товарищ отдает тепло своей души.

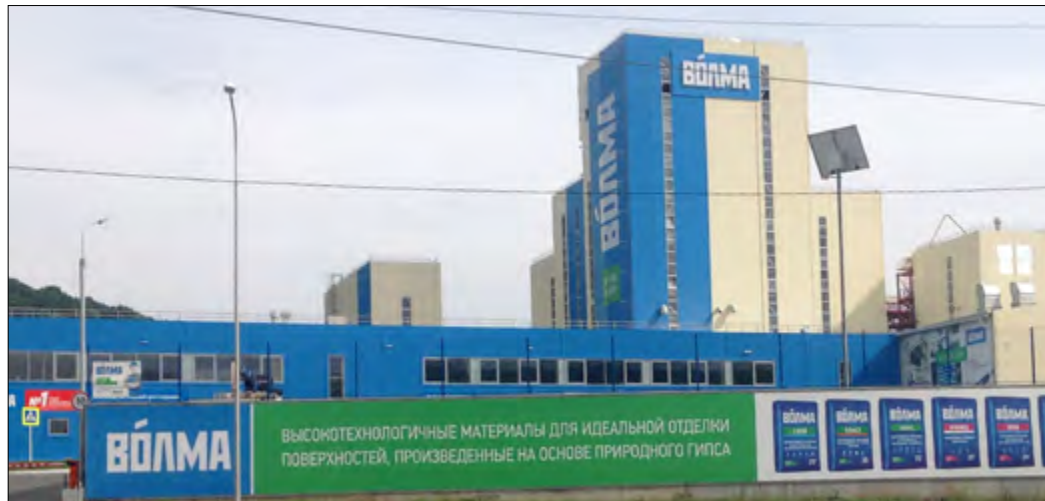
А.Ф. Бурьянову был вручен памятный знак-символ «Душа и Дело»®, учрежденный в 2005 г. в ознаменование 50-летия журнала «Строительные материалы»®. Мы назвали этот знак «Душа и Дело»®, так как убеждены, что только Душа, вложенная в Дело, основанное на знаниях, придает ему движение и развитие, открывает для всего нового и позитивного. Именно так, с душой, делает свое дело Александр Федорович Бурьянов.







## На второй день конференции состоялась выездная сессия на новый завод компании «ВОЛМА», запущенный 28 августа 2016 г.



Это восьмой гипсовый завод компании – «ВОЛМА-Майкоп». Общий объем инвестиций в возведение завода превысил 2 млрд р., он оснащен современным высокотехнологичным оборудованием ведущих мировых производителей, в него интегрирована беспрецедентная система защиты окружающей среды. В основу полностью автоматизированного процесса производства легла технология, исключающая образование жидких промышленных отходов. Система фильтрации гарантирует нулевые выбросы в атмосферу, а крытые склады обеспечивают отсутствие пыли. Производственные мощности нового предприятия составляют 180 тыс. т гипсовых строительных смесей и 540 тыс. м<sup>2</sup> пазогребневых плит в год. Отчисления в бюджеты разных уровней составят порядка 280 млн р. в год, из них в местный – 12,6 млн р. Завод находится в 20 км от карьера, из которого на него поставляется основное сырье – природный гипсовый камень чистотой 92–94%. Его запасы составляют около 40 млн т. Минимизация логистических затрат обеспечит конкурентоспособность продукции предприятия на рынке.



Особый интерес технологов вызвала заводская лаборатория



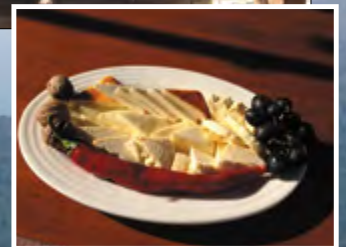




На заводе также была организована демонстрация технологических возможностей выпускаемых сухих строительных смесей при нанесении раствора штукатурной машиной



Ряды Российской гипсовой ассоциации постоянно пополняются новыми участниками. Стало доброй традицией вручать свидетельство о членстве в РГА на главном отраслевом мероприятии гипсовиков – конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»



Адыгейский сыр – одно из достояний республики. Согласно законодательству, только производители Адыгеи могут называть свой продукт адыгейским сыром

Конечно, конференция в первую очередь призвана обогатить участников новыми знаниями и деловыми контактами, но и душевному неформальному общению время находится. Кроме того, организаторы всегда обеспечивают коллегам возможность ближе познакомиться с регионом, осмотреть достопримечательности.



# Древней Грузии — новое производство КНАУФ



Один из главных символов грузинской столицы «Мать Картли». (Картли – историко-географическая область Грузии, колыбель ее государственности). Монумент построен на вершине холма Сололаки в 1958 г., когда город Тбилиси отмечал 1500-летний юбилей. Первоначально выполнен из дерева, а в 1963 г. заменен на алюминиевый. Скульптор Э.Д. Амашукели за эту работу удостоен Государственной премии Грузинской ССР имени Шота Руставели.

Как известно, компания КНАУФ владеет более чем 200 производственными предприятиями в 130 странах мира, ряд которых расположены в странах – бывших союзных республиках. Несмотря на огромные расстояния, разделяющие эти предприятия, разные культуры стран, в которых они находятся, неизменно работает девиз владельцев компании: «От семейного предприятия к семье предприятий». В этом вновь убедились российские и белорусские журналисты, посетив Грузию, побывав на заводе «КНАУФ ГИПС Тбилиси», познакомившись с партнерами компании, занимающимися продажей ее продукции, и объектами, на которых эта продукция применена. Пресс-тур был организован службой корпоративных коммуникаций группы КНАУФ СНГ (руководитель Л.М. Лось).

Следует отметить, что бизнес КНАУФ хоть и с «человеческим лицом», но все-таки бизнес, работающий по жестким законам со всеми присущими производственному бизнесу рисками.

В Грузии, как и во многих других странах, он начинался с формирования спроса на продукцию, которая в далеком 1998 г. была для местного рынка абсолютно непривычной. Продажи начали с самых дешевых позиций – гипсокартона толщиной 9,5 мм. Сейчас самый популярный – толщиной 12,5 мм, а тонкий применяют в основном для изготовления криволинейных конструкций. Через долгих восемь лет в столице Грузии была открыта компания «КНАУФ Маркетинг Тбилиси». Поскольку в период 2003–2008 гг. происходил подъем экономики Грузии (до 12,3% прироста реального ВВП в 2007 г.), соответственно развивалось строительство. Компания КНАУФ стала готовить почву для инвестиций в производство. И еще через два года, когда экономика Грузии стала восстанавливаться после спада 2009 г., это стало целесообразно.

В качестве промышленной площадки был выбран недостроенный завод гипсокартонных листов, линию китайского оборудования на котором бывшие владельцы так и не смогли запустить. В 2010 г. команда немецких, грузинских и украинских специалистов завершила реконструкцию предприятия с полной заменой оборудования на немецкое и турецкое. Правда гипсовый камень до сих пор приходится возить по железной дороге за 250 км из Азербайджана (в настоящее время ведется работа с грузинскими партнерами по совместной разработке карьера, который находится относительно недалеко на территории Грузии).

Запуск нового предприятия, к радости администрации, позволил создать более 80 рабочих мест и существенно пополнить налогами бюджет. Ведь несмотря на постепенное снижение уровень безработицы в Грузии остается достаточно высоким (уровень безработицы в 2015 г. снизился с 16% до 12% по сравнению с 2014 г., а уровень трудоустройства повысился с 58,3 до 59,7%). При этом безработица больше характерна для городских жителей, чем для сельских – соотношение 21,5 к 4,8%. Самый худший показатель – в Тбилиси.

Поскольку одним из основополагающих принципов бизнеса КНАУФ является одинаковое качество продукции вне зависимости от предприятия или страны производства, то и продукция грузинского предприятия КНАУФ полностью соответствует требованиям стандарта EN-520 и строгим внутренним стандартам международной группы КНАУФ, она экспортируется в другие страны региона.

В общей сложности к настоящему времени инвестиции в производство составили более 25 млн евро. Окупаются ли такие затраты?

Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР) подтвердил прогноз экономического роста Грузии на 2016 г. на уровне 3,4%. Экономический рост в Грузии продлится в 2017 г. и достигнет 3,9%. Ожидает роста доходов от хорошего туристического сезона и повышения доверия со стороны инвесторов. По прогнозам Всемирного банка (ВБ), в Грузии в 2017–2018 гг. будет один из самых высоких показателей экономического роста среди 21 страны Восточной Европы и Центральной Азии. По прогнозам Международного валютного фонда (МВФ), экономический рост Грузии в 2017 г. составит 4,5%, а в 2018 г. вырастет до 5%.

Развитие туризма, который призван стать локомотивом грузинской экономики, требует срочного развития туристической инфраструктуры, в частности строительства большого количества гостиниц разного уровня. Это перспектива для реализации продукции КНАУФ.

Другим важным фактором развития строительства и, как следствие, роста продаж различных материалов



«По сравнению с Россией или Белоруссией наш рынок небольшой, но если перевести объем продаж на душу населения, то в Грузии на одного человека продается около 3 м<sup>2</sup> гипсокартона в год, а в России, например, – 1,6 м<sup>2</sup>. Мы начинаем развивать сервис интернет-продаж и выстраиваем удобную логистику между нашими дилерами, партнерами и конечными потребителями», – рассказывает директор по маркетингу и сбыту компании «КНАУФ ГИПС Тбилиси» Г. Джапаридзе.





КНАУФ является продуманная политика ипотечного жилищного кредитования. Например, в 2014 г. объем ипотечных кредитов возрос на 30% и составил 541 млн долл. США. В настоящее время процентная ставка по ипотечным кредитам в Грузии составляет 10–14%. Это достаточно высокий показатель по сравнению с международными, но вполне сопоставимый с российскими реалиями.

В Тбилиси ведется строительство более 200 многоквартирных домов, общая земельная площадь которых составляет более 1 млн м<sup>2</sup>.

По свидетельству начальника производства завода «Кнауф Гипс Тбилиси» Марины Дацук, в настоящее время завод работает непрерывно в три смены. Складской запас продукции составляет не более 10%.

Всегда во всех странах продвижение своей продукции компания КНАУФ начинает не только с создания дилерской сети (к слову, в настоящее время дилерская сеть составляет более 40 компаний), но и с создания взаимосвязанной системы обучения применению материалов КНАУФ. Грузия не стала исключением.

В 2011 г. был утвержден государственный образовательный стандарт «Сухое строительство». В 2012 г. в Грузинском техническом университете в Тбилиси открылись курсы повышения квалификации и сертификации практикующих мастеров сухого строительства, начато обучение сухому строительству в Профессиональном колледже г. Кобулет.

В 2013 г. совместно с GIZ и другими немецкими фирмами был начат проект по возрождению профессионального образования в Грузии. В рамках проекта при помощи украинских и немецких профессионалов были переработаны государственные образовательные стандарты, разработаны современные программы, обучены педагоги и подготовлены мастерские для обучения по пяти специальностям: монтажник гипсокартонных конструкций, штукатур, электрик, маляр и сварщик.

С 2014 г. в ресурсном центре КНАУФ на базе Кобулетского общественного колледжа проводится Всегрузинский конкурс профессионального мастерства среди студентов. Образовательная деятельность группы КНАУФ открывает новые возможности перед молодыми гражданами Грузии в выборе профессии и помогает профессионалам строительства идти в ногу со временем.

В 2014 г. тбилисский завод был признан лучшим предприятием в номинации «Себестоимость и качество» среди предприятий по выпуску ГСП в группе КНАУФ



Переведенная на грузинский язык книга директора по маркетингу и сбыту КНАУФ в Украине А.Ю. Старченко «Комплексные системы сухого строительства» стала своеобразной библией грузинских строителей



В 1936 г. по инициативе Л.П. Берии был объявлен закрытый конкурс на проектирование здания филиала Института Маркса—Энгельса—Ленина в Тбилиси. В нем приняли участие многие выдающиеся архитекторы, но честь строить храм советской идеологии выпала А.В. Шусеву. При участии грузинского архитектора П.М. Сардаряна под неусыпным контролем Лаврентия Павловича строительство было завершено за два года с высоким качеством и применением новейших материалов и технологий того времени.

И вот более чем через 70 лет – насмешка истории – здание бывшего Института Маркса—Энгельса—Ленина стало частью первого в Грузии семизвездочного отеля сети Millennium Hotels and Resorts — The Biltmore Hotel Tbilisi. В реконструкции старого здания и строительство абсолютно не вписывающейся в средовую застройку центральной части Тбилиси 32-этажной ступенчатой стеклянной башни инвестиционная компания Abu Dhabi Group, основанная королевской семьей эмирата Абу-Даби, вложила около 140 млн долл. США. Нелепо, но роскошно.

Более чем 1 млн долл. США заплачен за материалы КНАУФ, как выпускаемые на заводе «КНАУФ ГИПС Тбилиси» (ГСП), так и поставляемые компанией «КНАУФ Маркетинг Тбилиси» (Аквапанель, акустические системы и др.).

Надо отдать должное новому владельцу, – многие элементы декора сохранены и отреставрированы. Например, фриз над мощными колоннами, выполненный 70 лет назад по эскизам скульптора Т.Г. Абакелия, лишился только барельефных изображений Маркса, Энгельса, Ленина и Сталина







Торгово-развлекательный центр «Ист Пойнт» израильских инвесторов – крупный престижный проект, куда в большом количестве поставлялись материалы КНАУФ (ГСП – 120 тыс. м<sup>2</sup>; Аквапанель – 13 тыс. м<sup>2</sup>; комплектные системы подвесных потолков с плитами КНАУФ-клинео)



Нарика́ла — крепостной комплекс различных эпох в Старом Тбилиси. Точное время основания крепости в Тбилиси неизвестно, но в IV в. она уже существовала и называлась Шурис-Цихе.

Близкий к современному вид тбилисская цитадель приобрела в XVII—XVIII вв., однако землетрясение 1827 г. нанесло ей невосполнимый урон.

В 1990-е гг. предпринимались попытки реставрации Нарикалы, в частности была отстроена церковь Святого Николая, существовавшая на территории крепости в XII в.



В настоящее время идет подготовка к строительству учебного центра на территории завода, открытие которого намечено на сентябрь 2017 г.

Более того, дилеры, изначально прошедшие обучение, КНАУФ, сами начинают обучать покупателей применению материалов и комплектных систем КНАУФ. Например, 14 июня 2016 г. на базе фирмы «ЛД+», которая в свое время была самым первым дилером, открылся сервисный центр КНАУФ. Сотрудники сервис-центра знакомят клиента со всем ассортиментом продукции, делают калькуляцию систем КНАУФ. Консультации оказывают архитекторы и технологи, можно получить рекомендации специалистов КНАУФ по шумо- и теплоизоляции и по всей продукции в целом. Сервисный центр также оказывает помощь клиентам в получении банковских ссуд, заключении договоров со строительными фирмами и проведении консультаций юристов по выполнению условий договоров.

Системная работа по продвижению качественной продукции дает плоды: в настоящее время практически все наиболее значимые проекты Грузии строятся с применением продукции тбилисского завода КНАУФ и материалов КНАУФ, которые пока приходится завозить. Доля материалов КНАУФ на рынке постоянно растет и уверенно теснит традиционную продукцию.

Компания КНАУФ была и остается семейной. И семейные ценности культивируются не только на своих производственных и маркетинговых предприятиях, но и переносятся на взаимоотношения с партнерами. Поэтому руководитель службы корпоративных коммуникаций группы КНАУФ СНГ Л.М. Лось всегда настаивает, чтобы журналисты знакомились не только с производством и применением продукции КНАУФ, но также с регионом, где располагаются предприятия, культурой, архитектурным наследием.

И сегодня мы имеем возможность немного рассказать нашим читателям о красивой гостеприимной стране Грузии, которая, к сожалению, разорвала дипломатические отношения с Россией в ответ на признание независимости Абхазии и Южной Осетии в августе 2008 г. Представители нового правительства Грузии, которые пришли к власти в октябре 2012 г., называют одним из главных приоритетов нормализацию отношений с Российской Федерацией. В настоящее время диалог между Россией и Грузией поддерживается в рамках женевских дискуссий и регулярных встреч дипломатов Зураба Абашидзе и замглавы МИД России Григория Карасина.

Внешнеторговый оборот Грузии с Россией за январь–сентябрь 2016 г. вырос примерно на 15,4% по сравнению с аналогичным периодом 2015 г. и составил 612,3 млн долл. США. Оборот с Россией за данный период составил 6,7% от всего внешнеторгового оборота Грузии. Свою лепту вносят в него и российские предприятия КНАУФ, с которых поставляются не выпускаемые в Грузии материалы.



Светицховели (животворящий столп) — кафедральный патриарший храм Грузинской православной церкви в Мцхете, который на протяжении тысячелетия являлся главным собором всей Грузии. Самая крупная постройка среди сохранившихся исторических сооружений. Деревянная церковь стояла на этом месте с IV в. Ныне существующая крестовокупольная четырехстолпная трехнефная церковь во имя Двенадцати Апостолов строилась с 1010 по 1029 годы под наблюдением зодчего Арсакидзе (упомянут в надписи на фасаде).



Монастырский храм Джвари – древнейший культовый памятник, построенный на заре грузинского христианства в VI в. Свое название Джвари (в переводе с грузинского «крест») храм получил не случайно. Старинное предание говорит о том, что именно в этом месте Нино Каппадокийская поставила Святой Крест, ознаменовавший принятие Грузией христианства. Позднее, над крестом был сооружен храм, который называли Храмом Святого Креста. Это его увековечил в поэме «Мцыри» М.Ю. Лермонтов: «Там, где, сливаясь, шумят, обнявшись, будто две сестры, струи Арагвы и Куры, был монастырь...»



Хотя в условиях отсутствия дипотношений возможности консульской и правовой защиты россиян в Грузии ограничены, тем не менее приехать сюда мы можем без визы. Число российских туристов в Грузии растет из года в год. За десять месяцев 2016 г. Грузию посетило более 920 тыс. российских визитеров, что на 13% больше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

Граждане Грузии открыты, доброжелательны и традиционно гостеприимны. Исторические и архитектурные памятники этой древней страны поражают воображение.

Грузия ратифицировала Конвенцию об охране всемирного культурного и природного наследия в 1992 г. Первые объекты, находящиеся на территории Грузии, были занесены в список в 1994 г.: Патриарший собор XI в. Светицховели в древней столице Грузии, храм VII в. Джвари, монастырь Самтавро XI в., расположенные неподалеку от Тбилиси в Мцхета, а также Храм Баграта XI в. и Гелатский монастырь XII в. в Кутаиси. Историческая часть Тбилиси, древний пещерный город Уплисцихе II–I тысячелетия до н. э., город Вани VII–I в. до н. э., Пещерный монастырь Вардзия и крепость Хертвиси X–XVI в. в Самцхе-Джавахети также под защитой ЮНЕСКО.

В список нематериального культурного наследия ЮНЕСКО внесены грузинское полифоническое пение (2001 г.) и грузинский традиционный метод изготовления вина в глиняном кувшине квеври (2013 г.).

За одной из вечерних трапез компанию российским и белорусским журналистам составил вице-президент Союза архитекторов Грузии Леван Беридзе. Конечно, разговор шел о сказочной красоте природы Грузии, уникальности старого Тбилиси, увлечении постройками зарубежных архитекторов, наступлении девелоперов на исторический центр, безвозвратной потере памятников истории и архитектуры. Отрадно, что в настоящее время принято решение о запрете нового строительства в исторических районах и центральной части города до вступления в силу нового генерального плана; разработку генплана планируется завершить в начале 2017 г.

Общими усилиями сохранится историческое наследие древней Грузии, будет построено в прямом и переносном смысле новое государство – современное, демократическое, благоустроенное. И компания КНАУФ, производитель высококачественных строительных и отделочных материалов на основе самого экологичного материала – гипса, будет и дальше способствовать этому поступательному процессу.

*Е.И. Юмашева*

*В обзоре использованы фото автора, Л. Маливановой, Д. Ромашкова, информационные и статистические данные портала <http://sputnik-georgia.ru/>*



Квеври – в Закавказье керамический сосуд, напоминающий амфору, но без ручек. Имеет форму конуса и используется при изготовлении вина. Квеври бывают всех размеров – от обычного кувшинного до громадных, на несколько сотен литров. Существует версия, что технология зародилась еще в государстве Урарту. До начала XX в. квеври считались единственными емкостями для изготовления и хранения вина, используемыми в Грузии. В конце 2011 г. в Грузии квеври признан объектом культурного наследия национальной значимости и отнесен к нематериальному фонду культурного наследия страны; с 2013 г. – метод изготовления вина в квеври включен в список нематериального культурного наследия ЮНЕСКО



УДК 666.913:539.2

А.В. ЧЕРЕВАТОВА<sup>1</sup>, д-р техн. наук; Д.А. АЛЕХИН<sup>1</sup>, инженер-исследователь;  
 А.Ф. БУРЬЯНОВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук;  
 И.В. ЖЕРНОВСКИЙ<sup>1</sup>, канд. геол.-минер. наук; Н.И. КОЖУХОВА<sup>1</sup>, канд. техн. наук

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

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

## Особенности комплексного механизма структурообразования в системе композиционного гипсокремнеземистого вяжущего\*

Установлены закономерности изменения характеристик прочности композиционного гипсокремнеземистого вяжущего в зависимости от концентрации наноструктурированного компонента (НВ). Представлены особенности механизма формирования минеральных фаз в матрице композиционного наноструктурированного гипсового вяжущего с учетом специфики одновременного протекания двух процессов структурообразования в системе: полимеризационно-поликонденсационного и гидратационного. Обоснована жаростойкость композиционного гипсокремнеземистого вяжущего при воздействии высокой (до 1000°C) температуры, заключающаяся в протекании кристаллизационных процессов с участием кремнеземистой составляющей, при применении НВ в качестве активного наноструктурированного минерального компонента. Рассмотрены особенности термической трансформации композиционного гипсокремнеземистого вяжущего в сравнении с гипсовой системой с использованием рентгенофазового и микроструктурного анализа.

**Ключевые слова:** наноструктурированное вяжущее, гипсовое вяжущее, композиционное вяжущее, механизмы формирования структуры, фазообразование.

A.V. CHEREVATOVA<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), D.A. ALEKHIN<sup>1</sup>, Research Engineer, A.F. BUR'YANOV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), I.V. ZHERNOVSKY<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), N.I. KOZHUKHOVA<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

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

<sup>2</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Features of complex structure formation in composite gypsum-silica binder

The mechanism of variation of strength characteristics in composite gypsum-silica binder depending of nanostructured binder (NB) content is determined. The mechanism of mineral phase formation in the composite binder matrix is studied taking into account simultaneous realization of two following processes: polymerization-polycondensation and hydration. It is determined, the heat resistance of composite gypsum-silica binder under high temperature (up to 1000 °C) is connected with crystallization process involving the NB as reactive mineral component. Thermal transformation in system of composite gypsum-silica binder vs. gypsum system is studied by XRD and SEM analysis.

**Keywords:** nanostructured binder, gypsum binder, composite binder, structure formation mechanism, phase formation

Твердение вяжущих веществ – многофакторный физико-химический процесс преобразования пластичного вяжущего теста в крепкое камнеподобное тело.

Процессы и условия структурообразования существенным образом зависят от компонентного состава вяжущего и частично или принципиально отличаются между собой. При этом широко применяемые классические вяжущие системы, такие как цементные, гипсовые, известковые и др., характеризуются высокой степенью изученности с точки зрения формирования структуры и фазообразования в зависимости от различных факторов влияния [1–6]. Поэтому для данной категории вяжущих в настоящее время разработаны технологии получения, а также определены основные области применения с учетом их эксплуатационных характеристик.

В то же время новые [7–11], в том числе композиционные вяжущие, характеризуются слабой изученностью и поверхностным пониманием процессов, происходящих в системе при их фазо- и структурообразовании, а также причинно-следственных связей их поведения в процессе эксплуатации.

Это, в свою очередь, создает определенные ограничения по их получению и дальнейшему применению.

Ранее авторами данной статьи было разработано композиционное

гипсокремнеземистое вяжущее (КНГВ), характеризующееся жаростойкостью в условиях повышенной температуры в сравнении с аналогами гипсовой системы [12].

Однако детальных исследований по изучению механизмов структуро- и фазообразования данного композиционного вяжущего в условиях высокотемпературного воздействия не осуществлялось, что стало целью настоящей работы.

Для проведения исследования использовались гипсовые вяжущие марки Г–5БП производства ООО «Адиюх-1». Данные гипсовые вяжущие полностью соответствуют требованиям ГОСТ 125–79 (СТ СЭВ 826–77).

В рамках работы в качестве исходного материала для получения наноструктурированного силикатного вяжущего в качестве наноструктурирующего кварцевого компонента использовали кварцевый песок Корочанского месторождения, химический состав которого приведен в табл. 1.

Вяжущее на основе кварцевого песка было получено методом мокрого измельчения с постадийной загрузкой материала и последующей стабилизацией посредством гравитационного механического перемешивания.

Таблица 1

Наименование сырьевого материала	Химический состав							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	ппп
Кварцевый песок Корочанский (Белгородская обл.)	93,02	0,92	0,02	0,98	0,62	0,08	0,46	0,86

\* Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 16-33-50051 с использованием оборудования на базе Центра Высоких Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.



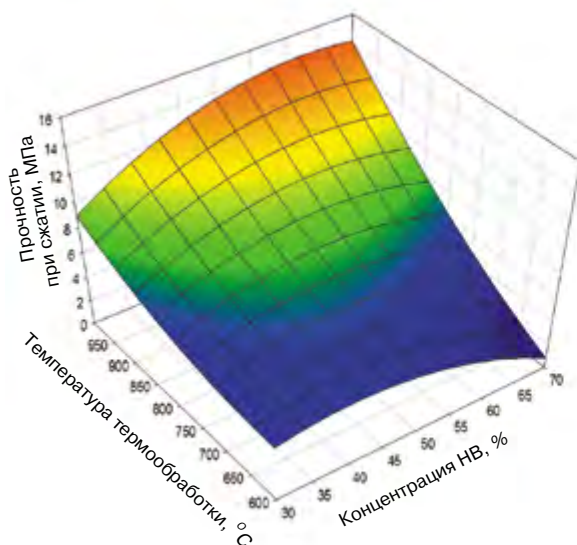


Рис. 1. Номограммы зависимости предела прочности при сжатии КНГВ от содержания НВ и температурного воздействия

Ранее [12] был установлен упрочняющий эффект введения в гипсовую систему наноразмерного кремнеземистого компонента НВ, существенным образом проявляющийся в условиях воздействия высокой температуры. Данный эффект вызван особенностями фазовых преобразований в высокотемпературных условиях.

Для подтверждения предложенной гипотезы о фазообразовании гипсокремнеземистой системы в условиях повышенной температуры в рамках исследования проведена оптимизация составов композиционного наноструктурированного гипсового вяжущего при регулировании параметров температурного воздействия.

С этой целью было осуществлено математическое планирование эксперимента второго порядка (рис. 1). В качестве факторов варьирования выбраны количество НВ (%) и температура термообработки (°C).

По характеру номограммы (рис. 1) можно установить, что содержание наноразмерного кремнеземистого компонента НВ оказывает влияние на увеличение прочности композиционной вяжущей системы при увеличении температуры термического воздействия. Это является подтверждением предложенной гипотезы о постоянстве суммы молярных объемов кристаллических фаз в условиях естественной и повышенной температуры.

Помимо представленной гипотезы, причиной увеличения прочностных характеристик КНГВ является его пониженная водопотребность.

Водопотребность является важнейшим свойством гипсовых вяжущих и характеризует минимальное количество воды, необходимое для получения теста заданной консистенции. Теоретически для гидратации полу-гидрата сульфата кальция необходимо 18,62% воды от массы вяжущего. Практически для получения теста нормальной густоты из  $\beta$ -полугидрата сульфата кальция требуется 50–70%.

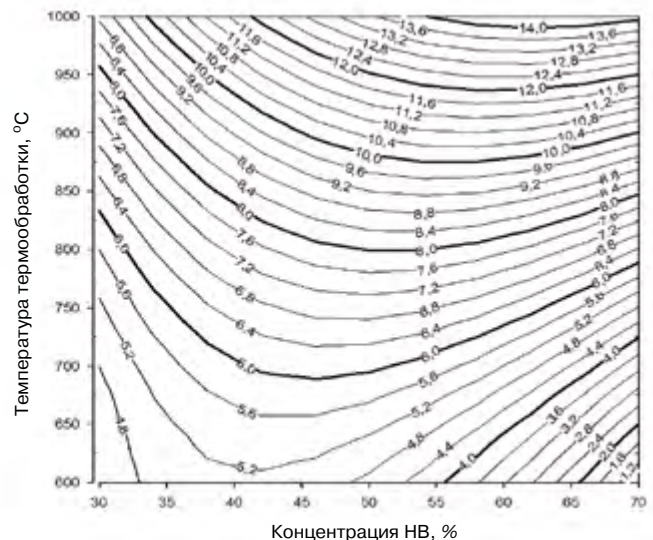
В связи с тем, что при введении в гипсовую систему компонент НВ играет роль пластифицирующей добавки, существенно снижается водопотребность гипсово-кремнеземистого вяжущего.

Таким образом, в результате высокотемпературной обработки меньшее содержание воды оказывает меньший деструктивный эффект при ее удалении из системы.

Результаты проведенного математического планирования также представлены в таблице 2.

Согласно представленным данным (табл. 2), наиболее высокими показателями прочности обладают изделия с содержанием НВ в вяжущей системе от 30 до 70%.

Анализ полученных результатов показал, что с уве-



личением содержания НВ от 40 до 70% и при дальнейшем температурном воздействии наблюдается рост прочности образцов.

Для детализации представлений о термических фазовых трансформациях в КНГВ и количественного определения концентраций кристаллических минеральных образований использовался метод полнопрофильного РФА с применением программы DDM v.1.95d в варианте ритвельдовского алгоритма [13].

Минеральный состав экспериментальных образцов, полученный полнопрофильным количественным РФА, представлен в табл. 3.

Согласно приведенным данным, результатом взаимодействия гидратирующего гипсового вяжущего с активным коллоидным кремнеземным компонентом НВ является формирование сульфосиликатной фазы – гидроксиллестадита. Эта фаза рентгенометрически была зафиксирована в составах гипсокремнеземных вяжущих 30–70 % мас.

Минеральный состав композиционного гипсового вяжущего при  $T=1000$  °C по сравнению с гипсовым вяжущим при такой же температуре характеризуется присутствием высокотемпературного  $\beta$ -кварца, элестадита и полиморфной модификации двухкальциевого ортосиликата –  $\alpha, \gamma$ - $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ .

При этом изменении объема кристаллических фаз при термальной фазовой трансформации КНГВ близко к единице в отличие от гипсового вяжущего, у которого

Таблица 2

Свойства КНГВ в зависимости от состава

Состав вяжущего, %		Предел прочности при сжатии, МПа
НВ	Температура, °C	
30	600	4,35
70	600	2,31
30	1000	7,44
70	1000	14,37
50	800	8,11
50	1000	14,75
50	600	3,4
70	800	4,63
30	800	7,24



Минеральный состав вяжущих

Минеральная фаза	Концентрация НВ (мас. %)			
	Контроль (0 НВ)	30 НВ	50 НВ	70 НВ
Кварц	1,5±0,1	33,1±1,6	53,5±7,3	67,5±3,6
Гипс	87,9±0,6	55,8±3,4	36,7±4,7	28,2±2,3
Бассанит	5,7±0,6	4,5±0,4	1,64±0,2	
Кальцит	1,5±0,1	3,1±0,4	3,3±0,4	3±0,3
Гидроксиэллерстадит		3,5±1,5	4,8±1,6	1,4±0,7

при T=1000 °C наблюдается почти четырехкратное уменьшение объема кристаллических фаз, что является причиной деструктивных процессов в системе.

В результате проведенного комплекса экспериментальных исследований установлен механизм формирования матрицы композиционного гипсового вяжущего с учетом специфики одновременного протекания двух процессов структурообразования в системе: полимеризационно-поликонденсационного и гидратационного.

В системе гипсокремнеземистого вяжущего в процессе его твердения из основных компонентов: НВ и полуводного гипса (бассанита) происходит формирование трех фаз: кварца, гипса, гидроксиэллерстадита по двум механизмам – гидратационному и негидратационному (рис. 2).

Как представлено на рис. 2, формирование кварца происходит непосредственно в объеме НВ без участия дополнительных компонентов по негидратационному механизму в результате удаления воды из системы. Негидратационный механизм формирования кварца включает в себя два процесса:

- полимеризацию, проявляющуюся в связывании мономеров SiO<sub>2</sub>;
- поликонденсацию, наблюдаемую в результате сушки и удаления структурной воды из системы.

В результате этих двух процессов происходит рост микрокристаллов кварца на кварцевых частицах НВ из аморфной составляющей НВ по механизму автоэпитаксии.

Формирование гипса и гидроксиэллерстадита осуществляется по гидратационному механизму с образованием гидратов (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O и Ca<sub>5</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub>), характеризующихся наличием структурной воды.

В данном контексте механизм принято считать гидратационным, если в процессе химического взаимодействия компонентов вода входит в структуру новообразующегося продукта и выполняет структурообразующую роль, т. е. при условии удаления воды происходит полное разрушение структуры, как в случае гипсового камня под действием высокой температуры (рис. 3).

Снижение усадочных деформаций под действием высокой температуры в композиционном вяжущем в сравнении с чистым гипсовым камнем объясняется тем, что при температуре 1000°C минеральный состав

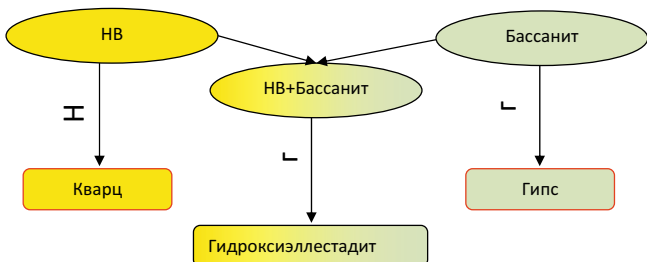


Рис. 2. Классификация формирования новообразований в системе КНГВ: Н – негидратационный механизм; Г – гидратационный механизм

гипсокремнеземистого вяжущего трансформируется в композицию: β-кварц (19), известь (26), периклаз (2), нерастворимый (ромбический) ангидрит (7), эллерстадит (6), α'-Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (30) и ольдгамит – CaS (10). Отличительной особенностью этой композиции является то, что сумма молярных объемов всех кристаллических фаз при увеличении термического воздействия от комнатной температуры до 1000°C проходит через три стадии трансформационных преобразований структуры: ослабление → стабилизация → восстановление и возвращение в первоначальное состояние объема. Поэтому отношение суммы объемов кристаллических фаз в гипсокремнеземистой системе до и после температурной обработки близко к единице. Этим обеспечивается отсутствие деструктивного формоизменения при термическом воздействии (рис. 3).

Особенности формирования структуры КНГВ в условиях высокотемпературного воздействия в отличие от естественной температуры изучены с помощью микроструктурного анализа, проведенного с использованием сканирующего электронного микроскопа Mira 3 FesSem (Tescan, Чехия), работающего в режиме высокого вакуума (InBeam) с использованием катода Шоттки высокой яркости.

Согласно проведенному анализу микроструктура гипсокремнеземистого вяжущего имеет существенные отличия от исходного гипсового вяжущего (рис. 4). Так, структура контрольного состава отличается наличием более крупных кристаллов с контактами срастания в отдельных точках (рис. 4, а).

Введение НВ в гипсовую систему приводит к изменению размеров и морфологии кристаллов гипса. При увеличении содержания кремнеземного компонента наблюдается структура с отдельными кристаллами гипсового вяжущего, не связанными между собой, что ведет к снижению прочностных характеристик (рис. 4, б–в).

Микроструктура гипсового вяжущего после высокотемпературной обработки (рис. 5, а) представлена типичными кристаллическими индивидами с проявлен-

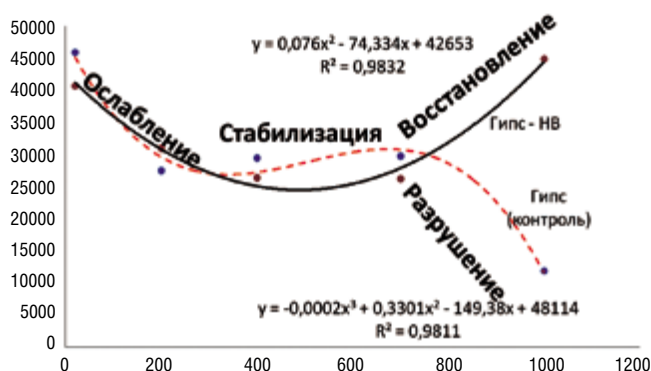


Рис. 3. Трансформационные преобразования кристаллических решеток минеральных фаз гипсокремнеземистого вяжущего и гипсового камня до и после высокотемпературной обработки



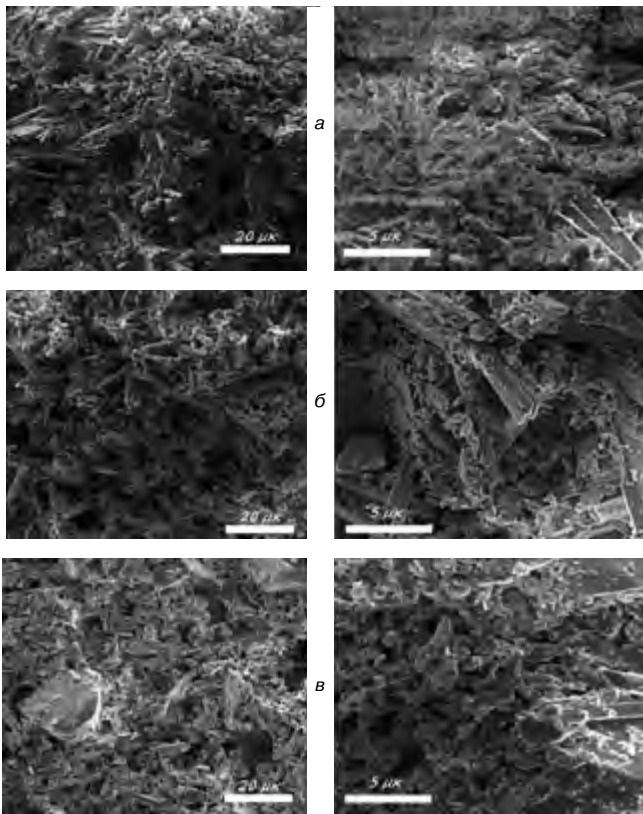


Рис. 4. Микроструктура: а – гипсовое вяжущее; б – КНГВ с 50 % НВ; в – КНГВ с 70 % НВ до термообработки

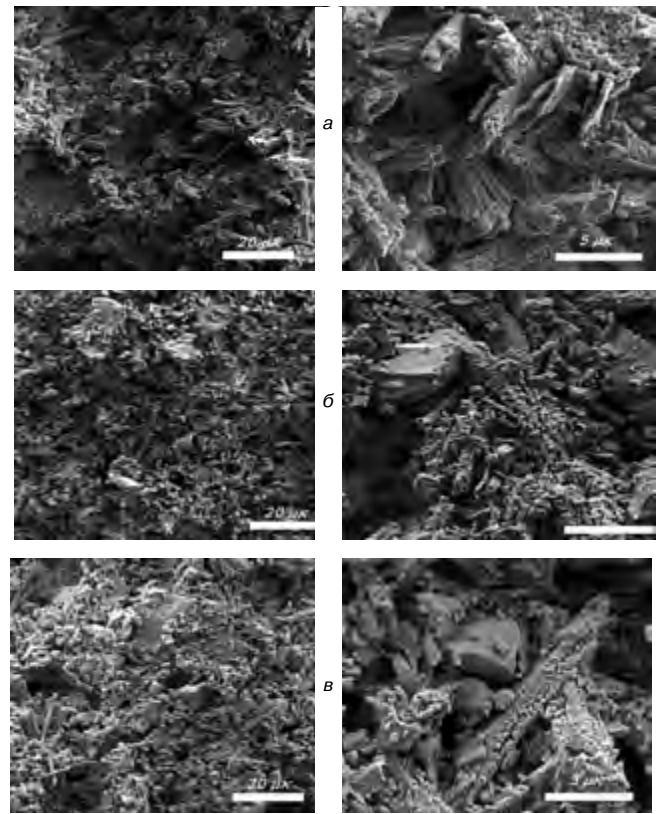


Рис. 5. Микроструктура: а – гипсовое вяжущее; б – КГВ с 50 % НВ после термообработки при 800°С; в – КГВ с 70% НВ после термообработки

ным идиоморфизмом ангидрита. Микроструктура КНГВ (рис. 5, б–в) характеризуется преобладающим отношением индивидов с пластинчатой морфологией к мелкокристаллическим изометричным индивидам, располагающимся эпитаксиально на них или образующих глобулярное скопление.

Возникновение структурно-сопряженных контактных зон между минеральными новообразованиями и наполнителями композиционных вяжущих является важнейшим фактором формирования высоких прочностных и других эксплуатационных свойств строительных материалов. В особой степени это относится к композиционным сульфосиликатным вяжущим с суперпозицией механизмов твердения.

Таким образом, в рамках работы выявлены особенности механизма формирования минеральных фаз в матрице композиционного наноструктурированного гипсового вяжущего с учетом специфики одновременного протекания двух процессов структурообразования в системе: полимеризационно-поликонденсационного и гидратационного. В результате полученных закономерностей обоснована жаростойкость строительных материалов при воздействии высоких (до 1000°С) температур на основе композиционного КНГВ, заключающаяся в протекании кристаллизационных процессов с участием кремнеземистой составляющей, при применении НВ в качестве активного наноструктурированного минерального компонента.

#### Список литературы

1. Булдыжова Е.Н., Гальцева Н. А. Бурьянов А.Ф. Модификация структуры ангидритовых и гипсовых вяжущих веществ // «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». Сборник тезисов 16 Международной межвузовской научно-практической конференции. М.: МГСУ. 2013. С. 468–470.
2. Бурьянов А.Ф., Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Полеонова Ю.Ю. Модифицированные гипсовые безобжиговые композиты // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 76–78.
3. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Влияние составов материалов на формирование структуры строительных материалов // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2015. № 4. С. 69–79.
4. Войтович Е.В., Чулкова И.Л., Фомина Е.В., Череватова А.В. Повышение эффективности цементных вяжущих с активным минеральным нанодисперсным компонентом // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2015. № 5. С. 56–62.

#### References

1. Buldyzhova E.N., Galtseva N.A., Bur'yanov A.F. Structure modification in anhydrite and gypsum binding systems. *Proceedings of 16 International Inter-University Research and Practice Conference "Construction – life activity environment"*. Moscow: MGSU. 2013, pp. 468–470. (In Russian).
2. Bur'yanov A. F., Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Poleonova Yu.Yu. Modified gypsum nonfired composites. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 76–78. (In Russian).
3. Lesovik V.S., Chulkova I.L. Influence of material composition on structure formation of construction materials. *Vestnik Sibirskoy Gosudarstvennoy Avtomobilno-Dorozhnoy Akademii*. 2015. No. 4, pp. 69–79. (In Russian).
4. Voytovich E.V., Chulkova I.L., Fomina E.V., Cherevatova A.V. Efficiency enhancement of cement binders with reactive mineral nanodispersed component. *Vestnik Sibirskoy Gosudarstvennoy Avtomobilno-Dorozhnoy Akademii*. 2015. No. 5, pp. 56–62. (In Russian).



5. Фомина Е.В., Строкова В.В., Кудеярова Н.П. Особенности применения предварительно гашеной извести в ячеистых бетонах автоклавного твердения // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2013. № 5. С. 29–34.
6. Агеева М.С., Карацупа С.В., Помошников Д.Д. Регулирование свойств шлако-цементного вяжущего // *Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 26 частях «Современные тенденции в образовании и науке»*. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком». 2013. С. 8–9.
7. Чижов Р.В., Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Коротких Д.Н., Фомина Е.В., Кожухова М.И. Фазообразование и свойства алюмосиликатных вяжущих негидратационного типа твердения с использованием перлита // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 34–36.
8. Stroková V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Nelubova V.V. Prospects of Application of Zero-Cement Binders of a Nonhydration Hardening Type // *World Applied Sciences Journal*. 2013. № 1. Pp. 119–123.
9. Череватова А.В., Кожухова Н.И., Осадчая М.С., Жерновский И.В. Особенности реотехнологических свойств наноструктурированного алюмосиликатного вяжущего в присутствии комплексных модификаторов различной природы // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 9. С. 36–39.
10. Строкова В.В., Сивальнева М.Н., Жерновский И.В., Кобзев В.А., Нелубова В.В. Особенности механизма твердения наноструктурированного вяжущего // *Строительные материалы*. 2016. № 1–2. С. 62–69.
11. Чижов Р.В., Кожухова Н.И., Строкова В.В., Жерновский И.В. Алюмосиликатные бесклинкерные вяжущие и области их использования // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 4. С. 6–10.
12. Кожухова Н.И., Войтович Е.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Алехин Д.А. Термостойкие ячеистые материалы на основе композиционных гипсокремнеземных вяжущих // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 65–69.
13. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization // *Journal of Applied Crystallography*. 2004. № 37. Pp. 743–749.
5. Fomina E.V., Stroková V.V., Kudayarova N.P. Features of application of previously slacked lime in cellular autoclave concrete. *Izvestia vysshih uchebnyh zavedeniy. Stroitelstvo*. 2013. No. 5, pp. 29–34. (In Russian).
6. Ageeva M.S., Karatsupa S.V., Pomoshnikov D.D. Regulation of properties in slag-cement knitting. *Proceedings of International Research-to-Practice Conference “Upgrade tendencies in education and science”*. Tambov: LLC “Consulting company Yucom”. 2013, pp. 8–9. (In Russian).
7. Chizhov R.V., Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Korotkih D.N., Fomina E.V., Kozhukhova M.I. Phase formation and properties of aluminosilicate binders of non-hydration hardening using perlite. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 3, pp. 34–36. (In Russian).
8. Stroková V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Nelubova V.V. Prospects of Application of Zero-Cement Binders of a Nonhydration Hardening Type. *World Applied Sciences Journal*. 2013. No. 25, pp. 119–123.
9. Cherevatova A.V., Kozhukhova N.I., Osadchaya M.S., Zhernovsky I.V. Features of rheological properties of nanostructured aluminosilicate binder with different complex modifiers. *Vestnik Belgorodskogo Gosudarstvennogo Tehnologicheskogo Universiteta im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 9, pp. 36–39. (In Russian).
10. Stroková V.V., Sival'neva M.M., Zhernovsky I.V., Kobzev V.A., Nelubova V.V. Features of consolidation mechanism of nanostructured binder. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 1–2, pp. 62–69. (In Russian).
11. Chizhov R.V., Kozhukhova N.I., Stroková V.V., Zhernovsky I.V. Aluminosilicate free of clinker binders and their application areas. *Vestnik Belgorodskogo Gosudarstvennogo Tehnologicheskogo Universiteta im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 4, pp. 6–10. (In Russian).
12. Kozhukhova N.I., Voytovich E.V., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Alekhin D.A. Thermal-resistant cellular materials based on composite gypsum-silica binders. *Stroitel'nye materialy*. 2015. No. 6, pp. 65–69. (In Russian).
13. Solov'yov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization. *Journal of Applied Crystallography*. 2004. No. 37, pp. 743–749.



Институт строительных материалов им. Ф.А. Фингера (FIB)  
 Университета Bauhaus-Universität г. Веймар (Германия)  
 организует III Веймарскую гипсовую конференцию  
**ГИПС В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, И НЕ ТОЛЬКО**



Гипсовая конференция проводится в Веймаре в третий раз и за это время стала площадкой для широкого научного обмена идеями в области вяжущих на основе сульфата кальция и их применения учеными и инженерами стран востока и запада

**г. Веймар (Германия)**

**14–15 марта 2017 г.**

**Основные темы конференции:**

- |   |  |
|---|--|
| • Вяжущие вещества на основе сульфата кальция         | • Другие виды применения сульфата кальция              |
| • Вяжущие вещества, содержащие сульфат кальция        | • Сульфаты кальция и сохранение исторического наследия |
| • Гидратация и переработка                            | • Изделия на основе сульфата кальция                   |
| • Добавки и их эффект                                 | и их безотказное длительное использование              |
| • Стройматериалы и изделия на основе сульфата кальция |  |

В рамках конференции будет проходить специализированная выставка.

Планируется синхронный перевод: немецкий, английский, русский.

**ibasil@uni-weimar.de ibasil@uni-weimar.de ibasil@uni-weimar.de**

УДК 691.328.4

О.М. СМІРНОВА, канд. техн. наук (smirnovaolgam@rambler.ru),  
Е.В. АНДРЕЕВА, инженер, научный сотрудник

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
(190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9)

## Свойства тяжелого бетона дисперсно-армированного синтетическим микроволокном

Дисперсное армирование бетона фибриллированным синтетическим микроволокном позволяет компенсировать недостатки бетона – образование усадочных трещин, низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения. В результате сравнительных испытаний установлено, что введение микроволокна Фиброфор Хай Грэйд в бетон незначительно повышает предел прочности при сжатии по сравнению с контрольным составом, но при этом значительно увеличивается предел прочности на растяжение при изгибе (до 20%). Наиболее приемлемым расходом микроволокна для исследованного бетона является 0,9 кг/м<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** дисперсно-армированный бетон, полипропиленовое волокно, фибриллированное микроволокно, прочностные характеристики.

O.M. SMIRNOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (smirnovaolgam@rambler.ru), E.V. ANDREEVA, Engineer, Researcher  
Emperor Alexander I Petersburg State Transport University (9, Moskovsky Avenue, 190031, Saint Petersburg, Russian Federation)

### Properties of Heavy Concrete Disperse-Reinforced with Synthetic Micro-Fiber

Disperse reinforcement of the concrete with fibrillated synthetic fiber makes it possible to compensate of disadvantages of the concrete: formation of shrinkage cracks, low-tensile strength, and destruction brittleness. As a result of comparative tests, it is established that the introduction of micro-fiber Fibrofor High Grade in the concrete insignificantly improves the compressive strength limit comparing with the control composition but significantly improves the strength limit at bending stress (by 20%). The most acceptable expenditure of the micro-fiber for the concrete studied is 0.9 kg/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** disperse-reinforced concrete, polypropylene fiber, fibrillated micro-fiber, strength characteristics.

Дисперсное армирование бетона позволяет частично компенсировать недостатки бетона как хрупкого материала: низкие значения предела прочности при растяжении, хрупкость разрушения [1–5].

Свойства дисперсно-армированного бетона значительно зависят от свойств армирующих волокон. Для повышения прочностных характеристик дисперсно-армированного бетона следует определить, как влияют характеристики волокон (длина, диаметр и их расход) на свойства бетона. В области разработок дисперсно-армированных бетонов проведено много исследований, но эта тема требует дальнейшего изучения при использовании синтетических микроволокон.

На эффективность дисперсного армирования оказывает влияние отношение модулей упругости материалов волокон и матрицы, количество волокон, химическая стойкость материала фибр по отношению к материалу матрицы, геометрические характеристики фибр (длина, диаметр, рельеф поверхности), соотношение размеров армирующих волокон с размерами неоднородностей структуры матрицы. Это делает важным вопрос выбора материала волокон и фибр.

Например, полипропиленовые волокна характеризуются более низким модулем упругости и повышенной деформативностью по сравнению со стальной фиброй. Стальная фибра имеет модуль упругости, в шесть раз превышающий модуль упругости бетона. Однако она подвержена коррозии. Синтетические волокна имеют ряд преимуществ по сравнению со стальной фиброй и могут успешно использоваться для ряда задач, например на открытых площадках и бетонных дорогах из-за отсутствия коррозии.

Можно выделить следующие виды композитов, где сегодня исследуется применение полипропиленового волокна: конструкционный легкий бетон [6], теплоизоляционные растворы [7], композиты для тонких армированных оболочек объемных бетонных блоков в объемно-блочном домостроении [8], тампонажные раство-

ры [9]. В этих работах установлено положительное влияние полипропиленового волокна на прочностные характеристики легких бетонов, тампонажных растворов, сухих строительных смесей. Необходимо установить количественное влияние синтетического волокна на прочностные характеристики тяжелых бетонов транспортного строительства. В литературе, посвященной дисперсному армированию, этим вопросам уделено недостаточно внимания. Это определило направление исследований. Целью работы является изучение влияния синтетического микроволокна на свойства тяжелого бетона.

В работе использовано фибриллированное микроволокно Fibrofor High Grade на основе полиолефинов со следующими характеристиками: предел прочности при растяжении 400 МПа, модуль упругости 4900 МПа, длина волокон 19 мм, отношение длины волокна к его диаметру более 100, содержание волокон в 1 кг – более 12 млн шт., температура плавления 150°C. Технологический процесс производства этого микроволокна предполагает направленную физическую и химическую модификацию с целью придания механической прочности самому волокну и химически реакционной активности поверхности волокна к продуктам гидратации цемента. В качестве вяжущего использован портландцемент ПЦ500 Д0 Н, суперводоредуцирующая добавка на поликарбоксилатной основе. Расход добавки выбран с учетом рекомендаций для получения сборного бетона [10–13].

Фибриляция волокна заключается в отделении от волокон фибрилл, что приводит к увеличению общей наружной поверхности волокна, прочность самих волокон при этом не снижается (рис. 1, 2).

При увеличении удельной поверхности микроволокон повышается их адгезия с цементным камнем. Шероховатость поверхности микроволокон и их фибриляция могут также способствовать повышению адгезии волокна с цементным камнем.





Рис. 1. Фибриллированные микроволокна, собранные в пучки

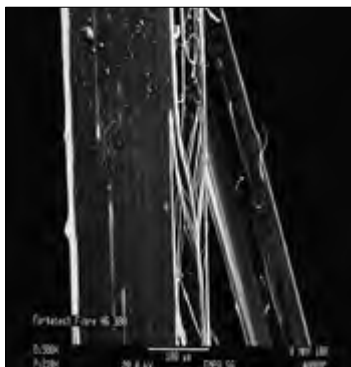


Рис. 2. Фибрилляция волокон



Исследования по модифицированию синтетических волокон с целью их эффективного использования в составах цементных композитов проводятся многими учеными. Например, вопросы повышения модуля упругости, теплостойкости и гидрофильности полипропиленового волокна представлены в работе [15].

Таким образом, в настоящее время предлагаются технические решения по получению синтетических волокон, направленные на повышение теплостойкости, прочности, снижения деформативности, повышения адгезии к цементной матрице. Разработаны принципиально новые синтетические микроволокна, применение которых в составах тяжелого бетона требует дополнительных исследований.

Известной технологической проблемой сталефибробетонов является трудность равномерного распределения волокон в объеме бетонной смеси, что приводит к образованию «ежей». Синтетические волокна образуют агрегаты или комки, состоящие из хаотически переплетенных волокон и частиц цемента. В связи с этим были изучены различные способы введения синтетического микроволокна в состав бетона. Наилучшим способом с точки зрения влияния на прочность затвердевшего бетона оказался способ введения микроволокна в сухую смесь.

Изучено влияние расхода фибриллизованного микроволокна на удобоукладываемость и сохраняемость смеси. Для оценки удобоукладываемости пробы бетонной смеси для испытаний отбирались на месте ее приготовления согласно ГОСТ 10181–2014 из средней части замеса. Испытание начиналось не позднее чем через 10 мин после отбора пробы. При контроле определялась удобоукладываемость и плотность смеси. Для определения влияния расхода микроволокна на удобоукладываемость и живучесть бетонной смеси были проведены эксперименты, результаты которых представлены на рис. 3. Расход цемента составил  $395 \text{ кг/м}^3$ ; В/Ц=0,39; суперводоредуцирующая добавка в количестве 0,4%; расход синтетического микроволокна – 900, 1000, 1100  $\text{г/м}^3$ .

Из анализа литературных источников установлено, что расход, например, полипропиленового волокна может составлять до  $2 \text{ кг/м}^3$  [16]. Для нашего случая применение в составе бетона микроволокна с расходом больше, чем  $1,1 \text{ кг/м}^3$ , приводило к заметному увеличению водопотребности смеси, что ведет к снижению прочности бетона. Очевидно, что на расход волокна будет влиять его длина. Из проведенных экспериментов было установлено, что одним из обязательных условий выбора расхода волокна должно быть условие сохранения водопотребности смеси, сопоставимой с контрольным составом. В противном случае увеличение водопотребности смеси сводит на нет возможность улучшения свойств бетона за счет

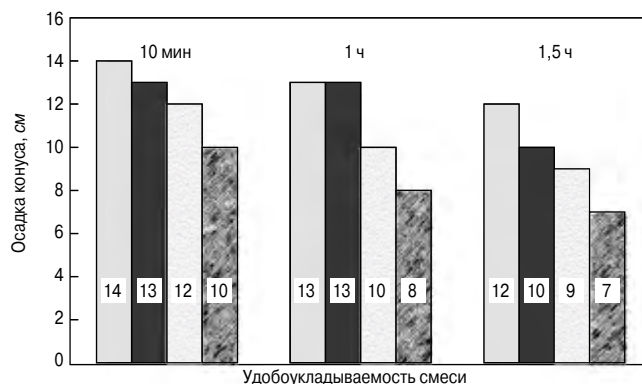


Рис. 3. Влияние расхода микроволокна на удобоукладываемость и сохраняемость бетонной смеси: □ – без добавки; ■ – 900  $\text{кг/м}^3$ ; ▨ – 1000  $\text{кг/м}^3$ ; ▩ – 1100  $\text{кг/м}^3$

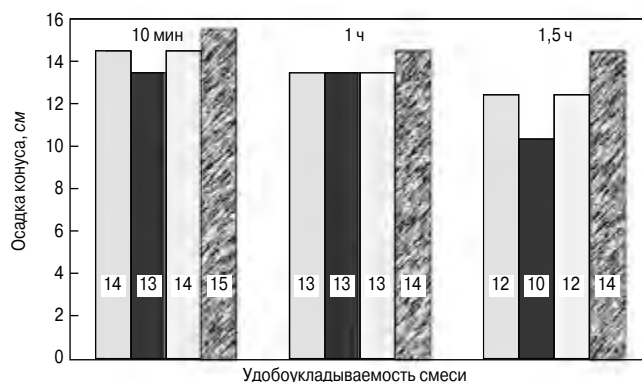


Рис. 4. Влияние расхода водоредуцирующей добавки на удобоукладываемость и живучесть бетонной смеси: □ – без добавки; ■ – добавка 0,4%; ▨ – добавка 0,7%; ▩ – добавка 1%

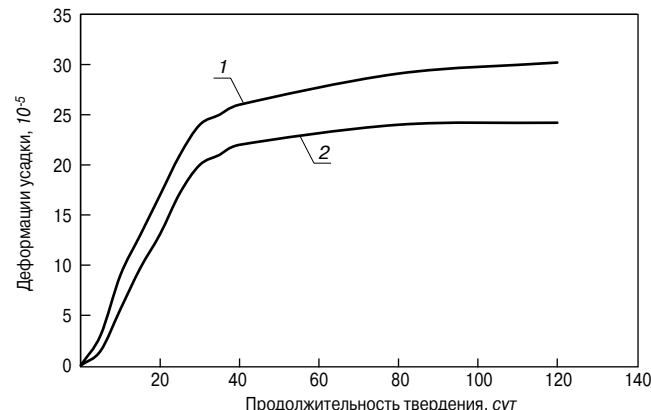


Рис. 5. Деформации усадки цементно-песчаной матрицы: 1 – без микроволокна; 2 – с микроволокном



Рис. 6. Образец дисперсно-армированного микро-волокном бетона

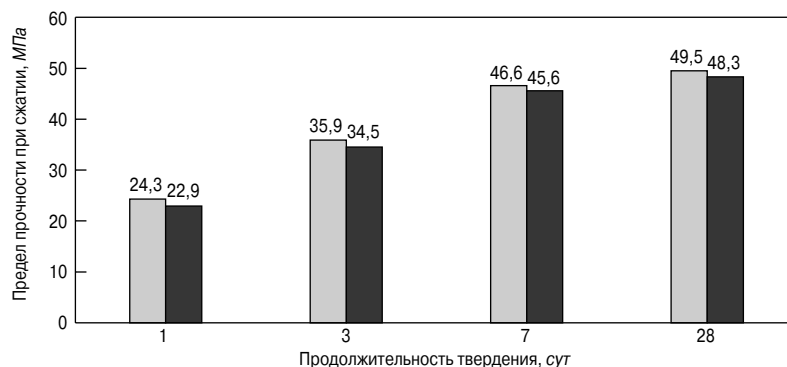


Рис. 7. Предел прочности при сжатии образцов бетона: □ – с фибриллированным микроволокном; ■ – без фибриллированного микроволокна

использования фибриллированного микроволокна Fibro for High Grade.

При введении синтетического микроволокна с расходом 900 и 1000 г/м<sup>3</sup> осадка конуса несколько уменьшилась, марка по удобоукладываемости смеси осталась прежней ПЗ. Таким образом, из условия сохранения водопотребности смеси целесообразно назначать расход волокна 900–1000 г/м<sup>3</sup>.

На рис. 4 представлены результаты экспериментов, где использованы равноподвижные смеси; В/Ц отношение изменялось в зависимости от расхода водоредуцирующей добавки, расход микроволокна – 900 г/м<sup>3</sup>.

При правильном выборе расхода микроволокна не требуется добавления воды затворения для увеличения осадки конуса. Установлено, что с увеличением расхода водоредуцирующей добавки до 1% (от массы цемента) в бетонной смеси, содержащей микроволокно, продолжительность сохраняемости смеси повышается. Это согласуется с данными об увеличении сроков схватывания смесей с высокими расходами водоредуцирующей добавки [10–13].

Для получения качественного бетона одним из необходимых условий является предотвращение образования усадочных микротрещин при твердении бетона. Доля цементного геля является определяющим фактором изменения объема систем [14]. Для решения этой проблемы может подойти фибриллированное микроволокно. В одном кубометре бетона при расходе волокна 0,9 кг/м<sup>3</sup> содержится более 10 млн волокон, которые, армируя твердеющий бетон во всех направлениях, могут снижать усадку.

В связи с этим было изучено влияние микроволокна на усадочные деформации бетона. Цементно-песчаная матрица имела следующий состав (на 1 м<sup>3</sup>): портландцемент – 500 кг, песок – 1550 кг, вода – 175 кг, суперводоредуцирующая добавка – 2 кг, синтетическое фибриллированное микроволокно – 0,9 кг. Деформации усадки измерялись по ГОСТ 24544–81. Испытания проводились в лабораторных условиях при температуре воздуха 20°C и влажности 70%. Деформации усадки цементно-песчаной матрицы со временем увеличивались по экспоненте (рис. 5) и в возрасте 120 сут достигли 30,2–10<sup>-5</sup>. Для матрицы с микроволокном деформация усадки в возрасте 120 сут составила 24,1–10<sup>-5</sup>.

Рост во времени деформаций усадки цементно-песчаной матрицы и дисперсно-армированного бетона носит экспоненциальный характер. При этом деформации усадки дисперсно-армированного бетона меньше, что позволяет предотвратить появление усадочных трещин. Исходя из этого для дисперсно-армированного микроволокном бетона можно предположить повышение та-

ких характеристик, как водонепроницаемость и морозостойкость.

Высокопрочные бетоны имеют опасность хрупкого разрушения конструкций, так как со снижением величины водоцементного отношения увеличивается отношение предела прочности при сжатии к пределу прочности при изгибе [11].

Исследование влияния микроволокна на прочностные характеристики бетона было проведено на бетонной смеси состава БСТ В40, П2. Расход цемента составил 385 кг/м<sup>3</sup>; ШЦ – 1230 кг/м<sup>3</sup>; П – 640 кг/м<sup>3</sup>; В – 150 кг/м<sup>3</sup>; водоредуцирующей добавки – 0,4%; волокна – 900 г/м<sup>3</sup>. Образцы бетона имели гладкую поверхность, только с верхней стороны образца можно было определить наличие микроволокна (рис. 6).

Результаты определения предела прочности при сжатии в возрасте 1, 3, 7 и 28 сут образцов бетона, фибриллированного микроволокном, и без представлены на рис. 7.

Прочность призм размером 10×10×40 см на растяжение при изгибе соответствовала  $V_{тб}=5,2$  для образцов с микроволокном и  $V_{тб}=4,4$  для образцов без волокна.

Введение синтетического микроволокна Fibrofor High Grade в бетон незначительно повышает предел прочности при сжатии по сравнению с контрольным составом. Значительно увеличивается предел прочности на растяжение при изгибе (до 20%). Соответствующие результаты по определению предела прочности при сжатии и на растяжение при изгибе были получены на образцах бетона, которые были подвергнуты тепловлажностной обработке по мягкому режиму, а именно при температуре изотермической выдержки, равной 50°C.

Таким образом, дисперсное армирование бетона фибриллированным микроволокном позволяет компенсировать недостатки бетона – образование усадочных трещин, низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения. В результате сравнительных испытаний установлен различающийся характер разрушения образцов. После испытаний на сжатие от контрольных образцов без микроволокна легко отделялись фрагменты бетона. Дисперсно-армированный бетон после потери прочности при сжатии не разрушался и сохранил целостность образцов даже при попытке многократного нагружения. Наиболее приемлемым расходом микроволокна для исследованного бетона является 0,9 кг/м<sup>3</sup>. Для дальнейших исследований эффективности применения синтетического фибриллированного микроволокна в составе тяжелого бетона необходимо провести испытания по определению водонепроницаемости, морозостойкости, истираемости.





**Список литературы**

1. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Морозов В.И., Магдеев У.Х. Прочность и деформативность полиармированного фибробетона с применением аморфной металлической фибры // *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 1. С. 107–111.
2. Ключев А.В. Сталефибробетон для сборно-монолитного строительства // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2011. № 2. С. 60–63.
3. Лукашев Д.В., Смирнова О.М. К вопросу о деформационно-упрочненных цементных композитах // *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*. 2014. № 4. С. 410–412.
4. Шангина Н.Н., Харитонов А.М. Опыт применения стеклофибробетона для реставрации декорированного подвесного потолка станции метрополитена // *Материалы семинара «Проблемы реставрации и обеспечения сохранности памятников культуры и истории»*. 2012. С. 18–27.
5. Сарайкина К.А., Голубев В.А., Яковлев Г.И., Сычугов С.В., Первухин Г.Н. Повышение коррозионной стойкости базальтового волокна в цементных бетонах // *Строительные материалы*. 2016. № 1–2. С. 27–31.
6. Патент RU 2548303. *Высокопрочный легкий фибробетон* / Иноземцев А.С., Королев Е.В. Оpubл. 20.04.2015. Бюл. № 11.
7. Патент RU 2570215. *Древесно-мраморно-цементная смесь* / Андреев А.В., Чалкин А.А., Андреев А.А., Колесников Г.Н. Заявл. 17.06.2014. Оpubл. 10.12.2015. Бюл. № 34.
8. Патент RU 2528774. *Сухая строительная смесь* / Васильев С.М., Щедрин Ю.Н., Бударин В.К. Заявл. 19.06.2012. Оpubл. 20.09.2014. Бюл. № 26.
9. Патент RU 2458962. *Фиброармированный тампонажный материал для цементирования продуктивных интервалов, подверженных перфорации в процессе освоения скважин* / Дружинин М.А., Сажина Е.М., Зуева, Н.А., Кудимов И.А., Кузнецова О.Г. и др. Оpubл. 20.08.2012. Бюл. № 23.
10. Смирнова О.М. Высококачественные бетоны для предварительно напряженных железобетонных подпольных конструкций. Дисс. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. 186 с.
11. Смирнова О.М. Высококачественные бетоны для сборных предварительно напряженных железобетонных конструкций. Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2014. 67 с.
12. Смирнова О.М. Использование минерального микронаполнителя для повышения активности портландцемента // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 30–33.
13. Смирнова О.М., Макаревич О.Е. Выбор водоредуцирующих добавок и их расходов для высокопрочных бетонов сборных конструкций // *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*. 2014. № 4. С. 74–77.
14. Комохов П.Г., Харитонов А.М. Влияние внутренних и внешних факторов на влажностную усадку цементных систем // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 2. С. 95–97.
15. Angel M. López-Buendíaa, María Dolores Romero-Sánchezb, Verónica Climentc, Celia Guillemb. Surface treated polypropylene (PP) fibres for reinforced concrete // *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 54, pp. 29–35.
16. Saeid Kakooeia, Hazizan Md Akilb, Morteza Jamshidic, Jalal Rouhid. The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 27. Iss. 1, pp. 73–77.

**References**

1. Pukhareno Yu.V., Pantelev D.A., Morozov V.I., Magdeev U.Kh. The strength and deformability of the poly-reinforced fiber-reinforced concrete using the amorphous metal fiber. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2016. No. 1, pp. 107–111. (In Russian).
2. Klyuev A.V. Steelfiberconcrete for precast-monolithic construction. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2011. No. 2, pp. 60–63. (In Russian).
3. Lukashev D.V., Smirnova O.M. On the question of the strain-hardened cement composites. *Resursoenergoeffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona*. 2014. No. 4, pp. 410–412. (In Russian).
4. Shangina N.N., Kharitonov A.M. Experience of glassfiber reinforced for the restoration of the decorated ceiling subway station. Proceedings of the seminar “Problems of restoration and preservation of cultural and historical monuments”. 2012, pp. 18–27. (In Russian).
5. Saraykina K.A., Golubev V.A., Yakovlev G.I., Sychugov S.V., Pervushin G.N. The corrosion resistance increase of basalt fiber cement concrete. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2016. No. 1–2, pp. 27–31.
6. Patent RU 2548303. *Vysokoprochnyi legkiy fibrobeton* [High-strength lightweight fiber concrete]. Inozemtsev A.S., Korolev E.V. Published 20.04.2015. Bulletin No. 11. (In Russian).
7. Patent RU 2570215. *Drevesno-mramorno-tsementnaya smes'* [The wood-marble-cement mix]. Andreev A.V., Chalkin A.A., Andreev A.A., Kolesnikov G.N. Declared 06.17.2014. Published 12.10.2015. Bulletin No. 34. (In Russian).
8. Patent RU2528774. *Sukhaya stroitel'naya smes'* [Dry mortar]. Vasil'ev S.M., Shchedrin Yu.N., Budarin V.K. Declared 19.06.2012. Published 20.09.2014. Bulletin No. 26. (In Russian).
9. Patent RU 2458962. *Fibroarmirovannyi tamponazhnyi material dlya tsementirovaniya produktivnykh intervalov, podverzhennykh perforatsii v protsesse osvoeniya skvazhin* [Fiber reinforced backfill material to cement production intervals, subject to the perforations in the course of development wells]. Druzhinin M.A., Sazhina E.M., Zueva N.A., Kudimov I.A., Kuznetsova O.G. i dr. Published 20.08.2012. Bulletin No. 23. (In Russian).
10. Smirnova O.M. High-quality concrete for prestressed concrete under-rail designs. Cand.Diss. (Engineering). Sankt-Petersburg. 2013. 186 p. (In Russian).
11. Smirnova O.M. *Vysokokachestvennye betony dlya sbornykh predvaritel'no napryazhennykh zhelezobetonnykh konstruktсий* [High-quality concrete for precast prestressed concrete structures]. RGPU im. A.I. Gertsena. 2014. 67 p.
12. Smirnova O.M. The use of mineral micro-filler for increasing the activity of Portland-cement. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2015. No. 3, pp. 30–33. (In Russian).
13. Smirnova O.M., Makarevich O.E. Selection of water-reducing additives and their costs for high-strength concrete pre-fabricated. *Resursoenergoeffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona*. 2014. No. 4, pp. 74–77. (In Russian).
14. Komokhov P.G., Kharitonov A.M. The influence of internal and external factors on the humid shrinkage of cement systems. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2009. No. 2, pp. 95–97. (In Russian).
15. Angel M. López-Buendíaa, María Dolores Romero-Sánchezb, Verónica Climentc, Celia Guillemb. Surface treated polypropylene (PP) fibres for reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 54, pp. 29–35.
16. Saeid Kakooeia, Hazizan Md Akilb, Morteza Jamshidic, Jalal Rouhid. The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 27. Iss. 1, pp. 73–77.

УДК 693.542.4

Л.Я. КРАМАР, д-р техн. наук (kramar-l@mail.ru), Б.Я. ТРОФИМОВ, д-р техн. наук, Т.Н. ЧЕРНЫХ, канд. техн. наук (chernyh\_tn@mail.ru), А.А. ОРЛОВ, канд. техн. наук, К.В. ШУЛДЯКОВ, инженер (kirill-shuld@ya.ru)

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

## Современные суперпластификаторы для бетонов, особенности их применения и эффективность

В связи с изменением строительных технологий в России и во всем мире, а также с увеличивающейся потребностью строительного комплекса в высокофункциональных и самоуплотняющихся бетонах в их производстве нашли широкое применение суперпластификаторы. Если суперпластификаторы первого поколения и влияние составляющих бетона на их эффективность довольно хорошо изучены, то применение суперпластификаторов на основе поликарбоксилатов требует внимательного изучения их свойств, особенностей взаимодействия с составляющими бетона и их влияния на структуру и свойства получаемых материалов. В представленной работе рассматривается влияние на эффективность поликарбоксилатных суперпластификаторов состава цементов, особенно присутствия в них алюминатов и сульфатов, а также глинистых и илистых примесей в заполнителях. При этом эффективность суперпластификаторов рассматривается как отдельно, так и в комплексе с другими добавками. Уточняется также роль этих факторов в процессах гидратации цементов и формировании структуры и свойств получаемых бетонов. Для надежной оценки эффективности поликарбоксилатных добавок обязательно необходимы их испытания по методикам EN 1015 и ГОСТ 30459–2008.

**Ключевые слова:** суперпластификаторы, поликарбоксилаты, бетон, добавки, эффективность.

L.Ya. KRAMAR, Doctor of Sciences (Engineering) (kramar-l@mail.ru), B.Ya. TROFIMOV, Doctor of Sciences (Engineering), T.N. CHERNYKH, Candidate of Sciences (Engineering) (chernyh\_tn@mail.ru), A.A. ORLOV, Candidate of Sciences (Engineering), K.V. SHULDYAKOV, Engineer (kirill-shuld@ya.ru)  
South Ural State University (National Research University) (76, Lenina Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation)

### Modern Superplasticizers for Concretes, Features of Their Application and Effectiveness

In connection with the change in building technologies in Russia and over the world as well as with the increasing need of the construction complex for high-functional and self-compacting concretes, superplasticizers are widely used for their production. If superplasticizers of the first generation and the influence of components of concrete on their effectiveness are researched well enough, the use of superplasticizers on the basis of polycarboxylates demands the attentive study of their properties, features of their interaction with the components of concrete and their influence on the structure and properties of materials obtained. The article presents analyses of the effect of cement compositions on the efficiency of polycarboxylate superplasticizers, especially the presence of aluminates and sulfates as well as clay and silt admixtures in the fillers. At that, the efficiency of superplasticizers is analyzed both separately and in complex with other additives. The role of these factors is also clarified in the hydration processes of cements and the formation of the structure and properties of concretes obtained. For reliable evaluating the efficiency of polycarboxylate additives, it is necessary to test them according to the methods of EN 1015 and GOST 30459–2008.

**Keywords:** superplasticizers, polycarboxylates, concrete, additives, efficiency.

Появление в строительной индустрии суперпластификаторов как специального промышленного продукта позволило значительно изменить технологию и свойства бетонов. К суперпластификаторам (СП) относят группу добавок, способствующих определенному увеличению подвижности цементного теста, растворных и бетонных смесей при постоянном расходе воды (пластифицирующий эффект), сохранению подвижности при снижении расхода воды (водоредуцирующий эффект) или экономии цемента.

Использование в технологии железобетона СП является основным способом получения быстротвердеющих и высокопрочных бетонов, в том числе из высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей, что в свою очередь повышает плотность, стойкость и долговечность железобетонных конструкций.

На эффективность (получение необходимого эффекта при минимальном расходе добавки) СП при их использовании в бетонных смесях и бетонах влияют:

- химический состав, строение и принцип действия суперпластификаторов;
- дисперсность и вид цемента – содержание в нем  $C_3A$ , сульфатов, щелочей;
- минеральные добавки к цементу (микрокальцит; шлаки; микрокремнезем; золы от сжигания углей, рисовой шелухи и сапропелей; метакаолин и др.);

– состав бетона – количество и качество используемых заполнителей, их загрязненность илистыми, глинистыми и другими минералами, а также расход вяжущего на  $1 \text{ м}^3$  бетона;

– использование в составе бетона других добавок помимо СП [1–4].

В современном строительстве используют СП первого и второго поколения.

СП первого поколения в настоящее время в основном представлены сульфомеламин- и сульфонафталинформальдегидными суперпластификаторами с водоредуцирующей способностью до 20%. К СП второго поколения относят пластифицирующие добавки на основе поликарбоксилатов с водоредуцированием до 45%.

СП первого поколения известны уже более 50 лет. Эти добавки универсальны и применяются эффективно с различными минеральными вяжущими, хорошо известны их свойства и особенности воздействия на структуру цементного камня и бетона [5]. Известно, что СП при снижении водоцементного отношения создают в цементном тесте стесненные условия и формируют плотный цементный камень, состоящий из гидросиликатных фаз измененного габитуса [6]. При введении оптимальных дозировок такие СП не изменяют скорость гидратации цементных минералов, но обеспечивают цементному камню и бетону повышение прочно-



сти. Увеличение дозировок СП первого поколения приводит к замедлению гидратации цемента и соответственно снижению набора прочности бетона в ранние сроки твердения.

Введение в бетонную смесь СП первого поколения снижает содержание иммобильной воды вокруг зерен цемента за счет его адсорбции, что вызывает увеличение содержания свободной воды в цементном тесте и, как следствие, увеличение его подвижности. Установлено, что наиболее эффективно проявляют себя СП в бетонных смесях с высоким расходом цемента, применение их в жестких смесях обеспечивает минимальный эффект [3, 7]. Кроме того, имея значительный электростатический заряд, суперпластификаторы этого типа блокируют поверхность цементных зерен от воды и замедляют скорость растворения и гидратации основных минералов цемента, таких как  $C_3S$  и  $\beta$ - $C_2S$ . За счет повышения содержания свободной воды в бетонных смесях при введении повышенных дозировок СП первого поколения активизируется гидратация алюминатов и довольно быстро теряется подвижность смеси, особенно в летнее время года. Для сохранения подвижности товарных бетонных смесей эти СП применяют совместно с замедлителями схватывания, такими как ЛСТ, глюконат кальция и др., что также приводит к снижению скорости набора прочности бетона в ранние сроки твердения [8]. Дополнительно СП оказывают на цемент пептизирующее действие, что способствует разрушению агрегатов цемента, увеличению удельной поверхности исходного вяжущего и требует повышения дозировок добавки, что влечет за собой удорожание получаемого материала.

СП первого поколения в основном хорошо совместимы с большинством применяемых добавок, но в некоторых случаях при их плохой совместимости с полимерными добавками можно применять раздельное их введение в начале и в конце процесса получения бетонной смеси [9].

Исследованиями В.Г. Батракова, Ф.М. Иванова и другими показано, что СП первого поколения при введении в цементно-песчаные и бетонные смеси за счет значительного электростатического заряда активно адсорбируются на поверхности исходных цементных минералов и далее на новообразованиях, но при этом не оказывают значительного влияния на фазовый состав и структуру формирующихся гидратных новообразований, по сравнению с материалами без добавок [1, 7, 10]. Введение в смесь СП первого поколения совместно с активными минеральными добавками позволяет получать бетоны с высокими характеристиками прочности, водонепроницаемости, стойкости к химическим воздействиям агрессивных сред и морозной агрессии [11, 12, 13]. Применение совместно с СП воздухововлекающих добавок позволяет без особых усилий получать бетоны с морозостойкостью F2300, что обсуждалось в работах многих исследователей и внесено в требования стандартов на получение морозо- и коррозионно-стойких бетонов [14, 15].

Производство строительных материалов с СП второго поколения на основе поликарбоксилатов, несмотря на то что они используются уже почти 30 лет, довольно часто вызывает удивление потребителей резкими колебаниями эффективности, что требует выявления причин этого явления.

Целью настоящей работы является установление совместимости современных поликарбоксилатных СП с цементами с учетом дополнительно используемых добавок, особенностей материалов, применяемых для производства бетонов, а также оценка их влияния на формирование структуры гидратных фаз и свойств цементного камня и бетона.

Известно, что СП второго поколения на поликарбоксилатной основе обеспечивают водоредуцирование до 45% и позволяют увеличивать подвижность бетонной смеси с П1 до П4–П5 или получать самоуплотняющиеся и сверхвысокофункциональные бетоны (UHPC) с водонепроницаемостью W16–20, повышенными характеристиками прочности и долговечности [16, 17].

Принято считать, что значительное снижение поликарбоксилатными СП (PCE) воды затворения с обеспечением цементным и бетонным смесями высокой подвижности происходит в результате адсорбции PCE поверхностью цементных фаз и гидратных образований за счет электростатического заряда. Проявление PCE стерического эффекта способствует активному диспергированию цемента и задержке кристаллизации гидросиликатного геля, что изменяет структуру камня и ее свойства [18–21].

По данным К. Ямады, Дж. Планка и других, эффективность воздействия PCE зависит: от вида цемента, содержания в нем  $C_3A$  и сульфатов, а также от особенности строения молекул PCE [22, 23]. В работах Т.В. Кузнецовой [24] показано, что в высокощелочной среде, которая образуется при активной гидратации  $C_3A$ , особенно при его большом содержании в цементе, гидроалюминатные фазы, формирующиеся в нормальных условиях твердения, образуют предпочтительно метастабильные высокоосновные гидроалюминаты с рыхлой структурой типа  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O$ ,  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$  и др. Дж. Планк с учениками [25, 26] установили, что при содержании в цементе повышенного количества алюминатов и формировании в цементном камне в раннем возрасте метастабильных гидроалюминатов происходит активное поглощение (интеркаляция) этими гидратами большинства PCE. В результате эффективность используемых PCE со средними размерами молекул значительно падает. Для обеспечения поверхностной адсорбции поликарбоксилатов к цементным минералам и гидратным образованиям цементного камня следует применять PCE с большой длиной основных цепей и изменять величину, количество и состав боковых цепей.

На эффективность PCE могут также оказывать влияние сульфаты. Повышенное их количество в цементе способствует формированию этtringита в цементном камне, который не влияет на пластифицирующие свойства PCE и его эффективность. Однако при малом содержании сульфатов и значительном количестве  $C_3A$  в цементе в процессе гидратации формируется цементный камень из метастабильных гидросульфалюминатов, и это приводит к снижению эффективности PCE. Кроме того, присутствие повышенного количества сульфатов в цементе может снизить коррозионную стойкость цементного камня и бетона.

К отрицательным свойствам PCE необходимо также отнести нерегулируемое воздухововлечение, которое достигает 5% и более, что при получении высокофункциональных и морозостойких бетонов должно строго контролироваться [27, 28].

Для получения высокофункциональных и быстротвердеющих бетонов чаще всего совместно с PCE используют тонкодисперсные пуццолановые добавки, такие как микрокремнезем (МК), белая сажа, тонкоизмельченные доменные шлаки и метакраолин (МТК). В этих случаях также необходимо знать, как влияют эти добавки на эффективность PCE. Изучение особенностей адсорбции PCE цементными минералами и микрокремнеземом показало, что для цемента наиболее эффективными являются эфиры метакриловой кислоты (MPEG-PCE), а микрокремнезем лучше разжижается простыми алиловыми эфирами (APEG-PCE). В результате на основе двух различных PCE был получен

комбинированный эффективный пластификатор для бетонов с добавкой микрокремнезема [16, 29].

При использовании в высокофункциональных бетонах метакаолина в качестве активатора гидратации цемента также отмечается, что не все РСЕ могут быть эффективны как для комплексов РСЕ+МТК, так и РСЕ+МТК+МК. Метакаолин, являясь обезвоженным продуктом, полученным обжигом каолиновой глины, довольно активно поглощает некоторые РСЕ и снижает их эффективность. Но особенно активно снижают эффективность РСЕ присутствие в мелких заполнителях глинистых и илистых примесей.

В России пески для производства бетонов не классифицируют и применяют полифракционными в соответствии с ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». При этом ГОСТ 8736 допускает в песках содержание примесей в виде илистых и глинистых минералов разного состава в количестве от 2 до 3%, а зачастую и более. В песках разных месторождений пылеватые могут быть представлены разновидностями монтмориллонитовой и каолиновой глин и гидрослюдами, такими как иллит, вермикулит, глауконит и другими.

Исследования влияния этих примесей на эффективность работы РСЕ показали, что обычные поликарбоксилатные СП на основе ПЭГ (полиэтиленгликолей) активно и в больших количествах поглощаются монтмориллонитами, включающими в структуру щелочные и трехвалентные катионы, такие как  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , совместно с ионами  $\text{Mg}^{2+}$ . Каолиниты в меньшей степени адсорбируют на себе поликарбоксилаты типа (PCES), а слюдистые минералы практически индифферентны к ним [30–34]. Кроме того, что глинистые примеси значительно снижают эффективность суперпластификаторов, их присутствие в заполнителях может привести к снижению прочности, долговечности, увеличению усадок в бетонах, в том числе и высокофункциональных. Следовательно, при применении в производстве бетонов поликарбоксилатных суперпластификаторов необходимо проводить тщательный контроль песков по виду и содержанию в них глинистых минералов.

При учете особенностей воздействия материалов, составляющих бетон, на РСЕ, которым пока нет альтернативы, можно получить на рядовых материалах высоко- и сверхвысокофункциональные бетоны с прочностью до 150 МПа и высокой долговечностью [21, 34].

Дополнительные исследования влияния СП второго поколения на структуру и свойства получаемых бетонов, проводимые на кафедре «Строительные материалы» в ЮУрГУ, позволили установить следующее.

Введение в цементный камень различных РСЕ вызывает замедление процесса кристаллизации гидросиликатов, способствуя формированию цементного камня аморфизированной структуры с повышенной основ-

ностью, состоящей предпочтительно из гидросиликатов типа С–S–Н (II). Такая структура обеспечивает цементному камню повышенную стойкость к циклическому воздействию температуры, увлажнению и высушиванию, а также замораживанию и оттаиванию. Но получить высокофункциональные бетоны высокой прочности с повышенными характеристиками долговечности, используя только пластификатор, практически невозможно.

Применение РСЕ совместно с МК позволяет получить цементный камень также аморфизированный, но состоящий из низкоосновных гидросиликатов типа С–S–Н (I). Такие гидросиликаты отличаются высокой стабильностью и стойкостью к старению при различных циклических воздействиях окружающей среды, обеспечивая бетону высокую прочность и долговечность в средах с высокой степенью агрессивности [21, 34–36].

Для исключения нежелательных воздействий глинистых примесей в песках, алюминатов и сульфатов в цементах и применяемых в комплексе с СП добавок на эффективность работы РСЕ предлагается предварительно оценивать их пригодность с помощью теста «мини-спад» — осадки конуса в соответствии со стандартом EN 1015.

В каждом конкретном случае для оценки эффективности приобретаемых добавок нужно проводить определение оптимальной дозировки СП и комплексных добавок согласно ГОСТ 30459–2008. Необоснованное превышение дозировок добавок, в том числе и включающих СП, может привести к замедлению гидратации цемента и твердения бетона в начальные сроки, снижению прочностных характеристик и эффективности использования этих добавок.

## Выводы

1. Суперпластификаторы на основе поликарбоксилатов представляют собой наиболее эффективные добавки многофункционального действия, позволяющие в комплексе с добавками модификаторами структуры цементного камня получать для современного строительства высокофункциональные долговечные бетоны.

2. В отличие от СП первого поколения поликарбоксилатные суперпластификаторы влияют на процессы гидратации цемента, фазовый состав гидросиликатов, их закристаллизованность и стабильность при эксплуатации. РСЕ адсорбируется гелеобразными гидратными фазами и замедляет процессы их старения при эксплуатации железобетона.

3. При выборе поликарбоксилатных СП для использования в технологии бетонов необходимо исследовать их влияние на совместимость с цементом и другими добавками, а также оценивать их эффективность с применяемыми заполнителями.

## Список литературы

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Технопроект, 1998. 768 с.
2. Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. М.: Стройиздат, 1983. 134 с.
3. Добавки в бетон: Справочное пособие / Под ред. В.С. Рамачандрана. М.: Стройиздат, 1988. 573 с.
4. Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 160 с.
5. Рекомендации по определению содержания суперпластификатора С-3 в жидкой фазе гидратирующегося цемента. М.: НИИЖБ, 1981. 13 с.

## References

1. Batrakov V.G. Modifitsirovannye betony. Teoriya i praktika. [Modified concrete. Theory and practice] Moscow: Tekhnoproekt. 1998. 768 p.
2. Dobrolyubov G., Ratinov V.B., Rozenberg T.I. Prognozirovanie dolgovechnosti betona s dobavkami [Predicting the durability of concrete with additives] Moscow: Stroyizdat. 1983. 134 p.
3. Dobavki v beton: spravochnoe posobie [Concrete admixtures: handbook] / Ed. by V.S. Ramachandran. Moscow: Stroyizdat, 1988. 573 p.
4. Zotkin A.G. Betony s effektivnymi dobavkami [Concretes with effective additives] Moscow: Infra-Inzheneriya. 2014. 160 p.



6. Фаликман В.В., Вовк А.И. Особенности взаимодействия полиметилена-полинафталинсульфонатов разного молекулярного веса с мономинералами портландцементного клинкера. В кн. Химические добавки для бетонов. М.: НИИЖБ, 1987. С. 17–30.
7. Батраков В.Г., Иванов Ф.М., Силина У.С. и др. Применение суперпластификаторов в бетоне // *Обзорная информация ВНИИИС. Серия 7. Вып. 2.* 1982. 59 с.
8. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона: Монография. М.: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2006. 244 с.
9. Патент РФ 2132828. *Бетонная смесь для гидроизоляции и способ приготовления бетонной смеси* / Селезнев Г.А., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Королев С.А. Заявл. 27.01.1998. Оpubл. 10.07.1999.
10. Иванов Ф.М. Добавка для бетонных смесей – суперпластификатор С-3 // *Бетон и железобетон.* 1978. № 10. С. 13–16.
11. Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я. Механизм «старения» гидратных фаз цементного камня при циклическом замораживании // *Популярное бетоноведение.* 2009. № 3. С. 69–83.
12. Каприелов С.С., Шенйфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01 // *Бетон и железобетон.* 1997. № 5. С. 3–5.
13. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Зинов И.А. О взаимосвязи структуры гидратных фаз цемента с морозостойкостью бетона // *Состояние и перспективы развития научно-технического потенциала Южно-Уральского региона.* МГМИ, Магнитогорск. 1994. С. 33–35.
14. ГОСТ 26633–2012. Бетоны тяжелые мелкозернистые. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 23 с.
15. ГОСТ 31384–2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. М.: Стандартинформ, 2008. 46 с.
16. Schrofl Ch., Gruber M., Plank J. Preferential adsorption of polycarboxylate superplasticizers on cement and silica fume in ultra-high performance concrete (UHPC) // *Cement and Concrete Research.* 2012. No. 42, pp. 1401–1408.
17. Plank J., Sakai E., Miao C.W., Yu C., Hong J.X. Chemical admixtures – Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability // *Cement and Concrete Research.* 2015. No. 78, pp. 81–99.
18. Вовк А.И. «Реламикс торкрет»: механизм действия и особенности набора прочности торкрет-бетоном // *Технологии бетонов.* 2011. № 11–12. С. 25–27.
19. Plank J., Vlad D., Brandl A., Chatziagorastou P. Colloidal chemistry examination of the steric effect of polycarboxylate superplasticizers // *Cement International.* 2005. No. 2, pp. 100–110.
20. Галкин В.И., Саяхов Р.Д., Черкасов Р.А. Стерический эффект: проблема количественной оценки и проявления в реакционной способности элементоорганических соединений // *Успехи химии.* 1991. Вып. 8. Т. 60. С. 1617–1644.
21. Шулдяков К.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Мамаев Н.А. Влияние добавки «микрокремнезем-поликарбоксилатный суперпластификатор» на гидратацию цемента, структуру и свойства цементного камня // *Цемент и его применение.* 2013. № 2. С. 114–118.
22. Yamada K., Ogawa S., Hanehara S. Controlling of the adsorption and dispersing force of polycarboxylate-type superplasticizer by sulfate ion concentration in aqueous phase // *Cement and Concrete Research.* 2001. No. 31, pp. 375–383.
5. Rekomendatsii po opredeleniyu soderzhaniya super plastifikatora C-3 v zhidkoi faze gidratiruyushchegosya tsementa [Recommendations for the determination of C-3 in the liquid phase superplasticizer hydratable cement]. Moscow: NIIZhB. 1981. 13 p.
6. Falikman V.V., Vovk A.I. Features of interaction poly-methylene-polynaphthalenesulfonates different molecular weight with Portland cement clinker monominerals. Khimicheskie dobavki dlya betonov [In book Chemical additives for concrete]. Moscow: NIIZhB. 1987, pp. 17–30. (In Russian).
7. Batrakov V.G., Ivanov F.M., Silina U.S. The use of superplasticizer in concrete. *Obzornaya informatsiya VNIIS. Seriya 7.* 1982. Vol. 2. 59 p. (In Russian).
8. Izotov V.S., Sokolova Yu.A. Khimicheskie dobavki dlya modifikatsii betona: monografiya [Chemical additives concrete modifications: monograph]. Kazan: KazGASU. 2006. 244 p.
9. Patent RF 2132828. *Betonnaya smes' dlya gidroizolyatsii I sposob prigotovleniya betonnoi smesi* [The concrete method for waterproofing and concrete mixing] / Seleznev G.A., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Korolev S.A.; Declared 27.01.1998; Published 10.07.1999. (In Russian).
10. Ivanov F.M. Additive for concrete mixtures - superplasticizer C-3. *Beton I zhelezobeton.* 1978. No. 10, pp. 13–16. (In Russian).
11. Trofimov B.Ya., Kramar L.Ya. The mechanism of “aging” of hydrated phases of the cement stone at cyclic freezing. *Populyarnoe betonovedenie.* 2009. No. 3, pp. 69–83. (In Russian).
12. Kapriyelov S.S., Shenifel'd A.V., Batrakov V.G. Complex concrete modifier additive MB-01. *Beton I zhelezobeton.* 1997. No. 5, pp. 3–5. (In Russian).
13. Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Zinov I.A. About the relationship between the hydrated cement phase structure with concrete frost. *Condition and prospects of development of scientific and technical potential of the South-Ural region.* MGMI. Magnitogorsk. 1994, pp. 33–35. (In Russian).
14. GOST 26633–2012. Concrete heavy fine-grained. Specifications. Moscow: Standartinform. 2014. 23 p. (In Russian).
15. GOST 31384–2008. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. Moscow: Standartinform. 2008. 46 p. (In Russian).
16. Schrofl Ch., Gruber M., Plank J. Preferential adsorption of polycarboxylate superplasticizers on cement and silica fume in ultra-high performance concrete (UHPC). *Cement and Concrete Research.* 2012. No. 42, pp. 1401–1408.
17. Plank J., Sakai E., Miao C.W., Yu C., Hong J.X. Chemical admixtures – Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability. *Cement and Concrete Research.* 2015. No. 78, pp. 81–99.
18. Vovk A.I. “Relamiks gunning”: mechanism of action and features a set of strength shotcrete. *Tekhnologii betonov.* 2011. No. 11–12, pp. 25–27. (In Russian).
19. Plank J., Vlad D., Brandl A., Chatziagorastou P. Colloidal chemistry examination of the steric effect of polycarboxylate superplasticizers. *Cement International.* 2005. No. 2, pp. 100–110.
20. Galkin V.I., Sayakhov R.D., Cherkasov R.A. The steric effect: the problem of quantifying and manifestation in the reactivity of organometallic compounds. *Uspekhi khimii.* 1991. Vol. 8. No. 60, pp. 1617–1644. (In Russian).
21. Shuldyakov K.V., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Mamaev N.A. Effect of Additives “fume-polycarboxylate superplasticizer” on the hydration of cement, structure and properties of cement stone. *Tsementi ego primenenie.* 2013. No. 2, pp. 114–118. (In Russian).

23. Yamada K. A summary of important characteristics of cement and // *Proc. of Ninth ACI International Conference*. Seville, Spain, 2009, pp. 56–63.
24. Кузнецова Т.В., Талабер Й. Глиноземистый цемент. М.: Стройиздат, 1988. 272 с.
25. Plank J., Zhimin D., Keller H., Hossle F.V., Seidl W. Fundamental mechanisms for polycarboxylate intercalation into C<sub>3</sub>A hydrate phases and the role of sulfate present in cement // *Cement and Concrete Research*. 2010. No. 40, pp. 45–57.
26. Plank, J. Preparation and characterization of new Ca-Al– polycarboxylate layered double hydroxides // *Materials Letters*. 2006. No. 60(29), pp. 3614–3617.
27. Вовк А.И. О некоторых особенностях применения гиперпластификаторов // *Технология бетона*. 2007. № 5. С. 18–19.
28. Добшиц Л.М. Твердение цементного камня с суперпластификаторами С-3 и GLENIUM-51 // *Актуальные проблемы строительного комплекса: строительные материалы и технологии*. 2010. С. 133–138.
29. Plank J., Schröfl C., Gruber M., Lesti M., Sieber R., Adv J. Effectiveness of polycarboxylate superplasticizers in ultra-high strength concrete: the importance of PCE compatibility with silica fume // *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2009. Vol. 7. No. 1, pp. 5–12.
30. Schrofl Ch., Gruber M., Plank J. Preferential adsorption of polycarboxylate superplasticizers on cement and silica fume in ultra-high performance concrete (UHPC) // *Cement and Concrete Research*. 2012. No. 42, pp. 1401–1408.
31. Lei L., Plank J. A study on the impact of different clay minerals on the dispersing force of conventional and modified vinyl ether based polycarboxylate superplasticizers // *Cement and Concrete Research*. 2014. No. 60, pp. 1–10.
32. Ng S., Plank J. Interaction mechanisms between Na montmorillonite clay and MPEG-based polycarboxylate superplasticizers // *Cement and concrete research*. 2012. No. 42, pp. 847–854.
33. Lei L., Plank J. A concept for a polycarboxylate superplasticizer possessing enhanced clay tolerance // *Cement and concrete research*. 2012. No. 42, pp. 118–123.
34. Schuldyakov K., Kramar L., Trofimov B., Ivanov I. Superplasticizer Effect on Cement Paste Structure and Concrete Freeze-Thaw Resistance // *Advanced Materials in Technology and Construction (AMTC-2015)*. – AIP Conf. Proc. 2016. doi 10.1063/1.4937881.
35. Гамалий Е.А., Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбоксилатного пластификатора // *Вестник ЮУрГУ. Строительство и архитектура*. 2009. Вып. 8. № 16. С. 29–35.
36. Fan-rong Kong, Li-sha Pan, Chen-man Wang. Effects of polycarboxylate superplasticizers with different molecular structure on the hydration behavior of cement paste // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 105, pp. 545–553.
22. Yamada K., Ogawa S., Hanehara S. Controlling of the adsorption and dispersing force of polycarboxylate-type superplasticizer by sulfate ion concentration in aqueous phase. *Cement and Concrete Research*. 2001. No. 31, pp. 375–383.
23. Yamada K. A summary of important characteristics of cement and. *Proc. of Ninth ACI International Conference*. Seville, Spain, 2009, pp. 56–63.
24. Kuznetsova T.V., Talaber I. Glinozemistiy tsement [Aluminous cement]. Moscow: Stroyizdat. 1988. 272 p. (In Russian).
25. Plank J., Zhimin D., Keller H., Hossle F.V., Seidl W. Fundamental mechanisms for polycarboxylate intercalation into C<sub>3</sub>A hydrate phases and the role of sulfate present in cement. *Cement and Concrete Research*. 2010. No. 40, pp. 45–57.
26. Plank, J. Preparation and characterization of new Ca-Al– polycarboxylate layered double hydroxides. *Materials Letters*. 2006. No. 60(29), pp. 3614–3617.
27. Vovk A.I. Some features of the use of giperplasticizers. *Tekhnologiya betona*. 2007. No. 5, pp. 18–19. (In Russian).
28. Dobshits L.M. Hardening of cement stone with superplasticizers C-3 and GLENIUM-51. *Aktual'nye problem stroitel'nogo kompleksa: stroitel'nye materialy I tekhnologii*. 2010, pp. 133–138. (In Russian).
29. Plank J., Schröfl C., Gruber M., Lesti M., Sieber R., Adv J. Effectiveness of polycarboxylate superplasticizers in ultra-high strength concrete: the importance of PCE compatibility with silica fume. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2009. Vol. 7. No. 1, pp. 5–12.
30. Schrofl Ch., Gruber M., Plank J. Preferential adsorption of polycarboxylate superplasticizers on cement and silica fume in ultra-high performance concrete (UHPC). *Cement and Concrete Research*. 2012. No. 42, pp. 1401–1408.
31. Lei L., Plank J. A study on the impact of different clay minerals on the dispersing force of conventional and modified vinyl ether based polycarboxylate superplasticizers. *Cement and Concrete Research*. 2014. No. 60, pp. 1–10.
32. Ng S., Plank J. Interaction mechanisms between Na montmorillonite clay and MPEG-based polycarboxylate superplasticizers. *Cement and concrete research*. 2012. No. 42, pp. 847–854.
33. Lei L., Plank J. A concept for a polycarboxylate superplasticizer possessing enhanced clay tolerance. *Cement and concrete research*. 2012. No. 42, pp. 118–123.
34. Schuldyakov K., Kramar L., Trofimov B., Ivanov I. Superplasticizer Effect on Cement Paste Structure and Concrete Freeze-Thaw Resistance. *Advanced Materials in Technology and Construction (AMTC-2015)*. – AIP Conf. Proc. 2016. doi 10.1063/1.4937881.
35. Gamaliy E.A., Trofimov B.Ya., Kramar L.Ya. Structure and properties of cement paste with the addition of silica fume and polycarboxylate plasticizer. *Vestnik YuUrGU. Stroitel'stvo I arkhitektura*. 2009. Vol. 8. No. 16, pp. 29–35. (In Russian).
36. Fan-rong Kong, Li-sha Pan, Chen-man Wang. Effects of polycarboxylate superplasticizers with different molecular structure on the hydration behavior of cement paste. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 105, pp. 545–553.



УДК 624.012.4

М.В. НОВИКОВ, канд. техн. наук (novikov-2005@mail.ru),  
Е.М. ЧЕРНЫШОВ, д-р техн. наук, академик РААСН (chem@vgasu.vrn.ru),  
Г.С. СЛАВЧЕВА, д-р техн. наук (gslavcheva@yandex.ru)

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

## Механические свойства цементного поризованного бетона при одноосном сжатии с учетом закономерностей его ползучести

Представлены результаты экспериментальных исследований силового сопротивления и деформирования сжатых элементов из поризованного бетона средней плотности 1200–1600 кг/м<sup>3</sup> различных структурных модификаций (мелкозернистый и микрозернистый). По данным исследований комплексно охарактеризованы механические свойства, предложен критериальный ряд прочностных и деформативных характеристик поризованных бетонов с учетом влияния длительных процессов, обусловленных твердением бетона и внешними силовыми факторами. На основании данных длительного сопротивления поризованного бетона и изменения его прочности во времени для расчета и проектирования конструкций установлены расчетные характеристики и коэффициенты условий работы поризованного бетона. Показано, что по конструкционным показателям поризованные бетоны удовлетворяют нормативным требованиям и занимают промежуточное место между равнопрочными ячеистыми и легкими бетонами на пористых заполнителях.

**Ключевые слова:** поризованный бетон, механические свойства, мера ползучести, длительная прочность, силовое сопротивление.

M.V. NOVIKOV, Candidate of Sciences (Engineering) (novikov-2005@mail.ru),  
E.M. CHERNYSHOV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS (chem@vgasu.vrn.ru),  
G.S. SLAVCHEVA, Doctor of Sciences (Engineering) (gslavcheva@yandex.ru)  
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (84, 20-letiya Oktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

### Mechanical Properties of Cement Porous Concrete at Uniaxial Compression with Due Regard for Regularities of Its Creep

Results of the experimental studies of the force resistance and deformation of compressed elements from porous concrete of 1200–1600 kg/m<sup>3</sup> density of various structural modifications (fine grain and micro grain) are presented. On the basis of research data, mechanical properties are complexly characterized; a criterion number of strength and deformation characteristics of porous concretes with due regard for the influence of long-time processes due to concrete hardening and external force factors is proposed. On the basis of data on the long-term resistance of porous concrete and change in its strength in time, calculation characteristics and coefficients of operation conditions of porous concrete are established for calculation and design of structures. It is shown that according to structural indicators, porous concretes meet normative requirements and occupy the intermediate place between cellular and light concretes of equal strength with porous fillers.

**Keywords:** porous concrete, mechanical properties, measure of creep, long-term strength, force resistance.

В практике современного жилищно-гражданского строительства область применения легких макропористых бетонов нового поколения (пено-, газо- и поризованных бетонов естественного твердения) постоянно расширяется [1–7]. Вместе с тем деформационно-прочностные свойства данных разновидностей бетона изучены в настоящее время еще недостаточно, а расчетные характеристики, необходимые для проектирования элементов конструкций, не имеют достаточно полного обоснования. Это делает в некоторых случаях невозможным использование их взамен традиционных материалов, а в целом ограничивает область применения новых разновидностей бетона для несущих конструкций.

В связи с указанными аспектами осуществлены комплексные исследования физико-механических свойств поризованного бетона при кратковременном и длительном действии нагрузки в условиях центрального сжатия. В результате реализации этих исследований получена информация, позволившая осуществить оценку конструкционного потенциала поризованного бетона естественного твердения и установить экспериментально-статистические зависимости между механическими свойствами поризованного бетона различной модификации и его средней плотностью.

Программа изучения механических и реологических свойств поризованного бетона при сжатии включала кратковременные и длительные испытания образцов призматической формы размером 100×100×400 и

150×150×600 мм и кубов с ребрами длиной 100 и 150 мм. Образцы готовились из цементного мелко- и микрозернистого поризованного бетона марок по средней плотности D1200, D1400, D1600. Плотный бетон рассматривался в качестве матричного материала для соответствующих видов поризованного бетона.

Сырьем для образцов служили: портландцемент марки ПЦ500 Д0 ЗАО «Осколцемент»; поверхностно-активное вещество (ПАВ) воздухововлекающего действия «Пеностром»; кварцевый песок с величиной  $M_k=1,4$  Тамбовского карьера Воронежской области и зола-уноса с  $S_{уд}=300$  м<sup>2</sup>/кг и  $K_{осн}=-0,151$  (по П.И. Божену) Воронежской ТЭЦ-2 для мелко- и микрозернистого бетонов соответственно. Поризованная бетонная смесь готовилась при одностадийном перемешивании в течение 4 мин со скоростью 15 с<sup>-1</sup> в смесителе турбинного типа. Требуемая средняя плотность бетонной смеси достигалась изменением дозировки воздухововлекающей добавки в диапазоне 0,05–0,1% от массы цемента при 10% концентрации ее рабочего раствора.

Кратковременные испытания бетонных образцов проводились на прессе типа ПМС-20 равными ступенями нагружения по стандартной методике. Регистрация продольных и поперечных деформаций осуществлялась электротензометрическим способом и при помощи индикаторов часового типа с ценой деления шкалы 0,001 мм. Для исследования структурных изменений поризованного бетона в процессе нагружения, обуслов-

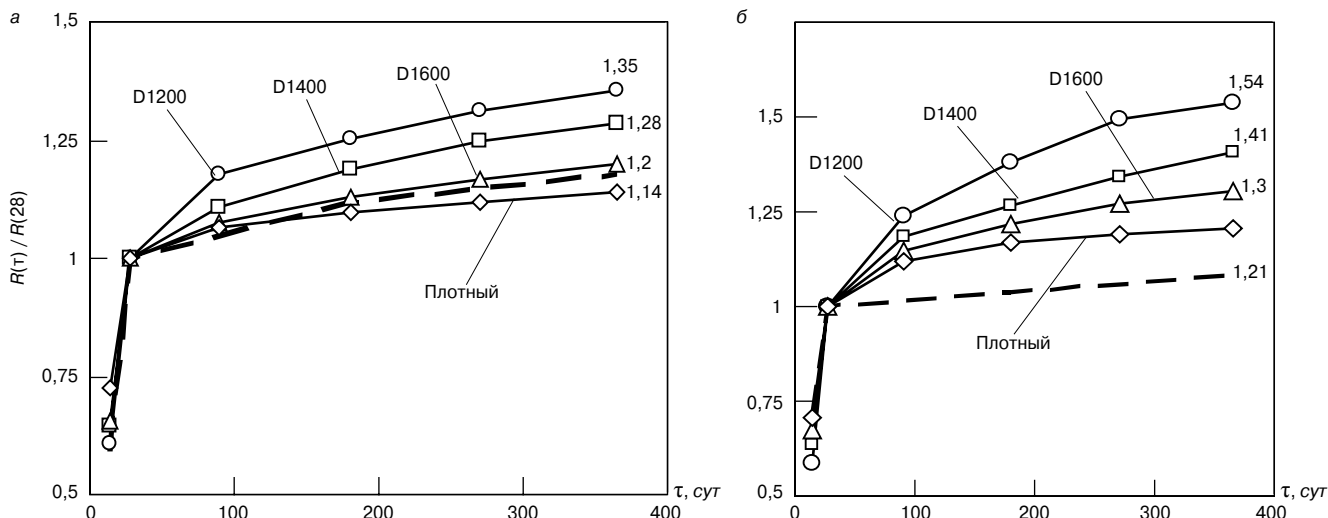


Рис. 1. Интенсивность нарастания относительной прочности поризованного бетона во времени: а – мелкозернистый бетон; б – микрозернистый бетон; — — — — поризованный бетон, твердевший в лабораторных условиях; - - - - - поризованный бетон D1200, твердевший в натуральных условиях

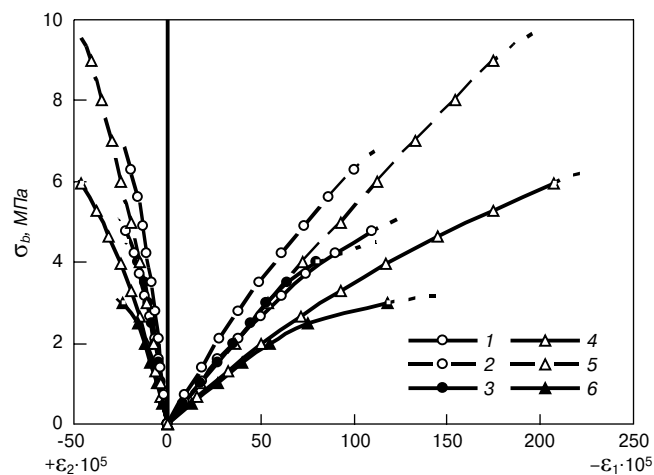


Рис. 2. Диаграмма деформаций сжатия поризованного бетона марки D1200: 1, 2, 3 – мелкозернистый бетон соответственно в возрасте 28 сут, 1 года и 15 лет; 4, 5, 6 – то же, микрозернистый

ленных появлением и развитием микротрещин сжатия, замерялось время прохождения ультразвука через образец. На всех этапах анализа экспериментальных данных применялись статистические методы оценки достоверности результатов опыта.

Методика проведения длительных испытаний была разработана в соответствии с ГОСТ 24544–81 и рекомендациями НИИЖБ. Загрузка образцов длительной нагрузкой осуществлялась в возрасте 28–30 сут на установках рычажного типа. Режим загрузки ступенчатый, по 0,05–0,1 R<sub>b</sub> с четырехминутными выдержками на каждой ступени. Величина длительно действующей нагрузки была различной и составляла от 15 до 95% от разрушающей кратковременной.

Каждая партия образцов, предназначенная для испытания длительной нагрузкой, состояла из трех групп призм. Первую группу подвергали кратковременным испытаниям в прессе для определения разрушающей нагрузки; вторую группу загружали длительно действующей постоянной нагрузкой разного уровня для определения суммарных деформаций ползучести и усадки; третью группу образцов выдерживали без нагрузки для измерения температурно-усадочных деформаций, которые вычитались из деформаций загруженных образцов. Для исключения влагообмена с окружающей средой образцы последних групп после 28 сут нормального твердения изолировались парафином и двумя слоями

**Таблица 1**

Свойства	Вид зависимостей	
	Мелкозернистый бетон	Микрозернистый бетон
Кубиковая прочность, МПа	$R = 3,3 \cdot \bar{\rho}^{-3,5}$	$R = 3,2 \cdot \bar{\rho}^{-4}$
Призменная прочность, МПа	$R_b = 3 \cdot \bar{\rho}^{-3,4}$	$R_b = 3,3 \cdot \bar{\rho}^{-3,6}$
Начальный модуль упругости, МПа	$E_b = 3,7 \cdot \bar{\rho}^{-2,7} \cdot 10^3$	$E_b = 2,5 \cdot \bar{\rho}^{-2,8} \cdot 10^3$
Предельная сжимаемость	$\epsilon_{bu} = (-\bar{\rho}^2 + 4\bar{\rho} - 2) \cdot 10^{-3}$	$\epsilon_{bu} = (-2,5\bar{\rho}^2 + 9\bar{\rho} - 5) \cdot 10^{-3}$

**Примечание:**  $\bar{\rho} = \rho/\rho_0$  – относительная средняя плотность бетона при принятой  $\rho_0 = 1 \text{ т/м}^3$ , так что  $\bar{\rho} = \rho$  и безразмерно; коэффициенты в уравнениях – начальные значения соответствующих характеристик.

полиэтиленовой пленки. Отдельные партии образцов служили для выявления тенденции роста кратковременной прочности и модуля упругости во времени в процессе твердения бетона.

Регистрация деформаций осуществлялась индикаторами часового типа, закрепленными на боковых гранях призм с базой 200 мм. Продолжительность длительных испытаний на ползучесть составляла 200 сут, после чего опытные элементы разгружались и на них в течение 70 сут измерялись деформации упругого последствия. Одновременно в том возрасте бетона, в котором производилась разгрузка образцов, для проверки одной из сторон принципа наложения воздействий впервые загружались образцы-близнецы теми же постоянными напряжениями различного уровня.

После завершения испытаний образцов на ползучесть и усадку производилось определение их кратковременной прочности и модуля упругости с целью оценки меры изменения данных характеристик под воздействием длительной постоянной нагрузки указанных уровней.

Опыты проводились в лаборатории при температуре  $T = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $\varphi = (80 \pm 5)\%$ .

Влияние средней плотности и типа структуры на механические свойства поризованного бетона можно проследить по представленным в табл. 1 экспериментально-статистическим зависимостям. Сопоставление



показателей степени в этих зависимостях позволяет утверждать, что по мере увеличения средней плотности бетона прирост прочности и модуля упругости мелкозернистого бетона более значителен, чем для мелкозернистого бетона. Прочность мелкозернистого бетона при схожей средней плотности на 10–20% выше, а модуль упругости, напротив, на 25–35% ниже, чем мелкозернистого бетона. Коэффициент призмной прочности мелкозернистого бетона составляет в среднем 0,87, мелкозернистого – 0,91.

Все исследуемые модификации бетона имели упругопластичный характер деформирования при сжатии. Граница перехода работы материала в пластическую стадию была на уровне напряжений, соответствующих  $(0,3–0,5)R_b$  для мелкозернистого бетона и  $(0,25–0,35)R_b$  для мелкозернистого. Коэффициент пластичности к моменту разрушения образцов у мелкозернистого бетона на 20–30% больше, чем у мелкозернистого бетона. Предельная сжимаемость в 1,5–2 раза больше у мелкозернистого бетона, чем у мелкозернистого бетона. Поперечные деформации при сжатии в 4–6 раз меньше продольных. Коэффициент Пуассона для поризованных бетонов составил  $0,21 \pm 0,2$ . Для аппроксимации деформаций сжатия служила зависимость вида:

$$\varepsilon_b = A \cdot \ln \left( 1 - \frac{\sigma_b}{\zeta \cdot R_b} \right), \quad (1)$$

где  $A$  и  $\zeta$  – параметры, определяемые из опыта.

Трещинообразование бетонных элементов происходило, как правило, при разрушающей нагрузке или нагрузке, близкой к разрушающей. Верхняя граница необратимых микроразрушений  $R_{сг}^v$  пребывала в широких пределах  $(0,68–1)$  от призмной прочности бетона  $R_b$ .

Результаты статистического анализа позволили сделать вывод, что распределения пределов прочности и модулей упругости исследованных составов поризованного бетона подчиняются нормальному закону. Во всех случаях отношение и эксцесса к своим ошибкам было меньше трех, что свидетельствовало о случайном характере самих ошибок и их недостоверности. Проверка гипотезы нормальности распределения значений  $R_{bm}$  и  $E_{bm}$ , проведенная по  $\chi^2$ -критерию и по критерию Колмогорова–Смирнова, подтвердила результаты приближенной проверки и принята на 10%-м уровне. По итогам обработки экспериментальных данных методами вариационной статистики были получены нормативные и расчетные величины предела прочности и модуля упругости и вычислены соответствующие коэффициенты надежности по материалу (табл. 2).

При твердении поризованного бетона в течение года в ненагруженном состоянии наблюдался устойчивый рост прочности и модуля упругости (рис. 1). Коэффициенты прироста данных показателей достигли 1,35 и 1,24 соответственно для мелкозернистого бетона и 1,54 и 1,38 для мелкозернистого бетона [8]. Для описания кинетика их роста в процессе твердения (старения) поризованного бетона приемлемые решения дают зависимости (2) и (3) при соответствующих количественных параметрах:

$$R_b(\tau) = \kappa + (R_{28} - \kappa) \cdot 0,69 \lg \tau; \quad (2)$$

$$E(\tau) = E_0 [1 - \beta_1 \cdot e^{-\alpha_1 \tau} - \beta_2 \cdot e^{-\alpha_2 \tau}], \quad (3)$$

где  $\tau$  – возраст бетона, сут;  $R_{28}$  – призмная прочность поризованного бетона в возрасте 28 сут, МПа;  $E_0$  – предельное значение модуля упругости бетона, МПа;  $\kappa$ ,  $\beta$  и  $\alpha$  – параметры, определяемые из опыта.

В процессе нормального твердения поризованного бетона доля пластических деформаций сокращалась, а упругих – возрастала в среднем на 10–15%, что подтверждалось увеличением угла наклона кривых на диаграмме деформирования (рис. 2). Предельная сжимаемость за годовой период твердения снизилась, а предел упругости, наоборот, вырос в среднем на 10% у мелкозернистого поризованного бетона и на 15% – у мелкозернистого. Коэффициент Пуассона в процессе наблюдения за бетоном практически не изменился.

За время твердения поризованного бетона под длительной нагрузкой также отмечался прирост прочности и модуля упругости при осевом сжатии [9]. Упрочнение в основном происходило при длительных напряжениях, соответствующих области линейной ползучести, и составляло соответственно до 15 и 10% – для мелкозернистых бетонов, до 20 и 12% – для мелкозернистых и до 10 и 8% – для плотных бетонов. При больших напряже-

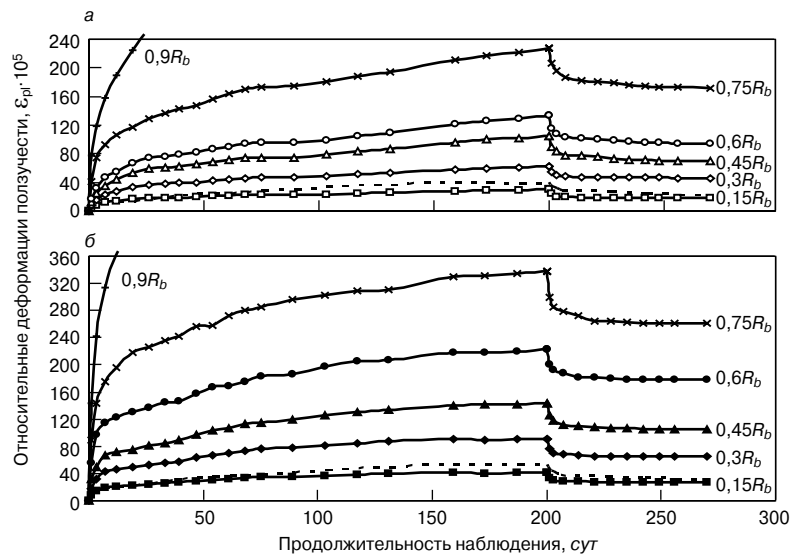


Рис. 3. Экспериментальные кривые относительных деформаций ползучести и упругого последствия мелкозернистого (а) и мелкозернистого (б) поризованного бетона при разных уровнях напряжений сжатия: — — поризованный бетон на примере марки D1600, загруженный в возрасте 28 сут; - - - - поризованный бетон D1200, впервые нагруженный в возрасте 15 лет напряжением  $\sigma = 0,3R_b$

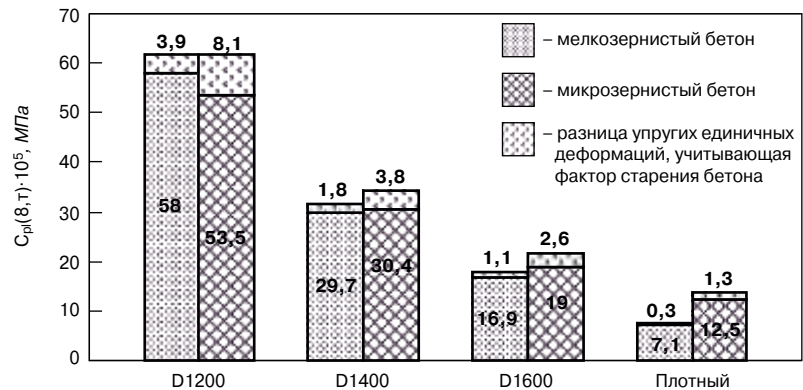


Рис. 4. Предельные значения меры линейной ползучести с учетом старения поризованного и плотного бетонов

Таблица 2

Наименование характеристик	Вид структуры и марка по средней плотности бетона						Нормативные данные*			
	Мелкозернистая			Микрозернистая			Легкий бетон		Ячеистый бетон	
	D1200	D1400	D1600	D1200	D1400	D1600	Плотный	Поризованный	Авто-клавный	Неавто-клавный
Класс бетона по прочности на сжатие	B5	B10	B15	B7,5	B12,5	B20	B5–B15			
Нормативное $R_{b,n}$ и расчетное сопротивление для предельных состояний второй группы $R_{b,ser}$ , МПа	4,4	9	13,3	5,2	9,9	16,4	3,5–11		4,6–11,5	
Расчетное сопротивление для предельных состояний первой группы $R_b$ , МПа	3,7	7,9	11,9	4,3	8,1	14,7	2,8–8,5		3,1–7,7	
Коэффициент надежности материала по прочности $\gamma_b$	1,20	1,15	1,12	1,2	1,23	1,11	1,3		1,5	
Начальный модуль упругости при сжатии $E_b \cdot 10^{-3}$ , МПа	3,9	6,5	10,3	2,8	4,4	6,6	5–14		4–9,3	3,2–7,4
Начальный модуль деформации при продолжительном действии нагрузки $E_{b,t} \cdot 10^{-3}$ , МПа	1,2	2,4	3,9	1,2	2,2	3	2,1–5,2		1,7–2,5	1,2–1,7
Коэффициент Пуассона $\nu_{b,p}$	0,18	0,18	0,2	0,21	0,23	0,24	0,2			
Предельная относительная деформация при непродолжительном действии нагрузки $\epsilon_{b0} \cdot 10^3$	1,3	1,4	1,8	2,3	2,6	3	–	–	–	–
Нормативное значение меры ползучести $C_{b,t} \cdot 10^5$ , МПа <sup>-1</sup>	61,9	31,5	18	61,6	34,2	21,6	27–12		64–30	87–44
Характеристика ползучести $\phi_{b,cr}$	3,6	3,2	2,4	2,5	2,2	1,9	1,4–1,7		1,4–2,8	1,5–3,3
Коэффициент условия работы $\gamma_{bl}$	0,9	0,85		0,9		0,85	1; 0,9	0,85	0,85	0,85
Коэффициент $\beta$ в формуле (21) СНиП 2.03.01–84*	1,8	1,6	1,2	1,3	1,1	1	1; 1,5; 2,5	2	1,3	1,5
Коэффициенты ползучести в формуле (156) СНиП 2.03.01–84*	$\phi_{b1}$	0,85		0,9	0,83	0,84	0,85	0,85	0,7	0,85
	$\phi_{b2}$	4	3,5	3,1	3,2	3,1	2,8	2		

**Примечание.** \* СНиП 2.03.01–84 «Бетонные и железобетонные конструкции»; СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»; Актуализированная редакция СНиП 52-01-03; Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01–89).

ниях  $R_b$  и  $E_b$  снижались, что связано, по всей видимости, с развитием микротрещин в структуре бетона.

Испытания на ползучесть показали, что процесс деформирования поризованного бетона при напряжениях сжатия  $\sigma \leq 0,75R_b$  последовательно проходил три фазы: фазу неустановившейся ползучести – фазу установившейся ползучести, когда скорость деформирования постоянна, – фазу затухающей ползучести (рис. 3). Для мелкозернистого бетона характерны более низкие начальные скорости ползучести и более поздние сроки ее стабилизации, чем для мелкозернистого бетона.

Установлено, что до уровней напряжений, соответствующих  $0,6R_b$  для образцов из мелкозернистого бетона и  $0,45R_b$  – из мелкозернистого бетона, деформации ползучести практически линейно связаны с напряжениями, а при более высоких напряжениях – нелинейно (рис. 4). И только вблизи момента загрузки образцов нелинейность проявлялась при меньших напряжениях и полностью исчезала через 1,5–2 недели выдержки под нагрузкой. Важно уточнить, что в связи с набором прочности бетона во времени, истекшим с начала наблюдения, уменьшилось действительное отношение напряжений в образцах к пределу прочности  $\sigma/R_b$  и, как следствие, понизилась граница перехода линейной области ползучести в нелинейную [10]. К окончанию экспериментов она достигла  $0,47$ ,  $0,49$  и  $0,52 R_b$  для мелкозернистого и  $0,32$ ,  $0,34$  и  $0,36 R_b$  для мелкозернистого поризованных бетонов марок по средней плотности D1200, D1400 и D1600 соответственно.

По существу, поризованный бетон не обладает повышенной длительной деформативностью по сравнению

с другими видами ячеистых бетонов (табл. 2). Характеристика и мера ползучести к моменту завершения эксперимента были в пределах  $1,7–3$  и  $(12,8–49,6) \cdot 10^5$  МПа<sup>-1</sup> соответственно у мелкозернистых бетонов и  $1,3–2,6$  и  $(15–58) \cdot 10^5$  МПа<sup>-1</sup> – у микрозернистых бетонов. Значения данных показателей тем больше, чем ниже средняя плотность бетона и выше уровень напряжений. Бетоны плотной мелко- и микрозернистой структуры характеризовались мерой ползучести, равной  $5,8 \cdot 10^5$  и  $11,4 \cdot 10^5$  МПа<sup>-1</sup> соответственно. Деформации быстроснатекающей ползучести составляли до 10–14% деформаций ползучести, измеренных в конце опыта. Предельные значения удельных деформаций ползучести  $C(\infty, t)$ , выявленные регрессионным анализом и откорректированные с учетом старения бетона, представлены на рис. 5.

Анализируя деформации по упругому последствию поризованного бетона, замеренные на протяжении 70 сут, следует отметить, что они носят затухающий во времени характер. Можно принять, что они линейно зависят от напряжений, действовавших в образцах до их разгрузки. При одной и той же марке бетона по средней плотности деформации последствия микрозернистого бетона больше, чем мелкозернистого, в среднем на 10–30%, а меры их последствия равны или, наоборот, меньше на 10%. Сокращение меры упругого последствия при увеличении средней плотности для микрозернистого бетона происходило менее существенно, чем для мелкозернистого бетона.

Проверка степени обратимости деформаций ползучести поризованного бетона выявила наличие необра-



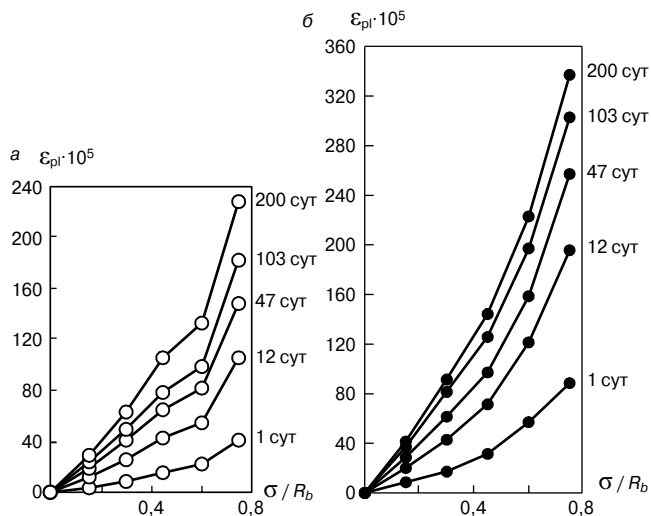


Рис. 5. Зависимость относительных деформаций ползучести поризованного бетона D1600 от начальных уровней напряжений во времени: а – мелкозернистый бетон; б – микрозернистый бетон;

тимых деформаций, не связанных со старением бетона, а обусловленных, по всей видимости, нарушением его структуры под действием длительной нагрузки. В области линейной ползучести ее доля в среднем 0,56 и 0,47 соответственно для мелко- и микрозернистого бетона. В связи с указанным обстоятельством принцип наложения воздействий для идентификации деформаций поризованного бетона при полных нагрузках может привести к некоторым погрешностям.

Для теоретической интерпретации кривых ползучести и упругого последствия поризованного бетона наиболее приемлемыми оказались модели наследственной теории старения, предложенные С.В. Александровским [11] и В.М. Бондаренко [12, 13].

Длительная прочность поризованного бетона определялась двумя способами. Первый способ основан на непосредственном экспериментальном исследовании длительной прочности и экстраполяции полученных данных по логарифмической зависимости до нужного момента времени. Здесь принятые для исследования образцы загружались длительной сжимающей нагрузкой высокого уровня с интервалом на каждом уровне

#### Список литературы

1. Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Управление эксплуатационной деформируемостью и трещиностойкостью макропористых (ячеистых) бетонов. Часть 1. Контекст проблемы и вопросы теории // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 105–112.
2. Славчева Г.С., Котова К.С. Вопросы повышения эффективности применения неавтоклавных ячеистых бетонов (пенобетонов) в строительстве // *Жилищное строительство*. 2015. № 8. С. 44–47.
3. Чернышов Е.М., Славчева Г.С., Потамосшнева Н.Д., Makeev A.I. Поризованные бетоны для конструкций малоэтажных зданий // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2006. № 5. С. 16–19.
4. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2012. № 3. С. 10–20.
5. Шубин И.Л., Умякова Н.П., Ярмаковский В.Н. Особо легкие бетоны новых модификаций – для решения задач ресурсоэнергосбережения. В защиту отечественных технологий // *Технологии строительства*. 2012. № 4. С. 42–46.

$0,05R_{bm}$ . Второй способ позволял подойти к оценке предела длительной прочности бетона с позиций механики разрушения согласно работе [14]:

$$\eta(t, \tau) = \frac{R_{bt}(t, \tau)}{R_b(\tau)} = \frac{m(t, \tau)R_b(t)}{R_b(\tau)} \sqrt{\frac{E_b(\tau)}{E_b(t)} \left( \frac{1}{1 + E_b(\tau) \cdot C(t, \tau)} \right)}, \quad (4)$$

где  $R_{bt}(t, \tau)$  – длительное сопротивление бетона осевому сжатию;  $R_b(t), E_b(t)$  – соответственно призмная прочность и модуль упругости бетона в момент приложения длительной нагрузки;  $R_b(\tau), E_b(\tau)$  – то же, в момент окончания действия длительной нагрузки, когда свойства бетона стабилизируются;  $C(t, \tau)$  – удельные деформации ползучести бетона;  $m(t, \tau) = R_b(t)/R_b(\tau)$  – отношение кратковременной прочности бетона с учетом предшествующего длительного нагружения к кратковременной прочности бетона, загруженного впервые.

В итоге коэффициент долговременной прочности при сжатии был принят равными 0,66 и 0,69 соответственно для мелко- и микрозернистых поризованных бетонов.

Рекомендуемые для расчета и проектирования конструкций значения характеристик поризованного бетона с учетом влияния длительных процессов, обусловленных старением и ползучестью бетона, представлены в табл. 2. Здесь же приведены нормативные значения меры и характеристики ползучести исследуемых бетонов, которые могут быть использованы для определения расчетных характеристик ползучести с учетом реальных условий, в которых работает конструкция.

#### Выводы.

На основании экспериментально-теоретических исследований установлены нормируемые физико-механические характеристики поризованных бетонов различных модификаций с учетом их изменчивости, старения бетона и длительности действия нагрузки. Они могут быть использованы для расчета и проектирования конструкций из поризованного бетона и тем самым способствовать более широкому внедрению поризованного бетона в строительную практику [15]. При этом мелкозернистый поризованный бетон более предпочтителен для практического использования, так как при одной и той же средней плотности и малозначительной разнице в мерах ползучести его деформации усадки на 40% меньше, чем у микрозернистого бетона.

#### References

1. Chernyshov E.M., Slavcheva G. S. Management of operational deformability and crack resistance of macroporous (cellular) concrete. Part 1. Context of a problem and questions of the theory. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 105–112. (In Russian).
2. Slavcheva G.S., Kotova K.S. Questions of increase of efficiency of use of not autoclave cellular concrete (foam concretes) in construction // *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 8, pp. 44–47. (In Russian).
3. Chernyshov E.M., Slavcheva G. S., Potamoshnev N. D., Makeev A.I. Porizovannyye concrete for designs of low buildings. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii 21 veka*. 2006. No. 5, pp. 16–19. (In Russian).
4. Lesovik V.S., Suleymanova L.A., Kara K.A. Power effective gas concretes on the composite higher educational institutions knitting for monolithic construction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2012. No. 3, pp. 10–20. (In Russian).
5. Chubin I.L., Umnyakova N.P., Yarmakovskiy V.N. Especially light concrete of new modifications – for the solution of problems of energy saving. In protection of domestic technologies. *Tekhnologii stroitel'stva*. 2012. No. 4, pp. 42–46. (In Russian).

6. Ухова Т.А., Фискинд Е.С. Комплексное применение неавтоклавных поробетонов и порофибробетонов в возведении малоэтажных жилых домов // *Технологии бетонов*. 2012. № 5–6. С. 71–72.
7. Крылов Б.А., Кириченко В.В. Энергоэффективная технология производства пенобетонных изделий // *Технологии бетонов*. 2013. № 12 (89). С. 47–49.
8. Славчева Г.С., Новиков М.В., Чернышов Е.М. Изменение механических свойств поризованного бетона во времени // *Вестник ВолгГАСУ. Строительство и архитектура*. Волгоград. 2008. № 10 (29). С. 224–229.
9. Новиков М.В., Самородский Н.И. Влияние предшествующего длительного нагружения на механические свойства поризованного бетона // *Научный вестник Воронежского ГАСУ. Высокие технологии. Экология*. Воронеж. 2015. № 1. С. 106–111.
10. Новиков М.В., Славчева Г.С., Чернышов Е.М. Оценка силового сопротивления поризованного бетона в условиях однородного напряженного состояния. *Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: Материалы международных академических чтений*. Курск. 2012. С. 36–45.
11. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести. М.: Стройиздат, 1973. 432 с.
12. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: Монография. М.: АСВ, 2004. 472 с.
13. Бондаренко В.М., Карпенко Н.И. Уровень напряженного состояния как фактор структурных изменений и реологического силового сопротивления бетона // *Academia. Архитектура и строительство*. 2007. № 4. С. 56–60.
14. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетонов методами механики разрушения. М.: Стройиздат, 1982. 196 с.
15. Новиков М.В. Силовое сопротивление нормальных сечений армированных изгибаемых элементов из конструкционного поризованного бетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2016. № 3 (56). С. 60–66.
6. Ukhova T.A., Fiskind E.S. Complex application of not autoclave porobeton and porofibrobeton in construction of low houses. *Tekhnologii Betonov*. 2012. No. 5–6, pp. 71–72. (In Russian).
7. Krylov B.A., Kirichenko V.V. Power effective production technology of foam-concrete products. *Tekhnologii betonov*. 2013. No. 12(89), pp. 47–49. (In Russian).
8. Slavcheva G.S., Novikov M.V., Chernyshov E.M. Change of mechanical properties of porizovanny concrete in time. *Vestnik VolgGASU. Stroitel'stvo i arhitektura*. Volgograd. 2008. No. 10(29), pp. 224–229. (In Russian).
9. Novikov M.V., Samorodsky N.I. Influence of the previous long loading on mechanical properties of porizovanny concrete. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. High technologies. Ecology*. Voronezh. 2015. No. 1, pp. 106–111. (In Russian).
10. Novikov M.V., Chernyshov E.M., Slavcheva G.S. Assessment of power resistance of porizovanny concrete in the conditions of the homogeneous stressed state. *Safety of structural fund of Russia. Problems and decisions: Materials of the international academic readings*. Kursk. 2012, pp. 36–45. (In Russian).
11. Aleksandrovsky S.V. Raschet betonnykh i zhelezobetonnykh konstrukttsii na izmeneniya temperatury i vlazhnosti s uchetom polzhuchesti [Calculation of concrete and reinforced concrete designs on changes of temperature and humidity taking into account creep]. Moscow: Stroyizdat. 1973. 432 p.
12. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Raschetnye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona: monografiya [Settlement models of power resistance of reinforced concrete] Moscow: ASV. 2004. 472 p.
13. Bondarenko V.M., Karpenko N.I. Uroven napryazhennogo sostoyaniya kak faktor strukturnykh izmenenij i reologicheskogo silovogo soprotivleniya betona. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2007. No. 4, pp. 56–60. (In Russian).
14. Zaycev Y.V. Modelirovanie deformatsiy i prochnosti betonov metodami mekhaniki razrusheniya [Modeling of deformations and durability of concrete by methods of mechanics of destruction]. Moscow: Stroyizdat. 1982. 196 p.
15. Novikov M.V. Power resistance of normal sections of the reinforced bent elements from construction porous concrete. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2016. No. 3 (56), pp. 60–66. (In Russian).

**ПОЗДРАВЛЯЕМ**

**Леонид Абрамович Вайсберг** – доктор техн. наук, научный руководитель НПК «Механобр-техника», член редакционного совета журнала «Строительные материалы»® – избран действительным членом (академиком) РАН.



28 октября 2016 г. на общем собрании Российской академии наук доктор техн. наук, профессор, научный руководитель НПК «Механобр-техника» Леонид Абрамович Вайсберг избран действительным членом (академиком) РАН.

Л.А. Вайсберг – ведущий российский ученый в области техники и технологии переработки минерального сырья. Руководитель научной школы вибрационных процессов дезинтеграции и сепарации полезных ископаемых. Дважды лауреат премии Правительства Российской Федерации, лауреат престижных научных премий имени В.И. Вернадского и А.П. Карпинского. Почетный профессор и почетный доктор наук нескольких университетов.

Как известно, выборы членов академии проводятся не реже одного раза в три года. Однако в 2013 г. в связи с начавшейся реформой РАН очередные выборы были отложены, таким образом, последний раз состав академии обновлялся пять лет назад.

Согласно уставу РАН, право выдвижения кандидатов в члены академии предоставляется научным организациям и образовательным организациям высшего образования, имеющим государственную аккредитацию, научным советам академии по 16 направлениям: математические, физические, биологические, сельскохозяйственные, общественные, историко-филологические, физиологические и медицинские науки, глобальные проблемы и международные отношения, науки о Земле, науки о материалах, энергетика и машиностроение, нано- и информационные технологии; а также Уральскому, Сибирскому и Дальневосточному отделениям РАН. В 2016 г. РАН выделила 184 места для будущих академиков и 334 – для членов-корреспондентов. На них претендовало соответственно 485 и 1761 человек.

Российская академия наук пополнилась 176 новыми академиками, 323 членами-корреспондентами и 63 иностранными членами. Среди них – наш постоянный автор, коллега и партнер – Леонид Абрамович Вайсберг.

**Примите сердечные поздравления, коллега!**



УДК 624:666.291.1

Г.Р. БУТКЕВИЧ, канд. техн. наук (georgybutkevich@gmail.com)

Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт по проблемам добычи, транспорта и переработки минерального сырья в промышленности строительных материалов (ВНИПИИстромсырье) (125080, г. Москва, Волоколамское ш., 1)

## Состояние промышленности минерального сырья строительных материалов США в 2015 году

Представлено состояние горной отрасли промышленности строительных материалов США за 2015 г. Приведены данные об изменении объема производства, количестве предприятий, производительности труда, ценах минеральной продукции, импорте и экспорте продукции. Сделан вывод о тенденции укрупнения бизнес-единиц в отрасли, а также о повышении эффективности производства на малых и средних карьерах за счет применения самоходных и модульных перерабатывающих комплексов.

**Ключевые слова:** карьер, щебень, песчано-гравийная смесь, цена, производительность труда.

G.R. BUTKEVICH, Candidate of Sciences (Engineering) (georgybutkevich@gmail.com)  
Research and Design Institute for Extraction, Transportation and Processing of Mineral Raw Materials in Building Materials Industry  
(1, Volokolamskoe Highway, Moscow, 125080, Russian Federation)

### The State of Mineral Raw Materials Industry for Building Materials in the USA in 2015

The state of the mining sector of the USA building materials industry in 2015 is presented. Data on the change in production volume, number of enterprises, labor productivity, prices for mineral products, import and export of products are given. The conclusion about the trend aimed at enlarging the business-units in the industry, as well as improving the efficiency of production at small and average quarries due to the use of self-propelled and modular processing complexes is made.

**Keywords:** quarry, crushed stone, sand-gravel mix, price, labour productivity.

Горная отрасль промышленности строительных материалов США находится на подъеме уже несколько лет. Объем выпуска минерального сырья (МС) для производства строительных материалов в 2015 г. увеличился на 5,6% и достиг 2,25 млрд т. Стоимость произведенной минеральной продукции превысила 21 млрд долл. США.

Глобальный кризис промышленности, начавшийся в США в 2007 г., привел к падению выпуска МС для производства строительных материалов за три года на 36%. Объемы выпуска этого вида минеральной продукции в настоящее время не достигли докризисного уровня и составляют 76,7% к 2006 г. по позиции дробленый камень и 70,5% по песчано-гравийным породам.

Статистические органы США представляют отчетность о выпуске минеральной продукции, используемой для производства строительных материалов, по двум позициям: дробленый камень, т. е. продукции, получаемой из скальных пород, и песчано-гравийные породы. Единой терминологии для данной группы МС в мире не существует\*. Поэтому при сравнении различных показателей функционирования отрасли в разных странах возникают споры, начиная от видов пород, входящих в данную группу (табл. 1, 2).

В 2015 г. производством минерального сырья по позиции дробленый камень занималось 1430 компаний, которым принадлежат 3,7 тыс. карьеров и 82 шахты, реализацией продукции — 187 компаний. За год произведено 1,32 млрд т (на 6% больше, чем в 2014 г.) на сумму 13,8 млрд долл. США [1]. Основной объем продукции произведен из карбонатных пород (70%). Затем следуют граниты — 13%, траппы — 6%, песчаники и кварциты — 4%; 11% минеральной продукции из карбонатных пород используется для производства цемента, 2% в сельском хозяйстве, 76% — щебень. Особенностью месторождений известняка и доломита США является их однородность по прочности. В отличие, например, от большинства отечественных месторождений, сложенных карбонатными породами различной прочности. Эта особенность позволяет использовать щебень из карбонатных пород в ответственных конструкциях, а также упростить процессы переработки.

Объем продукции, производимой из отходов строительства, постоянно возрастает. Этим видом производства строительных материалов занимаются во всех штатах. Хотя специалисты указывают, что сбор данных затруднен и не учитывает всего объема рециклируемого сырья. Объем продукции из строительного лома в США, который фиксируется в позиции дробленый камень, составил в 2015 г. менее 2%, что в разы меньше, чем в европейских странах.

Продукцию из песчано-гравийных пород стоимостью 7,2 млрд долл. США выпускали 4100 компаний на 6,3 тыс. карьерах. 55% продукции производится в 10 штатах, в границах которых сосредоточены крупные месторождения песчано-гравийных пород. 45% продукции, выпускаемой из этого вида МС, используется для производства бетона, 25% — для строительства и ремонта автодорог, 13% — для изготовления асфальтобетона и других битуминозных материалов.

Импорт и экспорт этого вида минеральной продукции занимает незначительное место. За четверть века импорт дробленого камня, преимущественно щебня, увеличился с 4 до 22 млн т, крупнейшими импортерами являются Мексика (71%), Багамские острова (16%), Канада (7%). Импорт материалов из песчано-гравийных пород составлял несколько миллионов тонн в год. Экспорт обоих видов колеблется в районе 1 млн т в год [1].

Для данной отрасли горной промышленности во всех странах характерно большое количество карьеров, среди которых преобладают предприятия малой и средней производственной мощности. Средняя производительность карьеров, разрабатывающих скальные породы, выше, чем песчано-гравийные (соответственно 354 и 227 тыс. т в год), и постепенно возрастает.

Наблюдается тенденция сокращения персонала при росте объемов производства, т. е. происходит рост производительности труда. Последние пять лет производительность труда работников карьеров, разрабатывающих месторождения скальных пород, возросла на 15,8%, а разрабатывающих месторождения песчано-гравийных пород — на 12,2%. Однако в предкризисном 2006 г. производительность труда снизилась соответственно на 5,7 и 3,8% [2]. Поскольку более

\* Академик РАН В.В. Ржевский эту группу полезных ископаемых предлагал называть строительными горными породами.

Таблица 1  
Производство дробленого камня [1]

Показатели	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Произведено, млн т	1160	1180	1180	1250	1320
В том числе переработка бетона и асфальтобетона, млн т	27	31	41	42	42
Импорт, млн т	15	15	18	20	22
Цена, долл. США/т	9,6	9,73	9,89	10,15	10,46
Штат трудящихся, тыс. чел.	67	66,2	65,9	65,6	65,5
Производительность труда, тыс. т/чел	17,09	17,59	17,63	18,6	19,82

Таблица 2  
Продукция из песчано-гравийной смеси [1]

Показатели	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Произведено, млн т	809	816	850	904	931
Импорт, млн т	3	4	4	5	4
Цена, долл. США/т	7,49	7,66	7,61	7,68	7,72
Штат трудящихся, тыс. чел.	29,8	30,6	30	28,6	28,1
Производительность труда, тыс. т/чел	27,05	26,5	28	31,43	32,99

детальные данные в доступных источниках отсутствуют, остается предположить, что в период повышенного спроса увеличивается продолжительность рабочего времени, в частности благодаря сокращению времени остановки работ многих предприятий в зимний период.

Следует отметить особенность, свойственную предприятиям отрасли многих стран, – резкое изменение выпуска продукции по кварталам: минимум в зимний период и максимум, около 30% выпуска за год, в III квартале.

Большинство компаний владеет всего несколькими карьерами. Хотя успешно функционируют и крупнейшие в США компании, производящие нерудные строительные материалы, такие как «Мартин Мариэтта» и «Валкэн Матириэлс». В последние годы наметилось стремление к концентрации производства. Примером может служить образование нового гиганта в глобальном масштабе – компании «ЛафаржХолсим». Стоимость фондов компании оценивается в 50 млрд долл. США. Объединенная компания владеет 180 цементными заводами, 1600 заводами сухих смесей и 600 карьерами и перерабатывающими комплексами во всем мире. Ее штат составляет 115 тыс. человек.

Прорабатывался вопрос о слиянии «Мартин Мариэтта» и «Валкэн Матириэлс» (возникли противоречия и намечавшееся два года назад слияние не состоялось). Обе компании рассчитывают на рост объема производства в 2016 г. «Мартин Мариэтта», основываясь на кратковременных прогнозах и оценке активности рынка, ожидает, что рост объема производства продолжится и в 2016 г. достигнет 5–7%, также ожидается значительный рост цены продукции. Компания приобрела в прошлом году две компании со штатом трудящихся 400 человек.

Компания «Валкэн Матириэлс» увеличила объем производства в прошедшем году на 7% и рассчитывает на такой же рост в 2016 г. Многие компании считают, что 2015 г. оказался лучшим по финансовым показателям за последние 10 лет. В этом виде горного бизнеса сохраняются семейные предприятия [3].

Один из аналитиков США Г. Реддин, назвав переживаемый страной период эрой крупных приобретений, приводит такие данные: за 2014–2015 гг. стоимость

сделок по слиянию и покупке компаний составила 50 млрд долл. США. Эта цифра является рекордной по рынку промышленности строительных материалов за все годы его существования [4].

Успешному функционированию карьеров малой и средней производительности способствуют достижения горного машиностроения. Массовый выпуск самоходных и модульных перерабатывающих комплексов, способных производить продукцию даже с промывкой, позволяет покупать, брать в лизинг оборудование, которое может быть введено в эксплуатацию за несколько дней. Существуют фирмы, на которых один комплект оборудования обслуживает несколько карьеров или производит продукцию как из минерального сырья, так и из отходов строительства.

Цены на продукцию, за исключением нескольких лет, постоянно растут даже в период спада производства. С начала 1970-х гг. цена на дробленый камень возросла в 5,2 раза, а на песчано-гравийные материалы – в 5,7 раза. Эти значения примерно соответствуют росту цены потребительской корзины (около 6 раз) [2].

В каждой стране горная отрасль промышленности строительных материалов является частью ее строительного комплекса. Потребность в различных видах полезных ископаемых формируется в зависимости от конъюнктуры в строительстве, принимаемых властями структурами страны решений, следовательно, от финансирования национальных программ, а также программ муниципальных. На положение строительного комплекса влияет не только состояние экономики страны, но и экономики в глобальном масштабе. Значительные возможности для сохранения производственных мощностей промышленности кроются в государственных программах развития инфраструктуры. Такие программы осуществлялись в период «нового курса» США. Этот опыт используют и другие страны. Например, в послевоенный период так поступила Финляндия. Подобные программы принимаются и в настоящее время. Конгресс США в прошлом году принял закон о дорожном строительстве, аналогичный работавшему ранее. Такие законы обеспечивают финансирование работ по развитию инфраструктуры на продолжительный период, что является важнейшим фактором для существования и развития отрасли нерудных строительных материалов [4].

Следует отметить, что горную отрасль промышленности строительных материалов США характеризует высокая производительность труда и очень низкий травматизм (количество смертельных несчастных случаев на горных предприятиях страны всех отраслей составило всего 28, а в предыдущие годы не превышало 45 [5]). Средства информации систематически публикуют в периодических изданиях данные об объемах производства минерального сырья для производства строительных материалов и прогнозы на краткосрочный период, что позволяет собственникам принимать более обоснованные решения о развитии своего бизнеса.

#### Список литературы / References

1. Supplement to *Pit & Quarry*, 2016, pp. 10–12.
2. Буткевич Г.Р. Развитие промышленности нерудных строительных материалов России и США. Прошлое и перспективы // *Строительные материалы*. 2013. № 10. С. 4–9.
2. Butkevich G.R. Development of Non-Metallic Building Materials Industry of Russia and the USA. Past and Prospects. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 10, pp. 4–9. (In Russian).
3. Supplement to *Pit & Quarry*, 2016, pp. 4–8.
4. *Pit & Quarry*, 2016, February, pp. 70–75.
5. Supplement to *Pit & Quarry*, 2016, NSHA Statistics, p. 15.

УДК 691.542

С.В. ВАВРЕНЮК, член-корр. РААСН, д-р. техн. наук (info@dalniis.ru),  
В.А. АВРАМЕНКО, член-корр. РАН, д-р. хим. наук, В.Г. ВАВРЕНЮК, канд. техн. наук,  
С.Г. КРАСИЦКАЯ, канд. хим. наук, А.Э. ФАРАФОНОВ, инженер

Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству (филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС, Владивосток) (690033, Владивосток, ул. Бородинская, 14)

## Твердофазное механохимическое модифицирование портландцементов

Показана принципиальная возможность повышения стойкости цементного камня к растягивающим напряжениям за счет твердофазного механохимического модифицирования портландцементов на стадии помола клинкера кремнийорганическими соединениями полиорганилсилесквиоксанами. Ведение полиорганилсилесквиоксанов в процессе помола клинкера существенно (в 2–3 раза) повышает стойкость цементного камня к растягивающим напряжениям при циклическом воздействии знакопеременных температур в солевых растворах.

**Ключевые слова:** портландцемент, механохимическое модифицирование, клинкер, кремнийорганические соединения, дорожные бетоны, морозостойкость, трещиностойкость, растягивающие напряжения.

S.V. VAVRENIUK, Corresponding Member of RAACS, Doctor of Sciences (Engineering),  
V.A. AVRAMENKO, Corresponding Member of RAS, Doctor of Sciences (Chemistry), V.G. VAVRENIUK, Candidate of Sciences (Engineering),  
S.G. KRASITSKAYA, Candidate of Sciences (Chemistry), A.E. FARAFONOV, Engineer  
Branch of FGBU «TSNNIP Minstroya Rossii», Far Eastern Construction Scientific-Research, Design and Technological Institute (DalNIIS)  
(14, Borodinskaya Street, 690033 Vladivostok, Russian Federation)

### Solid Phase Mechanical-Chemical Modification of Portland Cements

A principal possibility to improve the resistance of cement stone to tensile stresses due to the solid phase mechanical-chemical modification of Portland cements at the stage of grinding of clinker with silica organic compounds – polyorganylsilsesquioxanes is shown. The introduction of polyorganylsilsesquioxanes during the process of clinker grinding significantly improves (by 2-3 times) the resistance of cement stone to tensile stresses under the cyclic effect of freeze-thaw temperatures in salt solutions.

**Keywords:** portland cement, mechanical-chemical modification, clinker, silica organic compounds, road concretes, freeze-resistance, crack resistance, tensile stresses.

Одним из основных параметров, определяющих долговечность дорожных бетонов, является морозостойкость, которая зависит от сопротивления цементного камня к растягивающим напряжениям при циклическом воздействии знакопеременных температур и оценивается прочностью на растяжение при изгибе  $B_{bt}$ . Причем значительные растягивающие напряжения при замораживании бетона возникают в присутствии солей, применяемых для удаления льда с дорожных покрытий ( $NaCl$  и  $CaCl_2$ ). В связи с чем испытания на морозостойкость бетона дорожных покрытий производятся с замачиванием и оттаиванием образцов в 5% солевом растворе  $NaCl$ .

В первую очередь обеспечение высокой морозостойкости бетонов достигается применением портландцементов с ограниченным содержанием трехвалентного алюмината и введением модифицирующих добавок в процессе приготовления бетонных смесей [1–3].

Авторами проведены поисковые исследования по повышению стойкости цементного камня к растягивающим напряжениям за счет твердофазного механохимического модифицирования портландцементов на стадии помола клинкера [4, 5].

Твердофазное механохимическое модифицирование основано на химическом взаимодействии модификаторов с минералами портландцементного клинкера на стадии его помола, что позволяет получать портландцементы с заданными свойствами [5] и исключить технологический передел введения химических добавок в процессе приготовления бетонных смесей [6–8].

В качестве модификатора портландцемента использовался химический комплекс в виде сухого порошка, состоящий из полифенилсилоксана (ПФС) с молекулярной массой  $\geq 5$  тыс. у. е. и суперпластификатора С-3 в количестве 0,2 и 1% от массы клинкера соответственно.

Полифенилсилоксан относится к группе кремнийорганических соединений полиорганилсилесквиоксанов, имеет преимущественно циклолинейное строение и химическую формулу  $(RSiO_{1,5})_n$ .

Исследования проводились на клинкере Спасского цементного завода с высоким содержанием трехвалентного алюмината 9,76%. Измельчение клинкера осуществлялось в шаровой мельнице. Модифицирующие добавки вводились после предварительного помола клинкера с гипсом до удельной поверхности  $\sim 200$  м<sup>2</sup>/кг. Количество двуводного гипса в пересчете на  $SO_3$  составляло 3,13%.

Оценка влияния модификатора на стойкость цементного камня к циклическому воздействию знакопеременных температур велась относительно портландцемента аналогичного химико-минералогического состава и удельной поверхности, а также аналогичного способа изготовления.

Исследования морозостойкости портландцементов проводились на образцах размером 4×4×16 см, изготовленных из цементно-песчаных растворов (ЦПР) равнопластичной консистенции на стандартном вольском песке (1:3) по ГОСТ 310.1–76\* «Цементы. Методы испытаний. Общие положения» в возрасте 28 сут нормального твердения (табл. 1).

Для исследований был выбран метод замораживания-оттаивания в солевом растворе  $NaCl$  при  $-50^\circ C$ . Следует отметить, что замораживание при  $-50^\circ C$  является самым жестким для структуры цементного камня, так как вся вода, содержащаяся в его порах, переходит в состояние льда, ускоряя разрушение цементного камня в два и более раз, чем при  $-20^\circ C$  [2].

Кроме того, в отличие от обычной воды замораживание и оттаивание в солевом растворе сопровождается



Таблица 1

## Характеристики портландцемента и цементно-песчаных растворов

Модификатор, % от массы клинкера	Удельная поверхность цемента, м <sup>2</sup> /г	Нормальная густота цемента, %	В/Ц ЦПР	Распływ конуса ЦПР, мм
ПФС+С-3 (0,2+1)	420	18	0,28	120–125
Без добавок	390	25	0,4	115–120

Таблица 2

## Морозостойкость модифицированного портландцемента

Модифицирующие добавки, % от массы клинкера	Прочность при изгибе / Прочность при сжатии, МПа в возрасте 28 сут нормального твердения			
	Циклы замораживания-оттаивания			
	Контрольный	4 (F150)	5 (F200)	8 (F300)
ПФС+С-3 (0,2+1)	8,5 / 53,13	7,86 / 49,3	7,45 / 46,17	6,65 / 32,22
Без добавок	7,16 / 53,74	6,93 / 50,4	2,83 / 40,08	1,55 / 27,12

Таблица 3

## Коэффициент морозостойкости модифицированного цемента

Модифицирующие добавки, % от массы клинкера	Коэффициент морозостойкости, при изгибе / при сжатии		
	Циклы замораживания-оттаивания		
	4 (F150)	5 (F200)	8 (F300)
ПФС+С-3 (0,2+1)	0,93 / 0,93	0,88 / 0,87	0,78 / 0,61
Без добавок	0,97 / 0,93	0,4 / 0,75	0,22 / 0,51

Таблица 4

Трещиностойкость цементного камня на модифицированном портландцементе (по показателю  $R_{изг}/R_{сж}$ )

Модифицирующие добавки, % от массы клинкера	Отношение прочности при изгибе к прочности при сжатии			
	Циклы замораживания-оттаивания			
	До испытаний	4 (F150)	5 (F200)	8 (F300)
ПФС+С-3 (0,2+1)	0,16	0,16	0,16	0,2
Без добавок	0,13	0,13	0,07	0,057

рядом физических процессов, приводящих к появлению значительных растягивающих напряжений, усиливающих морозное разрушение цементного камня. К таким процессам относятся:

- резкое снижение температуры замерзания жидкости на поверхности бетона (на 9°C), вызывающее температурный шок цементного камня;

- диффузия соли в цементный камень с возникновением градиента ее концентрации;

- осмотические явления, сопровождающиеся повышением вязкости жидкой фазы и, как следствие, гидравлического давления в капиллярах цементного камня.

Образцы цементно-песчаных растворов после 4, 5 и 8 циклов замораживания-оттаивания в солевом растворе при -50°C, что в пересчете на первый метод ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» соответствовало 150, 200 и 300 циклам, испытывались на прочность при изгибе и сжатии.

Анализируемым параметром сравнительной оценки морозостойкости портландцементов являлся коэффициент морозостойкости, характеризующий отношение прочности цементно-песчаного раствора после определенного цикла замораживания-оттаивания к прочности контрольных образцов (прочность раствора до испытаний на морозостойкость).

Результаты исследований показали, что коэффициент морозостойкости ( $K_{мрз}$ ) при изгибе модифицированного портландцемента после 5 циклов замораживания-оттаивания составил 0,88, что в 2,2 раза превышало

коэффициент морозостойкости 0,4 контрольного цемента (табл. 2, 3).

После 8 циклов замораживания-оттаивания коэффициент морозостойкости модифицированного портландцемента при изгибе превышал в 3,5 раза коэффициент морозостойкости контрольного цемента и составил 0,78 против 0,22.

Что касается прочности при сжатии, то коэффициент морозостойкости ( $K_{мрз}$ ) модифицированного цемента после 5 циклов замораживания-оттаивания составил 0,87, после 8 циклов – 0,61. Коэффициент морозостойкости контрольного цемента составил 0,75 и 0,51 соответственно, что ниже на 16 и 20% по сравнению с модифицированным цементом.

При этом следует отметить, что у образцов цементно-песчаного раствора из контрольного цемента после 8 циклов замораживания-оттаивания наблюдалось значительное шелушение поверхности и выкрашивание ребер, в то время как у образцов на модифицированном цементе шелушение было значительно меньше.

Установлено, что модифицированный цемент имеет более высокое сопротивление цементного камня к трещинообразованию по сравнению с обычным цементом, о чем косвенно свидетельствует изменение отношения прочности на изгиб к прочности на сжатие (табл. 4). Данный показатель является одной из важнейших характеристик долговечности бетонных конструкций, находящихся под воздействием силовых факторов, в особенности для растянутой зоны изгибаемых элементов.

Таким образом, полученные результаты исследования показали принципиальную возможность повышения стойкости цементного камня к растягивающим напряжениям и трещинообразованию при циклическом воздействии знакопеременных температур за счет твердофазного механохимического модифицирования портландцементов на стадии помола клинкера.

**Список литературы**

1. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. 317 с.
2. Добролюбов Г.А., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. М.: Стройиздат, 1983. 212 с.
3. Батраков В.Г. Повышение долговечности бетона добавками кремнийорганических полимеров. М.: Стройиздат, 1968. 135 с.
4. Вавренюк С.В., Аликоский А.В. Механохимическое модифицирование цементно-минеральных систем нефункциональными кремнийорганическими соединениями // *Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов*. 2005. № 6. С. 19–22.
5. Вавренюк С.В., Ефименко Ю.В. Особенности карбонизации цементных систем в присутствии органических добавок // *Вестник ВолгГАСУ*. 2013. Вып. 31 (50). Ч. 2. Строительные науки. С. 56–58.
6. Хигерович М.И., Байер В.Е. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов, бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 126 с.
7. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Стройиздат, 1998. 768 с.
8. Воронков М.Г., Малетина Е.А., Роллан А.К. Гетеросилоксаны. Новосибирск: Наука, 1984. 270 с.

**References**

1. Alekseev S.N., Ivanov F.M., Modry S., Shissl' P. Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnykh sredakh [Dolgovechnost of reinforced concrete in severe atmospheres]. Moscow: Stroizdat, 1990. 317 p. (In Russian).
2. Dobrolyubov G.A., Ratinov V.B., Rozenberg T.I. Prognozirovaniye dolgovechnosti betona s dobavkami [Prediction of a longevity of concrete with additives]. Moscow: Stroizdat, 1983. 212 p. (In Russian).
3. Batrakov V.G. Povysheniye dolgovechnosti betona dobavkami kremniorganicheskikh polimerov [Increase in a longevity of concrete additives of organosilicone polymers]. Moscow: Stroizdat, 1968. 135 p. (In Russian).
4. Vavrenyuk S.V., Alikovskii A.V. Mekhanokhimicheskoye modifitsirovaniye tsementno-mineral'nykh sistem nefunktsional'nymi kremniorganicheskimi soedineniyami. *Tekhnologiya silikatnykh i tugoplavkikh nemetallicheskikh materialov*. 2005. No. 6, pp. 19–22. (In Russian).
5. Vavrenyuk S.V., Efimenko Yu.V. Osobennosti karbonizatsii tsementnykh sistem v prisutstvii organicheskikh dobavok. *Vestnik VolgGASU*. 2013. Vypusk 31 (50). Part 2. Stroitel'nye nauki, pp. 56–58. (In Russian).
6. Khigerovich M.I., Baier V.E. Gidrofobno-plastifitsiruyushchie dobavki dlya tsementov, rastvorov, betonov [Hydrophobic and plasticizing additives for cements, solutions, concrete]. Moscow: Stroizdat, 1979. 126 p. (In Russian).
7. Batrakov V.G. Modifitsirovannyye betony. Teoriya i praktika [The modified concrete. The theory and practice]. Moscow: Stroizdat, 1998. 768 p. (In Russian).
8. Voronkov M.G., Maletina E.A., Rollan A.K. Geterosilosany [Heterosilocsany]. Novosibirsk: Nauka, 1984. 270 p. (In Russian).

**IX Международная конференция**

**НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
NTC-2017**

17–21 марта 2017 г.

Шарм-эль-Шейх, Египет

**Организаторы конференции**

Национальный исследовательский центр жилья и строительства (НБРС)  
Египетско-российский университет (ERU)  
Ижевский государственный технический университет  
им. М.Т. Калашникова  
Египетский союз инженеров



**Тематика конференции**

- Нанокompозиты в строительных материалах
- Нанотехнологии в строительстве
- Защита от пожара с помощью наночастиц
- Нанотехнологии в кондиционировании воздуха
- Наноструктурирующие материалы в архитектуре
- Производство лакокрасочных материалов с нанодобавками
- Нанотехнологии стекол и керамики
- Нанотехнологии для энергоэффективности в зданиях
- Моделирование нанокompозитов
- Модификация минеральных вяжущих наносистемами

Информационная поддержка – журнал «Строительные материалы»®



Сайт конференции: [http://inter.istu.ru/russian/nano\\_r.html](http://inter.istu.ru/russian/nano_r.html)

**Контактная информация в России**  
Профессор Григорий Иванович Яковлев  
ИжГТУ им. М.Т. Калашникова  
426069 Ижевск, ул. Студенческая, 7  
E-mail: gyakov@istu.ru  
Тел.: 8-9128566688. Факс: +(3412)59 25 55

**Контактная информация в Египте**  
Профессор Шериф Солиман Хелми  
Египетско-российский университет  
Cairo High Road, Bard City-Suez  
E-mail: president@eruegypt.com  
Тел.: +20(02)28643349, (02)28643341. Факс: +20(02)28643332

УДК 666.972.16: 54.666.9.015.424

А.Н. ГРИШИНА, канд. техн. наук (GrishinaAN@mgsu.ru), Е.В. КОРОЛЕВ, д-р техн. наук (KorolevEV@mgsu.ru)  
 Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

## Особенности химического состава продуктов осаждения гидросиликатов натрия\*

Представлены данные по анализу кристаллических продуктов осаждения растворов гидросиликатов натрия растворами солей различных металлов. Показаны особенности химического состава кристаллических продуктов осаждения: при использовании солей щелочземельных металлов наблюдается образование карбоната металла, поэтому при синтезе гидросиликатов щелочных металлов целесообразно избегать интенсивного перемешивания смеси и воздухововлечения; при использовании амфотерных металлов карбонизации не наблюдается, а химический состав продуктов определяется видом используемого металла. Величина pH среды синтеза при использовании солей амфотерных металлов не оказывает влияния на степень закристаллизованности получаемых гидросиликатов, однако образуются кристаллические продукты с различным содержанием связанной воды. Проведение синтеза при кислых значениях pH позволяет получить большее количество продукта и синтезировать вещество, не содержащее в составе натрия.

**Ключевые слова:** модификаторы, бетоны, осаждение, кристаллические продукты, рентгенофазовый анализ.

A.N. GRISHINA, Candidate of Sciences (Engineering) (GrishinaAN@mgsu.ru), E.V. KOROLEV, Doctor of Sciences (Engineering) (KorolevEV@mgsu.ru)  
 National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Features of Chemical Composition of Subsidence Products of Sodium Hydrosilicates\*

Data on the analysis of crystalline products of the subsidence of sodium hydrosilicate solutions with the solutions of salts of various metals are presented. Features of the chemical composition of subsidence crystalline products are shown: when using the salts of alkali-earth metals, the formation of a metal carbonate is observed that's why in the course of the synthesis of hydrosilicates of alkali metals, it is reasonable to avoid the intensive agitation of the mix and air-entrainment; when using amphoteric metals, the carbonization is not observed and the chemical composition of products is determined by the type of the metal used. The pH value of the synthesis medium when using amphoteric metals don't influence on the degree of crystallinity of hydrosilicates obtained, but crystalline products with different content of combination water are formed. Conducting the synthesis at acid values of pH makes it possible to obtain a large amount of the product and synthesize the substance not containing sodium.

**Keywords:** modifiers, concretes, crystalline products, X-ray phase analysis.

Современный бетон является сложной технической системой, управление параметрами (структура и свойства) которой в основном осуществляют посредством применения различных модификаторов. Результаты научных исследований и практика использования этого инструментария управления структурообразованием продемонстрировали его эффективность и целесообразность применения начиная с 50-х гг. XX в. [1]. Одним из направлений модифицирования портландцемента является введение добавок [2–5], уменьшающих в вяжущем содержание основного часто дорогостоящего компонента — цементного клинкера — без потери физико-механических и эксплуатационных свойств получаемых искусственных камней, а также для придания материалу дополнительных заданных свойств, в том числе и специальных.

Одним из модификаторов, который рекомендуют использовать для регулирования свойств цементных, известковых и гипсовых вяжущих, являются гидросиликатные соединения [6–11]. Синтез таких модификаторов обычно осуществляют введением в растворы гидросиликатов натрия водных растворов солей различных металлов. Продукты осаждения отфильтровывают и промывают дистиллированной водой, в некоторых случаях продукты осаждения не промывают или промывают частично для получения добавок, содержащих соли натрия, например [7, 8]. При этом необходимо отметить, что продукты осаждения, которые, в сущности, применяются в качестве модификатора, имеют сложный химический состав, содержащий кроме гидросиликатов соответствующих металлов дополнительные соединения, способные оказывать влияние на гидратацию

портландцемента и структурообразование цементного камня и других вяжущих.

Химический состав продуктов осаждения определяет эффективность их применения в составе вяжущих и особенности процессов их твердения. Безусловно, содержание осадителя оказывает влияние на состав продуктов осаждения, но в целом только на количественное соотношение. Принципиальное влияние на состав продуктов осаждения оказывает вид используемого осадителя. В частности, изменяется соотношение аморфной и кристаллической фаз, а также состав кристаллической фазы. Основным механизмом влияния продуктов осаждения гидросиликатов натрия на процессы твердения вяжущих является связывание гидроксида кальция аморфной фазой модификатора в гидросиликаты кальция. Это реализуется в цементных и известковых системах [6–8, 10, 11]. Влияние кристаллической фазы на твердение и эксплуатационные свойства искусственного камня определяется ее составом. Поэтому важным является количество аморфной фазы в модификаторе и состав кристаллической фазы.

Для синтеза модификаторов, применяемых в вяжущих общестроительного назначения, обычно используют соли кальция, позволяющие получать гидросиликаты кальция или соли алюминия. Для получения вяжущих специального назначения используют гидросиликаты металлов, придающих специфические свойства цементному камню. Так, для создания радиационно-защитных вяжущих используют гидросиликаты бария, а для синтеза биоцидных вяжущих — гидросиликаты меди и (или) цинка. Оценку состава кристал-

\* При поддержке гранта Президента РФ МК-8575.2016.8.

\* Under support of the RF President Grant МК-8575.2016.8.



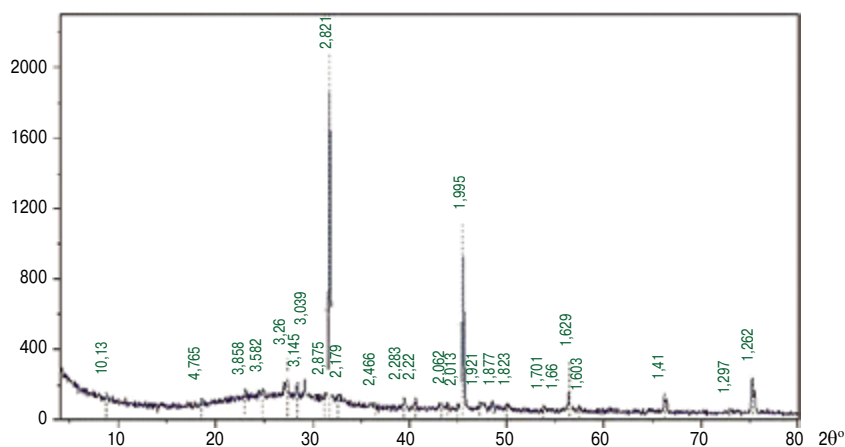


Рис. 1. Рентгенограмма продуктов осаждения гидросиликатов натрия раствором хлорида кальция [7]

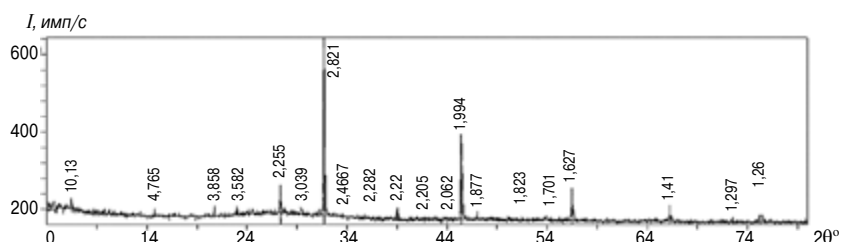


Рис. 2. Рентгенограмма продуктов осаждения гидросиликатов натрия 15% раствором хлорида кальция в количестве 50% от массы гидросиликатов натрия [10]

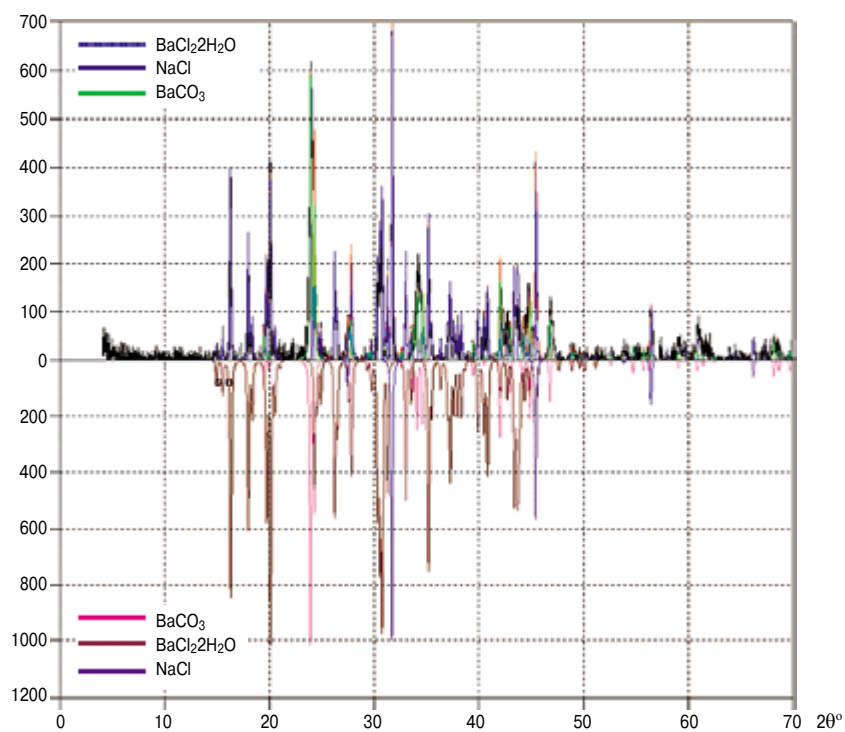


Рис. 3. Рентгенограмма продуктов взаимодействия растворов гидросиликатов натрия и хлорида бария [6]

лической фазы целесообразно проводить методом рентгенофазового анализа, так как состав аморфной фазы представлен в основном гидросиликатами металлов (в случае использования солей амфотерных металлов вид получаемого продукта определяется технологией синтеза).

Следует отметить, что кальций и барий являются щелочно-земельными металлами, их оксиды проявляют только основные свойства. Поэтому они присутствуют только в катионной форме. Так, в случае использования для осаждения хлорида кальция образуется кристаллический карбонат кальция в виде арагонита и кальцита [9]. В случае, когда осадок не отмывается от хлорида натрия, он кристаллизуется на поверхности продукта осаждения (рис. 1, 2). При этом идентифицировать другие продукты осаждения крайне сложно, так как основные отклики на рентгенограмме принадлежат галиту (2,82; 1,99; 1,26; 1,63; 1,41 и 3,25 Å). Отклики кальцита прослеживаются слабо (3,03; 1,87; 1,91 и 2,28 Å). Присутствие солей натрия является нежелательным в составе вводимых в вяжущие модификаторов (кроме случаев, когда это предусмотрено рецептурой материала), так как они являются водорастворимыми, а также способны вызвать преждевременное разрушение цементных бетонов при протекании щелочно-силикатных и щелочно-карбонатных реакций и растрескивание известковых штукатурок при выкристаллизации солей натрия.

При осаждении гидросиликатов натрия раствором хлорида бария также наблюдается карбонизация продуктов осаждения, присутствуют хлорид бария и хлорид натрия (рис. 3).

Таким образом, использование растворов солей щелочно-земельных металлов для осаждения гидросиликатов натрия приводит к дополнительному образованию карбонатов щелочно-земельных металлов, что изменяет расчетное соотношение  $\nu(\text{Ca}/\text{Ba})/\nu(\text{Si})$ . Поэтому при синтезе гидросиликатов таких металлов необходимо избегать интенсивного перемешивания и воздухововлечения. Кроме того, продукт осаждения требует тщательной отмывки от водорастворимых солей.

При использовании солей цинка, меди и алюминия следует учитывать, что они образованы амфотерными металлами. При этом цинк и медь являются *d*-элементами, алюминий – *p*-элемент, обладающий более выраженными амфотерными свойствами. Амфотерные металлы в зависимости от pH среды проявляют кислотные или основные свойства. При синтезе гидросиликатов меди и цинка для предотвращения образования цинкатов и купратов натрия растворы солей меди и цинка использовали в достаточном количестве для получения кислых растворов. Так, при  $\nu(\text{Cu})/\nu(\text{Si})=1$  при синтезе pH составлял 4,68, а при  $\nu(\text{Zn})/\nu(\text{Si})=1$  – pH=6. Это позволяет получать модификаторы, содержащие указанные металлы в катионной форме, что является целесообразным по следующим причинам: в случае образования цинкатов и купратов натрия возрастает опасность превышения в вяжущем содержания щелочных металлов, кроме того, в щелочной сре-

де при  $pH \geq 9$  наблюдается деполимеризация кремниевой кислоты, что может вызвать уменьшение количества продукта осаждения. Рентгенограммы продуктов осаждения представлены на рис. 4, а, б.

Анализ рис. 4, а показывает, что продукт осаждения гидросиликатов натрия раствором сульфата меди (II) представлен аморфной фазой и кристаллической фазой в виде  $Cu_4(SO_4)(OH)_6$  (3,91; 2,69; 2,52; 6,39; 5,43 и 3,92 Å). А при использовании для осаждения раствора ацетата цинка (II) содержание аморфной фазы существенно выше, кристаллическая фаза представлена ацетатом натрия и карбонатом натрия, которые требуют более тщательного удаления при промывании осадка. Следует отметить, что при использовании солей указанных металлов не происходит карбонизации амфотерных металлов, что позволяет получить большее количество аморфных гидросиликатов.

При использовании в качестве осадителя сульфата алюминия по технологии осаждения, представленной в [8], также образуется продукт осаждения, который нуждается в промывании для удаления водорастворимого сульфата натрия – тенардита (2,79; 4,66; 2,65; 3,18; 1,86; 3,08; 2,33; 1,68; 4,55 и 3,86 Å) (рис. 5). Отсутствие других кристаллических фаз подтверждается количественным анализом продуктов осаждения гидросиликатов натрия раствором сульфата алюминия (рис. 6) [8].

В работе [12] предлагается варьировать pH раствора при осаждении гидросиликатов натрия раствором сульфата алюминия, при этом исследуется состав полученного продукта методом рентгенофазового анализа. Технологии синтеза приведены в [12]. Анализ представленных рентгенограмм показывает, что кристаллическая фаза при увеличении pH до 10 представлена не только  $Na_2SO_4$  в форме тенардита (2,78; 4,65; 3,17; 1,86; 3,08; 2,33; 1,68 и 1,55 Å), но и  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$  в форме мирабилита (5,47; 4,76; 3,2; 3,25; 3,82 и 3,1 Å).

В работе [7] предлагается использовать для осаждения гидросиликатов натрия два раствора – сульфат алюминия и хлорид кальция. Следует отметить, что указанные вещества химически взаимодействуют между собой с образованием сульфата кальция, поэтому их совместное использование приводит к удалению кальция из смеси и, соответственно, к уменьшению количества гидросиликатов кальция. Кристаллическими продуктами осаждения при этом являются хлорид натрия, двуводный сульфат кальция и шестиводный хлорид алюминия. Известно [13], что соли алюминия оказывают влияние на процесс гидратации портландцемента, поэтому использование добавок, содержа-

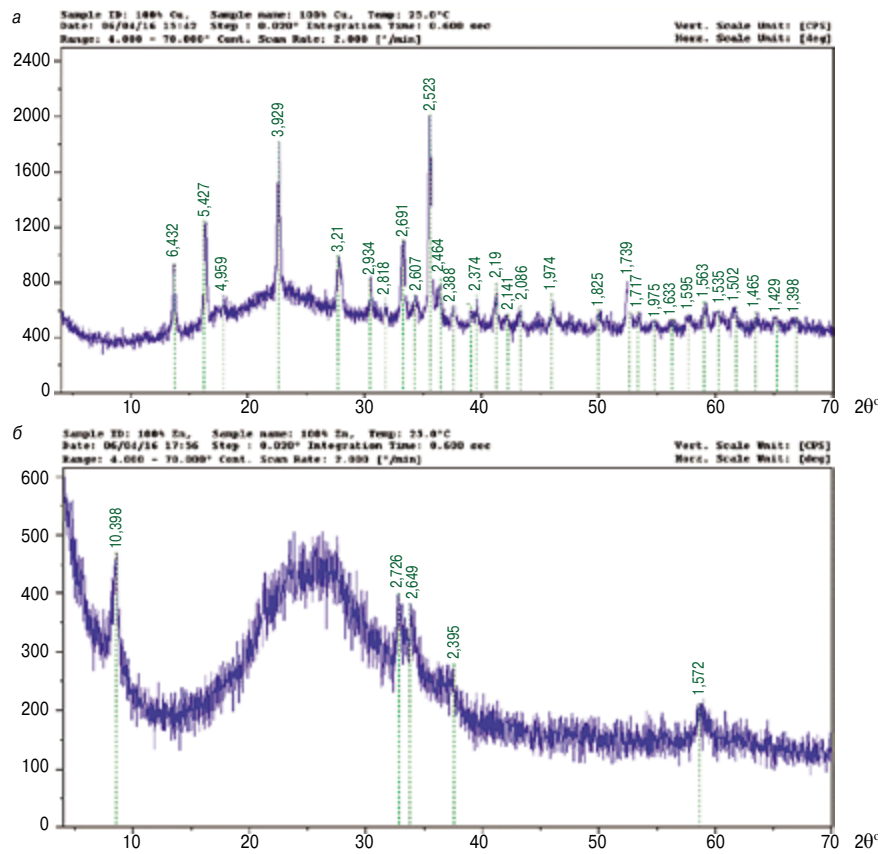


Рис. 4. Рентгенограмма продуктов осаждения гидросиликатов натрия раствором: а – сульфата меди (II), б – ацетата цинка (II)

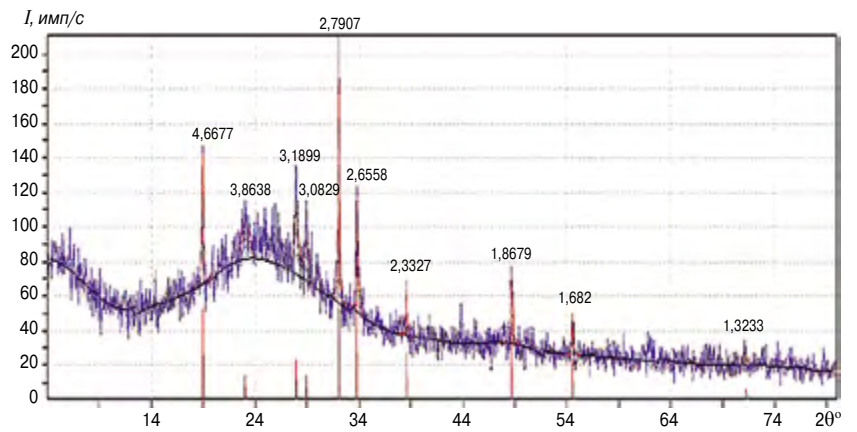


Рис. 5. Рентгенограмма продуктов осаждения гидросиликатов натрия раствором сульфата алюминия [8]

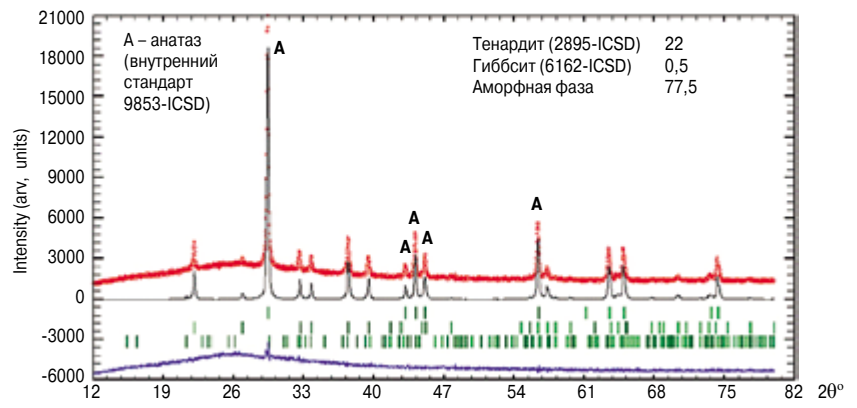


Рис. 6. Рентгенограмма количественного анализа продуктов осаждения гидросиликатов натрия раствором сульфата алюминия [8]

ших водорастворимые соли алюминия, имеет ограничения.

Таким образом, заключим, что аморфные гидросиликаты образуются при использовании солей как щелочно-земельных, так и амфотерных металлов. Однако при использовании солей щелочно-земельных металлов происходит частичная карбонизация продукта взаимодействия, что является нежелательным, так как приводит к уменьшению количества гидросиликатов металлов. Поэтому при их синтезе необходимо избегать карбонизации продуктов осаждения — избегать интенсивного перемешивания и воздухововлечения.

**Список литературы**

1. Ушеров-Маршак А.В. Современный бетон и его технологии // *Бетон и железобетон*. 2009. № 2. С. 20–25.
2. Архипов В.П., Вернигорова В.Н., Гакштетер Г.В., Горшкова Л.В., Елесин М.А., Ермаков Д.А. и др. Эффективные высокопрочные и обычные бетоны / Под общ. ред. В.И. Калашникова. Пенза: Приволжский дом знаний, 2015. 148 с.
3. Рахимов Р.З. Пути снижения цементоемкости строительной продукции // *Популярное бетоноведение*. 2008. № 7 (21). С. 24–28.
4. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. М.: МГСУ, 2013. 204 с.
5. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Шахова Л.Д. Техногенные продукты в производстве сухих строительных смесей. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010. 168 с.
6. Сатюков А.Б. Наномодифицированное композиционное вяжущее для специальных строительных растворов. Дисс... канд. техн. наук. М., 2015. 228 с.
7. Логанина В.И., Макарова Л.В., Сергеева К.А. Применение добавки на основе гидросиликатов кальция в сухих строительных смесях // *Сухие строительные смеси*. 2012. № 1. С. 16–17.
8. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Жерновский И.В., Садовникова М.А. Структура и свойства синтезированных алюмосиликатов // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 87–89.
9. Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Супонина А.П., Крысенко Г.Ф., Буланова С.Б., Колзунов В.А., Баринов Н.Н. Гидрохимический синтез гидросиликатов кальция в системах  $\text{CaCl}_2\text{--Na}_2\text{SiO}_3\text{--H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O--Na}_2\text{SiO}_3\text{--H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O--SiO}_2\text{--H}_2\text{O--KOH}$ . Состав, структура, свойства // *Вестник ДВО РАН*. 2009. № 2. С. 30–33.
10. Логанина В.И., Пышкина И.С. Известковое композиционное вяжущее с применением синтезированных гидросиликатов кальция // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2014. № 6. С. 29–32.
11. Садовникова М.А., Жегера К.В. Применение синтетических цеолитов в качестве модифицирующей добавки в рецептуре цементных и известковых сухих строительных смесей // *Региональная архитектура и строительство*. 2016. № 1. С. 68–73.
12. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Макарова Л.В., Садовникова М.А. Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением синтетических цеолитов // *Известия вузов. Строительство*. 2013. № 4. С. 37–42.
13. Илясов А.Г., Медведева И.Н., Корнеев В.И. Гидратация поргидроксида алюминия в присутствии добавки аморфного гидроксида алюминия // *Журнал прикладной химии*. 2006. Т. 79. № 2. С. 347–348.

При осаждении гидросиликатов натрия растворами амфотерных металлов величина рН не оказывает влияния на степень закристаллизованности гидросиликатов, однако образуются кристаллические продукты с различным содержанием связанной воды. Для получения гидросиликатов амфотерных металлов синтез целесообразно проводить при кислых значениях рН, что позволяет получить большее количество продукта и синтезировать вещество, не содержащее в составе натрий. Кроме того, продукты осаждения гидросиликатов натрия необходимо тщательно отмывать от водорастворимых солей.

**References**

1. Usherov-Marshak A.V. Modern concrete and its technologies. *Beton i zhelezobeton*. 2009. No. 2, pp. 20–25. (In Russian).
2. Arkhipov V.P., Vernigorova V.N., Gaksheter G.V., Gorshkova L.V., Elesin M.A., Ermakov D.A. and all. Effektivnye vysokoprochnye i obychnye betony [Effective high-strength and usual concrete] / Edited by V.I. Kalashnikov. Penza: Privolzhskii Dom znani. 2015. 148 p.
3. Rakhimov R.Z. Ways of decrease in amount of cement in construction products. *Populyarnoe betonovedenie*. 2008. No. 7 (21), pp. 24–28. (In Russian).
4. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V. Ctruktura i svoystva betonov s nanomodifikatorami na osnove tekhnogennykh otkhodov [Structure and properties of concrete with nanomodifiers on the basis of technogenic waste]. Moscow: MGSU. 2013. 204 p.
5. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Shakhova L.D. Tekhnogennye produkty v proizvodstve sukhikh stroitel'nykh smesei [Technological products in production of dry construction mixes]. Belgorod: BG TU. 2010. 168 p.
6. Satyukov A. B. The nanomodified composite astringent for special construction solutions. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2015. 228 p. (In Russian).
7. Loganina V.I., Makarova L.V., Sergeeva K.A. Use of additive on the basis of calcium hydrosilicates in dry construction mixes. *Sukhie stroitel'nye smesi*. 2012. No. 1, pp. 16–17. (In Russian).
8. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Zhernovskiy I.V., Sadovnikova M.A. Structure and properties of synthesised aluminosilicates. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 87–89.
9. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Suponina A.P., Krysenko G.F., Bulanova S.B., Kolzunov V.A., Barinov N.N. Hydrochemical synthesis of hydrosilicates of calcium in the systems  $\text{CaCl}_2\text{--Na}_2\text{SiO}_3\text{--H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O--Na}_2\text{SiO}_3\text{--H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O--SiO}_2\text{--H}_2\text{O--KOH}$ . Structure, properties. *Vestnik DVO RAN*. 2009. No. 2, pp. 30–33. (In Russian).
10. Loganina V.I., Pyshkina I.S. Limy composite binder with use of the synthesized calcium hydrosilicates. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2014. No. 6, pp. 29–32. (In Russian).
11. Sadovnikova M.A., Zhegera K.V. Use of synthetic zeolites as the modifying additive in a compounding of cement and limy dry construction mixes. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2016. No. 1, pp. 68–73. (In Russian).
12. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Makarova L.V., Sadovnikova M.A. Rheological properties limy composite with use of synthetic zeolites. *Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo*. 2013. No. 4, pp. 37–42. (In Russian).
13. Piyasov A.G., Medvedeva I.N., Korneev V.I. Hydration of a cement in the presence of additive of amorphous hydroxide of aluminum. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2006. Vol. 79. No. 2, pp. 347–348. (In Russian).



УДК 691.175

А.А. КУСТОВ, инженер (AlexeyKustov@outlook.com),  
А.М. ИБРАГИМОВ, д-р техн. наук (lgasu\_alex@mail.ru)

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

# Методики и результаты натурных испытаний технических тканей с покрытием.

## Часть 1. Обзор проведенных исследований

Представлены современные методики и результаты испытаний технических тканей с покрытием. Рассмотрены отечественные и зарубежные стандарты, регламентирующие и описывающие натурные испытания материала. Показаны результаты исследований поведения материала при различных натурных испытаниях в разных странах. В некоторых испытаниях материала представлено сравнение методик между зарубежными стандартами. Рассмотрены следующие виды испытаний – одноосное, двухосное и неосевое растяжение, влияние циклических и температурных нагрузок, а также учет ползучести и релаксации в материале. Приведены данные об исследовании тензометрии технической ткани с покрытием.

**Ключевые слова:** техническая ткань с покрытием, методики натурных испытаний.

A.A. KUSTOV, Engineer (AlexeyKustov@outlook.com),  
A.M. IBRAGIMOV, Doctor of Sciences (Engineering) (lgasu\_alex@mail.ru)  
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Procedures and Results of Full-Scale Tests of Technical Fabrics with Coating. Part 1. Review of Conducted Studies

Modern procedures and results of tests of technical fabrics with coating are presented. Russian and foreign standard, which regulate and describe the full-scale tests of the material are considered. Results of the study of the material behavior at various field tests in different countries are shown. For some tests of the fabric a comparison of procedures among the foreign standards is presented. The work consists of two parts. The first part presents the following types of test: uniaxial, biaxial, and non-axial tension, impact of cyclic and temperature loads as well as consideration of creep and relaxation in the fabric. Data on the investigation of tensometry of the technical fabric with coating are given.

**Keywords:** technical fabric with coating, procedures of field tests.

Основным исследованием поведения технических тканей с покрытием являются различные натурные испытания для определения ключевых параметров материала. Существуют и постоянно разрабатываются нормативные документы, регламентирующие и описывающие проведения этих исследований. Обычно стандарты рассматривают испытания на один или два вида совместно действующих факторов. Однако в реальных условиях на конструкции и сооружения, выполненные из технической ткани с покрытием, как правило, воздействует немалое количество нагрузок и факторов, связанных также и со специфическими свойствами самого материала.

При испытаниях технической ткани с покрытием существует несколько методик определения напряженно-деформированного состояния материала. Одним из самых распространенных является метод определения напряжений с помощью специальных приборов – тензометров. В настоящее время применяются и другие методы. В работе [1] для определения деформаций был использован метод корреляции цифровых изображений (Digital image correlation), с помощью которого можно измерить поля деформаций и напряжений, а также формы поверхности. Для испытаний необходимо использовать как минимум одну ССD-видеокамеру и специализированное программное обеспечение для выдачи результатов исследования. Если необходимы измерения деформаций в трехмерном пространстве, используют систему из двух и более ССD-видеокамер. В работе [2] была показана возможность бесконтактной тензометрии материала, основанная на обработке цифровых изображений с помощью машинной графики программы Autocad.

#### Методики натурных испытаний технических тканей с покрытием

До начала проведения испытаний технических тканей с покрытием необходимо:

- выполнить метрологическую проверку измерительных приборов;
- отобрать образцы в соответствии с требованиями, установленными в стандартах.

Независимо от вида и назначения материалов определяется масса  $1 \text{ м}^2$ , ширина и длина рулона. Для определения этих параметров разработан общий международный стандарт BS ISO 2285:2013 (в трех частях).

#### Испытания на разрывную нагрузку (одноосное растяжение)

Одноосные испытания являются одними из главных испытаний технической ткани с покрытием для определения прочности материала в направлениях основы и утка. Обычно в результате именно этих испытаний определяется и заносится в техническую документацию на материал предельная прочность при растяжении.

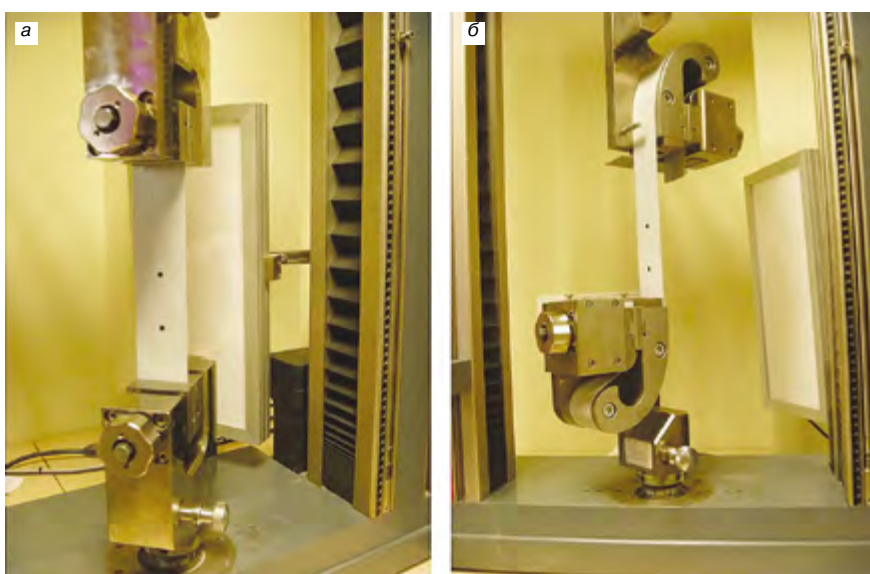
Испытания технической ткани с покрытием при одноосном растяжении (на разрывную нагрузку) проводят в соответствии со стандартом ГОСТ 30303–95 «Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение разрывной нагрузки и удлинения при разрыве», полностью соответствующим (аутентичным) международному стандарту BS EN ISO 1421:1998.

Согласно данному ГОСТ 30303–95 испытания могут проводиться с использованием следующих типов машин:

- с постоянной скоростью нагружения;
- с постоянной скоростью траверсы;
- с постоянной скоростью удлинения образца.

Также существует нормативный документ ГОСТ 29104.4–91 «Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве», регламентирующий проведение испытаний при одноосном растяжении материала.

Образцы технической ткани с покрытием для экспериментов подготавливаются определенным образом, проводится по пять испытаний материала в направлении основы и утка. Обычно рабочие размеры образцов принимают 200×50 мм. Для особо прочных тканей допускается использовать размеры материала 200×25 мм с последующим пересчетом результатов на ширину 50 мм. Экспериментальное оборудование для испытания технической ткани с покрытием при одноосном растяжении представлено на рис. 1. В ГОСТ 30303–95 и 29104.4–91 приведена необходимая информация для проведения одноосных испытаний технических тканей с покрытием при нормальной внешней температуре и влажности, однако существуют неконцептуальные различия между документами в части проведения эксперимента.



**Рис. 1.** Разрывная машина для испытания при одноосном растяжении материала: а – с плоскими захватами «flat grips»; б – с изогнутыми захватами «curved grips» (рис. из [3])

Европейские нормативные документы, регламентирующие испытания технических тканей с покрытием при одноосном растяжении, представлены следующими стандартами – BS EN ISO 1421:1998, BS 3424-21:1993, BS 3424-21:1993.

Американский стандарт ASTM D751–06 содержит все необходимые методы для полного изучения технических тканей с покрытием. Он регламентирует и включает в себя: методы определения размеров и массы материала, методы оценки прочности при разрыве, продавливания, проколе и деформации образцов, методы оценки прочности материала на раздир и др. В стандарте описано испытательное оборудование, подготовка образцов, а также сама процедура эксперимента и представлена необходимая информация, которую следует занести в отчет.

Основные различия между европейскими и американскими стандартами по испытанию технической ткани с покрытием при одноосном растяжении приведены в табл. 1.

**Испытания на разрывную нагрузку (двухосное растяжение)**

Нормативные документы, регламентирующие и описывающие испытания на двухосное растяжение технических тканей с покрытием, следующие: японский стандарт MSAJ/M-02:1995; американский стандарт ASCE/SEI55-10; европейское руководство по проектированию [4]. К сожалению, в настоящее время отсутствуют российские стандарты по испытаниям на двухосное растяжение, что влечет за собой необходимость в разработке такого документа.

В статье [5] проводится сравнение результатов испытаний при двухосном растяжении материала, проведенных по японскому стандарту MSAJ/M-02:1995 и европейской рекомендации [4]. Далее вычисляются напряжения и деформации в мембранной конструкции, основываясь на параметрах, определенных с помощью этих нормативных документов. Результаты сведены в таблицу, где показана разница между напряжениями и деформациями, в среднем составляющая 15–20%.

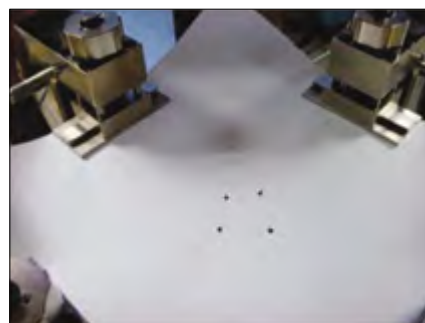
Можно сделать вывод, что разные нормативные документы, регламентирующие одно и то же испытание, могут давать различные значения параметров, которые в дальнейшем ис-

**Таблица 1**

	BS EN ISO 1421:1998	ASTM D751-06
Скорость испытания	100 мм/мин	300 мм/мин
Ширина образца	50 мм	100 мм
Расстояние между захватами	100 или 200 мм	75 мм
Тип захвата (в основном методе испытания)	Strip	Grab



**Рис. 2.** Испытания технической ткани с покрытием при двухосном растяжении – два варианта исполнения образцов материала: а – без надрезов, б – с надрезами (рис. из [6])



**Рис. 3.** Квадратный образец для испытания 400×400 мм (рис. из статьи [7])

пользуются при проектировании конструкций и сооружений, выполненных из технической ткани с покрытием. Это обстоятельство необходимо учитывать инженерам при проектировании.

Согласно некоторым работам, например [6], испытания обычно проводятся при определенных размерах и двух вариантах исполнения образцов (рис. 2). Общие габаритные размеры экземпляра, из которого будет вырезан образец, составляют 400×400 мм. Далее вырезают крест с исследуемой площадью в центре размером 100×100 мм, ширина «руки» креста – 100 мм. Расстояние между захватами испытательного оборудования – 300 мм. По 50 мм с каждой стороны необходимо для захватов испытательной машины. Надрезы в материале, показанные на рис. 2, б (по пять полос на каждой стороне), делают для того, чтобы избежать влияния поперечной деформации и краевого эффекта («пиков» напряжений) в углах технической ткани с покрытием при испытании.

Двухосные испытания обычно выполняют с различным соотношением нагрузки в направлении основы и утка. Этот коэффициент чаще всего выбирают: 1:8, 1:4, 1:2, 1:1, 2:1, 4:1 и 8:1.

Возможно еще несколько вариантов образцов материала: квадрат с размерами 400×400 мм (рис. 3), цилиндр диаметром от 150 до 400 мм, круг диаметром 500 мм или широкая прямоугольная полоса с эффектом «стесненного растяжения».

Однако различные виды образцов материала, так же как и различные типы захвата испытательной машины, дают различные результаты. Следует всегда уточнять, какой вид образца был исследован и какие виды захватов были использованы. Достоинства и недостатки разных типов образцов представлены в табл. 2.

В работе [8] сделан вывод, что максимальное значение приложенной нагрузки, а также соотношения усилий в направлении основы и утка при двухосных испытаниях существенно влияют на определение параметров материала, таких как модуль упругости и коэффициент Пуассона, которые определяют экспериментальными методами. Следовательно, для более полного изучения поведения технической ткани с покрытием и созданием математической (численной) модели материала необходимо проводить комплексные исследования технической ткани с

покрытием, включающие различные серии испытаний с разными исходными параметрами нагрузок.

Двухосные испытания технических тканей с покрытием являются одним из основных видов исследования поведения материала в сооружении. Напряженно-деформированное состояние мягких оболочечных конструкций в большой степени является именно двухосным. Поэтому анализ поведения материала в двухосном напряженно-деформированном состоянии под воздействием различных видов нагрузок показывает реальную работу технической ткани с покрытием в таких сооружениях.

**Испытания на разрывную нагрузку (внеосевое растяжение)**

В работе [9] были исследованы два типа преднапряженных (preconstraint) технических тканей с покрытием. Проведены серии одноосных испытаний на растяжение материала в разных направлениях (0°, 5°, 15°, ..., 85°, 90°) и с разными скоростями нагружения (10, 25, ..., 500 мм/мин). Рассмотрены модели и механизмы разрушения материала с учетом различных направлений и скоростей. Результаты показали, что преднапряженная техническая ткань с покрытием является типичным анизотропным материалом. С увеличением поворота внеосевого угла испытания прочность материала уменьшается, а удлинение при разрыве увеличивается. Эксперименты показывают три основные модели разрушения: вытягивание нитей, разрыв нитей и комбинация из этих разрушений. С увеличением скорости нагружения прочность на растяжение увеличивается, в то время как деформации в материале уменьшаются.

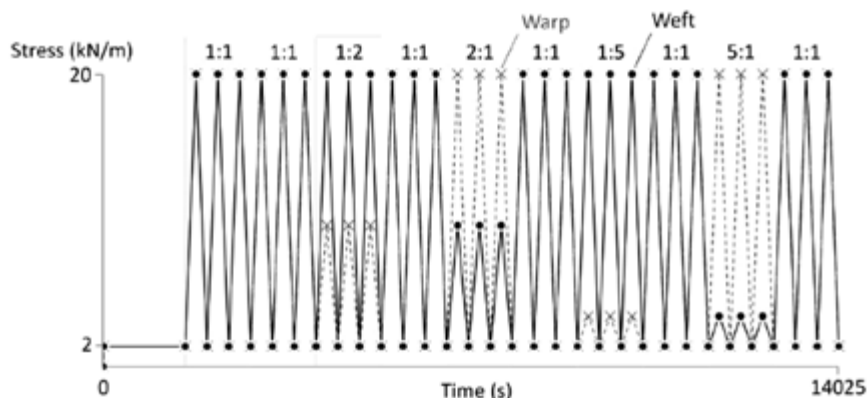
В работе [10] проведены аналогичные исследования, только скорость нагружения материала была постоянной. Рассматривалась обычная техническая ткань с покрытием из поливинилхлорида. Сказано, что материал является ортотропным и упругим, когда нагрузка не превышает 20% от предельной. Это информация может быть полезной при определении модуля упругости при двухосных испытаниях на растяжение. Выявленные модели разрушения материала и общие выводы по испытаниям совпадают с заключениями, сделанными в [9].

В работе [11] был проведен анализ эффектов, возникающих при одновременном воздействии комбинации

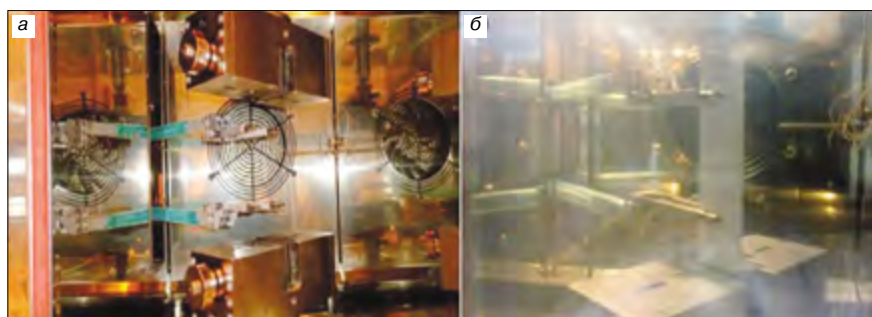
**Таблица 2**

	Достоинства	Недостатки	Примечание
Крестообразный образец	– позволяет получать однородные и неоднородные деформированные состояния при любых степенях двухосности; – свободная доступность для измерения удлинений и изменения толщины материала	Краевой эффект в углах креста	Необходимо применять специальные меры борьбы с краевым эффектом: делать радиусы закругления в углах материала и/или разрезать на полоски стороны креста
Плоский диск	–	– сложность измерения удлинений в направлении основы и утка; – неоднородность напряженно-деформированного состояния; – влияние краевого эффекта в районе зажимов	–
Широкая прямоугольная полоса	–	– невозможность получения напряженно-деформированных состояний, близких или равных симметричному	–
Цилиндрический образец	Можно получить практически все виды растяжения, от одноосного до симметричного двухосного	– сравнительно большой расход материалов и трудозатрат на изготовление; – большая трудоемкость испытаний цилиндрических образцов	–





**Рис. 4.** Пример протокола испытания технической ткани с покрытием на двухосное растяжение по японскому стандарту MSAJ/M-02:1995



**Рис. 5.** Лабораторный стенд для испытания технической ткани с покрытием при одноосном растяжении при различной температуре: а – до испытания; б – во время испытания (рис. из [13])

ции из осевых и сдвиговых нагрузок или в определенной последовательности приложения этих воздействий. Результаты показали, что существует реальное взаимодействие между осевыми и сдвиговыми деформациями, которые оказывают сильное влияние на сдвиговую (поперечную) жесткость материала, но для продольной жесткости влияние минимально. Также было установлено, что появляются небольшие растягивающие напряжения в нитях при нагрузках, которые вызывают только сдвиговые деформации в материале. Установлено, что деформации сдвига незначительно влияют на осевые напряжения, возникающие в нитях.

Нормативные документы, регламентирующие данный вид исследований, отсутствуют.

**Влияние циклических нагрузок на материал**

В статье [12] путем серии натурных экспериментов исследованы механические характеристики технической ткани с покрытием, изготовленной по технологии Precontraint (Serge Ferragi). Были проведены испытания при внеосевом растяжении, при одноосном и двухосном растяжении с циклическим нагружением, а также исследовано влияние температуры на материал. Выявленные различия между свойствами в направлении основы и утка были объяснены спецификой использованной технологии изготовления технической ткани с покрытием. Установлено, что под воздействием циклических нагрузок остаточные деформации после первого цикла нагружения наибольшие. С ростом количества циклов приращение остаточных деформаций уменьшается и кривая на графике напряжения – деформации материала выравнивается. Материал без начальных воздействий считается нелинейным и вязкоупругим, однако после приложения циклических нагрузок техническая ткань с покрытием ведет себя ближе к линейному материалу и жесткость заметно увеличивается.

В [7] также исследовано влияние циклических нагрузок на материал. В работе выполнены одноосные и

двухосные испытания (только с соотношением нагрузок по основе и утку 1:1) на растяжение с циклическими нагрузками. Было рассмотрено семь вариантов приложения циклического воздействия, которые прикладывались при разных напряжениях в материале (от 10 до 75 МПа). Для каждого случая приведены графики напряжения – деформации, которые наглядно демонстрируют влияние циклических нагрузок на изменение продольной жесткости материала. Следовательно, данная особенность технической ткани с покрытием должна быть учтена при проектировании конструкций из этого материала.

Нормативные стандарты, описывающие проведения испытаний для технических тканей с покрытием с воздействием циклических нагрузок, отсутствуют. Однако в нормативном стандарте Японии MSAJ/M-02:1995 при испытании материала при двухосном растяжении выполняется несколько циклов загрузки материала согласно рис. 4.

**Влияние температурной нагрузки**

В работе [13] исследовано влияние температуры на механические свойства технической ткани с покрытием при одноосных испытаниях на растяжение. Использовались восемь температурных значений в диапазоне от -30 до +70°C, при которых проводилось исследование. Испытание велось до разрушения образца. На рис. 5 показан лабораторный стенд для проведения испытаний. Выявлено, что при повышении температуры предел прочности на растяжение материала уменьшается, а при низкой температуре повышается. Различия между пределами прочности на растяжение для минимальной и максимальной температуры отличаются приблизительно на 20% в направлении основы и на 30% в направлении утка. Также продольная жесткость увеличивается с уменьшением температуры, и наоборот – уменьшается при повышении температуры. В статье сказано о возможности использования для описания поведения материала конструктивную модель «The dense net model» совместно с «Murnaghan model». Необходимые параметры для «Murnaghan model» были найдены из испытаний. Приводятся аналитические уравнения для определения напряжений и деформаций в материале, учитывающие температурные воздействия.

Исследованию влияния температурных нагрузок на техническую ткань с покрытием посвящена работа [14]. Выводы аналогичны предыдущей статье. Отмечено, что при повышении температуры деформации материала при разрыве увеличиваются, что соответствует свойствам полимерных материалов.

Нормативных документов, регламентирующих одноосные и двухосные испытания при растяжении с различной температурой, в принципе, не требуется. Исследования проводятся аналогично экспериментам при одноосном и двухосном растяжении с той лишь разницей, что задается необходимая температура.

**Испытания материала с учетом ползучести и релаксации напряжений**

Релаксация напряжений в технических тканях с покрытием проявляется в изменении напряжений во вре-

мени при неизменных деформациях. Данное явление больше всего характерно для тентовых сооружений. С практической точки зрения это означает необходимость «подтягивать» тентовое покрытие спустя некоторое время после его возведения.

Весьма важное значение имеет сопротивление материала оболочки и ее швов длительно действующим нагрузкам. При этом наиболее важной характеристикой является длительная прочность материала или прочность при разрушении в условиях ползучести [15].

В [16] проведены исследования технической ткани с покрытием с учетом температурных нагрузок, ползучести и релаксации напряжений в материале. Выявлено, что температура имеет значительный эффект на вязкоупругое поведение материала. В исследованиях на ползучесть в первые 30 мин деформации ползучести материала заметны сильнее всего, и они составляют более половины от общих деформаций технической ткани с покрытием в данном диапазоне исследования. При небольших напряжениях ползучесть в направлении утка больше, чем в направлении основы. С ростом напряжения деформации ползучести в обоих направлениях становятся схожими. Следовательно, деформация ползучести зависит от времени, длительности приложения нагрузки и структуры материала. В испытаниях на релаксацию напряжений после 24 ч остаточное напряжение составляло меньше 80% от начального напряжения, заданного тремя разными значениями (4, 15 и 26 кН/м). Сказано, что напряжение уменьшается тем быстрее, чем выше температура при испытании. После 48 ч напряжения в материале стабилизируются.

В диссертации А.М. Сулейманова [17] приведены результаты изучения деформаций ползучести у технической ткани с покрытием. Основные выводы совпадают с итогами работ коллег. Также показана зависимость ползучести материала от пигментного состава (цвета) покрытия. Проведены двухосные испытания с учетом ползучести материала. Сказано, что на ползучесть материала в двухосном напряженном состоянии значительно влияет начальная извитость нитей тканевой основы технической ткани с покрытием. Выявлено, что на ползучесть материала также зависит от соотношения нагрузок в направлении основы и утка.

Отечественные нормативные документы, описывающие исследования ползучести и релаксации напряжений в технической ткани с покрытием, отсутствуют. Из зарубежных стандартов можно выделить BS 3424-20:1987.

#### Список литературы / References

1. Lecompte D. et al. Mixed numerical-experimental technique for orthotropic parameter identification using biaxial tensile tests on cruciform specimens. *International Journal of Solids and Structures*. 2007. Vol. 44. No. 5, pp. 1643–1656.
2. Ишанова В.И., Удлер Е.М. Применение электронной фотографии и машинной графики Автокада в тензометрии тентовых материалов // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2014. Вып. 4. № 30. С. 153–157.
2. Ishanova V.I., Udler E.M. The use of electronic photography and computer graphics in AutoCAD in strain measurement of awning materials. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2014. Vol. 4. No. 30, pp. 153–157. (In Russian).
3. Ambroziak A. Mechanical properties of polyester coated fabric subjected to biaxial loading. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2015. Vol. 27. Iss. 11, pp. 1–8.
4. Forster B., Marijke M. European design guide for tensile surface structures. *TensiNews*. 2001. 332 p.
5. Jorg Uhlemann, Natalie Stranghoner K.S. Different determination procedures for stiffness parameters of woven fabrics and their impact in the membrane structure analysis. *5<sup>th</sup> European Conference on Computational Mechanics (ECCM V)*. 2014. <http://www.wccm-eccm-ecfd2014.org/admin/files/filePaper/p2100.pdf>
6. Ambroziak A., Klosowski P. Mechanical properties for preliminary design of structures made from PVC coated fabric. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 50, pp. 74–81.
7. Ambroziak A., Klosowski P. Mechanical properties of polyvinyl chloride-coated fabric under cyclic tests. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2014. Vol. 33. No. 3, pp. 225–234.
8. Craenenbroeck M. Van et al. Biaxial testing of fabric materials and deriving their material properties – A quantitative study. *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)*. 17–20 August 2015 Amsterdam. [http://www.novelstructuralskins.eu/wp-content/uploads/documents/Guimaraes2015/150909\\_Guimaraes\\_WG4\\_VanCraenenbroeck\\_paper.pdf](http://www.novelstructuralskins.eu/wp-content/uploads/documents/Guimaraes2015/150909_Guimaraes_WG4_VanCraenenbroeck_paper.pdf).
9. Zhang L. Off-Axial Tensile properties of preconstraint PVDF coated polyester fabrics under different tensile rates. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 2016, pp. 1–12.
10. Chen S., Ding X., Yi H. On the anisotropic tensile behaviors of flexible polyvinyl chloride-coated fabrics. *Textile Research Journal*. 2007. Vol. 77. No. 6, pp. 369–374. doi: 10.1177/0040517507078791.
11. Komeili M., Milani A.S. Finite element modeling of woven fabric composites at meso-level under combined loading modes. «Advances in Modern Woven Fabrics Technology» book edited by Savvas Vassiliadis. Published: July 27, 2011 under CC BY-NC-SA 3.0 license. DOI: 10.5772/17333.
12. Zhang Y., Zhang Q., Lv H. Mechanical properties of polyvinylchloride-coated fabrics processed with Preconstraint (R) technology. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2012. Vol. 31. No. 23, pp. 1670–1684. DOI: 10.1177/0731684412459898.
13. Ambroziak A., Klosowski P. Influence of thermal effects on mechanical properties of PVDF-coated fabric. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2014. Vol. 33. No. 7, pp. 663–673.
14. Zhang Y.Y., Zhang Q.L., Zhou C.Z. The visco-elastic behaviors of PVC coated fabrics under different stress and temperatures. *Advanced Materials Research*. 2010. Vol. 168–170. P. 1476–1479. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.168-170.1476.
15. Ермолов В.В., Бэрд У.У., Бубнер Э. Пневматические строительные конструкции. М.: Стройиздат, 1983. 439 с.
15. Ermolov V.V., Bird W.W., Bubner E. at al. *Pnevmaticheskie stroitel'nye konstruksii* [Pneumatic building structures]. Moscow: Stroyizdat. 1983. 439 p.
16. Zhou C.Z., Zhang Q.L., Zhang Y.Y. Experiment Study on Uniaxial Properties of PVC Membrane Material. *Advanced Materials Research*. 2010. Vol. 168–170, pp. 963–968. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.168-170.963.
17. Сулейманов А.М. Экспериментально-теоретические основы прогнозирования и повышения долговечности материалов мягких оболочек строительного назначения. Дисс... док. техн. наук. Казань. 2006. 352 с.
17. Suleymanov A.M. Experimental and theoretical foundations of forecasting and enhance the durability of materials soft shells of building purpose. *Doct. Dis (Engineering)*. Kazan. 2006. 352 p. (In Russian).



# «Градостроительство в тени Сталина. Мир в поисках социалистического города в СССР»

Авторы-составители: Харальд Боденшатц, Кристиане Пост и др.  
Verlagshaus Draun / SCIO Media, 2015. 416 с.

Рецензируемое издание «Градостроительство в тени Сталина. Мир в поисках социалистического города в СССР» представляет собой перевод книги, вышедшей в Германии на немецком языке около 10 лет назад. В ее основу легли исследования материалов Центра Шинкеля по архитектуре, исследованию города и охране памятников при Берлинском техническом университете. Это значительный труд в отечественной литературе и анализ большого объема информации по архитектуре и градостроительству СССР в период с 1925 по 1941 г. в контексте истории социального развития городов.

Тема, избранная авторами-составителями – профессором социологии планирования и архитектуры Берлинского технического университета Харальдом Боденшатцем и искусствоведом Кристиане Пост и др., относится к наиболее актуальным, особенно для нынешнего этапа развития российского градостроительства, в период усиления строительной активности, в эпоху перехода на новую экономическую платформу. Затронутый круг вопросов отражает основные направления противоположных концепций формирования города применительно к архитектуре – от модернистских к барокко.

В главе «Обзор социалистического градостроительства от Октябрьской революции до первой пятилетки» проводится краткий социологический мониторинг организаций архитекторов и градостроителей, обзорение важных законодательных документов, оказавших значительное влияние на градостроительство, в частности «План комиссии ГОЭЛРО по электрификации РСФСР», подвергнута детальному обсуждению действующая в первые послереволюционные годы концепция «города-сада».

В главе «Социалистическое градостроительство под знаком модернизма (1929–1931 гг.)» подробно рассматриваются планы перестройки существующих городов в соответствии с требованиями, вытекающими из строительства новых промышленных предприятий и комбинатов. При этом авторы отмечают: «Ввиду нарастающих проблем была поставлена неотложная задача начать научно обоснованное планирование реконструкции существующих и прежде всего строительства новых городов». Наиболее полно дается характеристика г. Магнитогорску как образцовому социалистическому городу первой пятилетки и Москве в свете новых планировочных структур, предложенных Н. Ладовским и Г. Красиным.

В главе «Большой поворот в градостроительной политике (1931–1932 гг.)» значительное внимание уделено конкурсу на проект Дворца Советов в Москве – символу триумфального шествия социализма – и строительству метрополитена, призванного наглядно продемонстрировать взаимосвязь между коммунальным хозяйством и составлением генплана (генеральная схема метрополитена была утверждена в 1932 г.). Эти два объекта должны были в первую очередь ориентироваться на Генеральный план развития Москвы.

В главе «Градостроительство социализма под знаком критического освоения традиций (1932–1935 гг.)» затронуты вопросы новой градостроительной политики в исследуемый период, претерпевшей ряд существенных преобразований, а также новые поиски концепций в смене градостроительного курса, а именно конкурсные проекты: Н. Ладовского, Э. Мая, Х. Мейера, К. Мейера, В. Кратюка, Г. Красина, бригады ВОПРа. Ведущая роль в данной главе принадлежит теме «Влияние новой градостроительной политики на генплан города», схеме расселения, функциональному зонированию города с целью рационального формирования его планировочной и пространственной структуры.

Глава «Обзор: реализация и консолидация принципов социалистического градостроительства в эпоху сталинизма (1935–1941 гг.)» предлагает вниманию читателя осуществление важнейших архитектурных и строительных проектов в рамках Генерального плана реконструкции Москвы, принятого 10 июля 1935 г. Авторы профессионально обозначают: «С момента принятия решения о принципиальном сохранении сложившегося центра и интеграции его в общегородскую систему вопросы планировки исторической центральной части города стали одними из важнейших в генплане по реконструкции Москвы». Рассматриваются архитектурные проекты на территориях: вокруг Дворца Советов, Красной площади, Охотного ряда и Ново-Манежной площади, Садового кольца, ул. Горького, площадей в центральной части города, а также по застройке набережных, крупных парков культуры и отдыха.

Наибольший интерес представляет глава «В поисках социалистического города (1929–1935 гг.)», где авторы подчеркивают: «Московское градостроительство вполне можно рассматривать как самостоятельную новую интерпретацию современного исторического города». Фиксируют также, что «тема политики в советском градостроительстве в период между 1929 и 1935 гг. неразрывно связано с темой диктатуры и террора и с личностью Сталина» и подводят итог: «Путь развития градостроительства в сталинскую эпоху подготавливался двумя механизмами: институциональным – путем реорганизации партийных и профессиональных организаций и содержательным – путем принятия постановлений партийных и государственных органов».

Заключительная глава «Документы» содержит обширный материал статей, пояснительных записок к проектам, цитат классиков марксизма-ленинизма по вопросам архитектуры и градостроительства.

Методика исследования в рецензируемой книге включает архивный поиск и строится на комплексном применении методов: системного анализа; сравнительного анализа; историко-архитектурного анализа; объемно-планировочного анализа; используется при этом территориально-градостроительный подход. Равным образом работа основывается на графоаналитическом методе обработки материала и опирается на изложенную в трудах отечественных и зарубежных исследователей историю архитектуры и градостроительства в целом, проектных предложений, теоретических разработок. Вместе с тем границы исследования обусловлены заявленной темой.

Авторы четко определяют значимость проблемы градостроительства, ставя в центр исследования необходимость гармонизации архитектурных и градостроительных решений на уровне генерального плана рассматриваемых городов. Именно эти вопросы рассмотрены как основа к повышению качества архитектурной среды, образующей городскую структуру. Всестороннего интереса заслуживают представленные в книге наиболее яркие и значительные архитектурные и градостроительные проекты, как реализованные, так и нереализованные, но имеющие большую художественную ценность.

Предложено рассмотреть исторический опыт градостроительства в СССР – социальное, культурное и техническое развитие социального города исследуемой эпохи, определяя его образную выразительность, а также особую историческую значимость. Теория социалистического города – в основном результат дискуссий между архитекторами и органами государственной власти. Период с 1925 по 1941 г. характеризуется поиском новых градостроительных концепций, которые отвечали бы идеям построения и преобразования социалистического общества. Одновременно совокупность фундаментальных научных установок, спорные вопросы в сфере градостроительства и социологии в контексте двух пятилеток располагают большим количеством предрассудков и предвзятых мнений, имевших значительные последствия для дальнейшей истории. В то же время вопросам нового социалистического градостроительства



в эпоху Сталина посвящены работы не только отечественных зодчих, но и зарубежных специалистов. Указанные работы являются важнейшими источниками по истории архитектуры и градостроительству социалистических городов. В книге отдельно ставится вопрос о роли иностранных специалистов, участвующих в строительстве новых промышленных городов и значении зарубежного опыта в советском градостроительстве.

Структура работы авторов весьма обоснованна и последовательно подводит к пониманию практической значимости градостроительной деятельности – совершенствованию инфраструктуры, планомерной застройки и грамотной реконструкции городов, улучшению экологического состояния городской среды и т. п. При этом закономерное расположение зданий в системе города способствует комфортному художественно-образному воздействию на человека, весь город или его основная часть воспринимается им как композиционное целое. При большом многообразии и многоплановости рассматриваемых аспектов последовательность изложения материала определяется логической связью между отдельными главами.

Следует отметить, что авторы использовали при разработке проблемы градостроительства ряд интересных литературных источников, законодательство о градостроительной деятельности и т. д. Книга написана на высоком научном уровне; доступна не только специалистам, но и широкому кругу читателей. После глубокого изучения фактов и материалов, изложенных в книге, можно сделать вывод, что ее раз-

делы будут полезны для всех участников градостроительной деятельности – архитекторов, градостроителей, географов, социологов, экологов, экспертов по городскому управлению и других специалистов, круг которых постоянно расширяется.

Рецензируемая книга также может служить хорошим путеводителем по архитектурно-градостроительной проблематике. Книга рекомендуется архитекторам и градостроителям для обоснования предложений, затрагивающих современные проблемы градостроительства.

От лица российского профессионального сообщества следует выразить благодарность компании «КНАУФ» за поддержку перевода и издания книги «Градостроительство в тени Сталина. Мир в поисках социалистического города в СССР» на русском языке. Книга открывает российским специалистам доступ к материалам, хранящимся в Берлинском техническом университете, показывает вклад зарубежных, в том числе немецких, специалистов в процесс «поиска социалистического города» и конечно способствует интеллектуальному сближению профессионалов России и Германии.

*Профессор кафедры архитектуры КубГАУ,  
доктор архитектуры, действительный член  
Международной академии архитектуры в Москве (МААМ),  
почетный архитектор России, заслуженный архитектор Кубани  
О.С. Субботин*

## Крупнейший застройщик Москвы – «ДСК-1» – на пути модернизации

В 2016 г. крупнейший московский домостроительный комбинат «ДСК-1» отметил 55-летие. Специалисты старшего возраста, конечно, помнят первую экспериментальную застройку района Новые Черёмушки домами серии К-7 в 60-х гг. прошлого века, затем «шаги саженей» крупнопанельной застройки по всей Москве от центра до окраин – это «ДСК-1».

С годами стройки уходили все дальше от центра (Митино, Крылатское, Бутово, Жулебино...) и за границы Москвы (Тольятти, Набережные Челны, Сургут, Нижневартовск, Мурманск...), дома становились все выше – 9, 16, 17, 25 этажей... Увеличивалась доля городского заказа в объеме строительства. Расширялась и разветвлялась производственная структура. В настоящее время в состав комбината входят четыре завода ЖБИ и две производственные фирмы, четыре специализированных обслуживающих управления, пять монтажных управлений.

Период затяжного системного кризиса, когда существенно сократился городской заказ, выявил недостатки организационной структуры самого крупного московского застройщика (производственная мощность «ДСК-1» составляет 1,17 млн м<sup>2</sup> панелей в год), возникла большая дебиторская задолженность, пришлось брать кредиты...

Летом 2016 г. «ДСК-1» приобрела относительно молодая (организована в 2005 г.), уверенно развивающаяся Финансово-промышленная корпорация «Лидер». На момент сделки предприятие было стабильно убыточным, сумма долга приближалась к 13 млрд р. Новые владельцы заинтересованы в скорейшем оздоровлении финансово-хозяйственной деятельности системообразующего московского предприятия, оптимизации его организационно-производственной структуры, техническом перевооружении. Серьезность намерений уже подкреплена 3 млрд р., обеспечивших финансовую устойчивость комбината, а также реструктуризацией кредитной задолженности со снижением процентной ставки с 16 до 13%. Об этом было заявлено на совместной пресс-конференции «ДСК-1» и ФСК «Лидер», состоявшейся 20 октября 2016 г. на базе Ростовского завода ЖБИ.

Новый генеральный директор «ДСК-1» Д.А. Копырин, опытный руководитель, за 13 лет прошедший путь от мастера цеха до генерального директора комбината строительных материалов, имеющий 15-летний опыт строительства и руководства домостроительными комбинатами, представил программу вывода предприятия на безубыточную деятельность.

С этой целью будет проведена реструктуризация производственных мощностей, изменена система управления, внедрены IT-технологии, оптимизирован кадровый состав работников.

Важным этапом снижения себестоимости и соответственно расходов является введение тендерного механизма для закупок, интеграция с бизнес-структурами ФСК «Лидер», организация продажи объектов «ДСК-1» через агентство недвижимости инвестора.

Планируется, что реализация программы организационного оздоровления «ДСК-1» позволит до конца 2016 г. сократить себестоимость на 10% и еще на 15% – в следующем году, что приведет к снижению цен на продукцию «ДСК-1» к конкурентному уровню, обеспечит увеличение объема оборотных средств компании.

Важнейшей задачей, которую ставит новый акционер перед руководством комбината, является не просто сохранение уникального производства «ДСК-1», его культуры и высокого профессионального уровня, но техническое перевооружение с привлечением самых эффективных достижений техники и технологии.

Проект повышения конкурентоспособности «ДСК-1» предполагает централизацию управленческих компетенций, укрупнение и объединение однотипных производств.

Проектом повышения эффективности предприятия также предусмотрен переход на строительство домов новых серий – ДомРИК и ДомНАД, разработанных при участии знаменитого испанского архитектора Рикардо Бофилла и российского Александра Надысева. Все это позволит вновь побороться за городской заказ и увеличить его долю до 40%.

В планах «ДСК-1» – продолжать строительство в Новой Москве и области (Некрасовка, Домодедово, Железнодорожный и т. д.), а также – в границах «старой» столицы.



Н.В. КИЛЮШЕВА, инженер, В.Е. ДАНИЛОВ, инженер,  
А.М. АЙЗЕНШТАДТ, д-р хим. наук (a.isenshtadt@narfu.ru)

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

## Теплоизоляционный материал из коры сосны и ее экстракта

Анализ литературных данных показал, что для строительных материалов из древесины наиболее пригодна кора деревьев хвойных пород, так как в ее составе существенно ниже содержание легкогидролизуемых веществ (гемицеллюлозы, нецеллюлозных полисахаридов). В статье представлены данные о составе материала с применением коры сосны и ее водного экстракта, принципиальной технологии изготовления композита без использования минеральных связующих и возможности его применения. Проведены экспериментальные исследования процесса извлечения экстрактивных веществ из растительного сырья на примере коры сосны, получены опытные образцы композиционного материала, выполнены испытания полученных опытных образцов на прочность, теплопроводность, водопоглощение и разбухание. Материал характеризуется достаточной механической прочностью, удовлетворительным значением коэффициента теплопроводности, высокой экологической чистотой. Величина водо-, теплофизических, теплоизоляционных и механических характеристик позволяет рекомендовать его для использования в качестве неконструкционной теплоизоляции.

**Ключевые слова:** кора сосны, водный экстракт, водо-физические и механические характеристики, теплопроводность, теплоизоляция.

N.V. KILYUSHEVA, Engineer, V.E. DANILOV, Engineer, A.M. AIZENSHTADT, Doctor of Sciences (Chemistry) (a.isenshtadt@narfu.ru)  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (17, Severnaya Dvina Emb., 163002, Arkhangelsk, Russian Federation)

### Heat Insulation Material Produced from Pine Bark and Its Extract

An analysis of literature data shows that the bark of conifers is the most suitable for wooden building materials as its composition has a significantly low content of easy hydrolysable substances (hemicellulose, non-cellulose polysaccharides). The article presents the data on the composition of the material with the use of pine bark and its water extract, principal technology for producing the composite without using mineral binders, and possibilities of its application. Experimental studies of the process of extraction of extractive substances from vegetal resources on the example of pine bark have been conducted; experimental samples of a composite material have been obtained; tests of obtained experimental samples for strength, heat conductivity, water absorption, and swelling have been carried out. The material is characterized by sufficient mechanical strength, a satisfactory value of heat conductivity factor, high ecological purity. The value of water-physical, heat insulation, and mechanical characteristics makes it possible to recommend it to use as non-structural heat insulation.

**Keywords:** pine bark, water extract, water-physical and mechanical characteristics, heat conductivity, heat insulation.

В РФ ежегодно производится заготовка значительных объемов деловой древесины, которая направляется главным образом на строительство. Лесопильно-деревообрабатывающие предприятия вывозят отходы (преимущественно кора) на свалки или сжигают (8–15% объемов пиловочника), что приводит к крайне нежелательным последствиям (повышению пожарной опасности, загрязнению окружающей среды). Кроме того, вывоз коры, содержание отвалов, аренда территории требуют определенных материальных затрат [1]. В строительной индустрии имеется положительный опыт использования вторичных продуктов в производстве различных строительных материалов и изделий. Однако использование таких продуктов промышленностью развивается достаточно медленно, что приводит к их накоплению [2, 3]. Поэтому получение строительного композита на основе отходов окорки древесины позволяет решить задачу комплексного и рационального использования растительного сырья, улучшить экологическую обстановку регионов, где сосредоточены предприятия по переработке лесных ресурсов.

В настоящее время из отходов лесопиления и деревообработки могут быть изготовлены арболит и стеновые блоки, древесно-волоконистые и древесно-стружечные плиты и др., причем данные материалы могут быть получены как с применением, так и без использования вяжущих веществ. Зачастую изделия из древесных отходов используют как теплоизоляционный материал [4–8].

Вместе с тем кора обладает низкой тепло- и звукопроводностью. Наличие в коре сосны смол положительно влияет на теплофизические и физико-механические характеристики получаемого материала [9]. Однако в случае использования традиционных вяжущих веществ при получении древесно-минеральных композиций от-

рицательное воздействие на процессы твердения оказывают содержащиеся в коре растворимые в воде сахара («цементные яды»), легко диффундирующие через стенки клеток древесины [10–12].

Кора сосны имеет высокую прочность ввиду малого содержания легкорастворимых сахаров (легкогидролизуемых полисахаридов: гемицеллюлозы, нецеллюлозных полисахаридов) и отличается высоким содержанием водорастворимых и дубильных веществ [11], не входящих в состав клеточной стенки древесины и извлекаемых органическими растворителями, водой и отгонкой с водяным паром. Общее содержание экстрактивных веществ у коры хвойной древесины может достигать 40 мас. %, причем у большинства экстрагируемых веществ с повышением температуры увеличивается растворимость и диффузия в водную среду [13].

Применяемые в настоящее время теплоизоляционные материалы представляют собой пористые органические или органоминеральные композиции, имеющие плотность, не превышающую 600 кг/м<sup>3</sup>, и теплопроводность не более 0,18 Вт/(м·К). Прочность теплоизоляционных материалов невелика и чаще всего колеблется в пределах 0,3–1,5 МПа, лишь некоторые материалы обладают пределом прочности до 10 МПа. Кора обладает низкой тепло- и звукопроводностью, однако многие органические теплоизоляционные материалы подвержены быстрому загниванию и порче насекомыми, известно, что хвойные породы — самые устойчивые к действию микроорганизмов [14].

Целью исследований, представленных в данной работе, является оценка возможности получения теплоизоляционной композиции с удовлетворительными значениями теплотехнических и прочностных показателей на основе коры сосны и ее водного экстракта в качестве связующего компонента.



Отвалы коры на ЗАО «Лесозавод 25»

Период набора прочности	Максимальное напряжение, МПа		
	Контрольный образец	Связующее Э1	Связующее Э2
3-й день	0,22	0,41	0,44
7-й день	0,29	0,46	0,51

В качестве объекта исследований была использована кора сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris*) – отход окорки деловой древесины ЗАО «Лесозавод 25» (см. рисунок). Кору сушили при 104–105°C в течение 5–6 ч.

Высушенную до абсолютно сухого состояния кору порционно измельчали в микромельнице F306 при частоте вращения ножей ротора 2000 об/мин в течение трех минут. Данная операция позволяет разрушить клетки растения и обеспечить доступ к биологически активным веществам, увеличивая тем самым поверхность контакта экстрагента с растительной массой.

Для получения водного экстракта использовали обработку водяным паром предварительно подготовленного древесного сырья в экстракторе на базе машины Saeco. Активацию коры осуществляли при 95°C, давления 1 МПа, продолжительности обработки 25 с.

Для контроля за процессом извлечения экстрактивных веществ из сырьевого материала осуществляли запись электронных спектров поглощения водного экстракта на спектрофотометре СФ-2000 в диапазоне длин волн 200–800 нм.

Полученный водный экстракт концентрировали в сушильном шкафу при 50°C.

Концентрированный экстракт с размолотой исходной корой смешивали гомогенизатором в следующих пропорциях: 100 мл раствора и 25 г коры. В качестве образцов сравнения был изготовлен композит, в котором вместо экстракта была использована дистиллированная вода.

Для получения образцов использовали кубические формы с длиной ребра 20 мм (для испытания на прочность) и 200×100×100 мм (для определения теплопроводности, водопоглощения и разбухания). Выдержку изделий в формах до распалубочной прочности осуществляли в естественных условиях в течение 24 ч при 23±3°C.

Прочность теплоизоляционных материалов характеризовали показателями предела прочности при сжатии. Испытания на прочность проводили на 3-е и 7-е сут в универсальной испытательной машине Shimadzu.

Водопоглощение при кратковременном и частичном погружении определяли согласно ГОСТ 1609–2008 «Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве». Метод позволяет оценить водопоглощение изделий, подвергаемых воздействию дождя продолжительностью 24 ч, при проведении строительных работ. За величину водопоглощения при частичном погружении в воду опытных образцов принимали значение, равное отношению массы впитанной влаги к массе материала.

Для определения теплопроводности материала зондовым методом использовали измеритель теплопроводности МИТ-1 по ГОСТ 30256–94 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом».

Результаты экспериментов по контролю за процессом выделения экстрактивных веществ из сырьевого материала коры показали, что в спектрах поглощения водной вытяжки отмечается характерный для аромати-

ческих соединений максимум поглощения в УФ-области при 290 нм. Следует отметить, что в видимой части спектрального диапазона исследуемый раствор не проявляет оптической активности. Данный факт может свидетельствовать о том, что выделяемые на используемой экспериментальной установке соединения представляют собой гетероциклические ароматические экстрактивные вещества.

Полученный экстракт для дальнейшего концентрирования был разделен на две части, которые были упарены в 2 (Э1) и 5 (Э2) раз. Дальнейшие исследования проводили параллельно с использованием в качестве связующего концентраты Э1 и Э2.

В таблице представлены результаты физико-механических испытаний изготовленных опытных образцов композита. Следует отметить, что полученные изделия отличаются высокой однородностью структуры.

Приведенные в таблице данные показывают, что прочностные характеристики опытных образцов, полученных с использованием экстрактов, невелики, однако соответствуют требованиям, предъявляемым к неконструкционным теплоизоляционным материалам (0,3–1,5 МПа), и концентрация экстрактивных веществ в связующей суспензии положительно влияет на прочность материала. Результаты измерений водопоглощения и разбухания по толщине показали, что данные параметры имеют значения 73 и 6% соответственно. Данный факт ограничивает возможные области использования композита, однако, по мнению авторов, не является его отрицательной характеристикой (изделия, применяемые для изоляции, например, энергетического оборудования, не увлажняются при нормальных условиях эксплуатации).

Коэффициент теплопроводности материала после семидневного набора прочности для всех опытных образцов составил 0,164±0,04 Вт/(м·К), что свидетельствует об эффективности использования композита в качестве неконструкционной теплоизоляции. Данный параметр сопоставим с теплопроводностью таких материалов, как, например, винипласт – 0,163 Вт/(м·К), керамзит – 0,18 Вт/(м·К) и др.

Резюмируя вышеизложенное, можно заключить, что исследуемый композит характеризуется высокой экологичностью, безопасностью для здоровья человека при эксплуатации в помещениях и в окружающей среде, простотой изготовления, возможностью решения задач комплексного и рационального использования природных ресурсов. Величина значений водно-физических и механических характеристик позволяет рекомендовать его для использования в качестве неконструкционной теплоизоляции.

#### Список литературы

1. Тацон М.В. Современное состояние ЛПК России и пути его развития. М.: ООО «РИА Пресс», 2006. С. 24.
2. Степень Р.А., Храмова Л.Н., Соболев С.В. Проблемы использования отходов деревообрабатывающих



- предприятий Ангаро-Енисейского региона. Лесосибирск. 2003. 87 с.
3. Титунин А.А. Эколого-экономические аспекты безотходных технологий переработки лесных ресурсов. М.: Новые технологии, 2007. 48 с.
  4. Лукаш А.А., Дьячков К.А. Строительные изделия из измельченной древесины // *Строительные материалы*. 2009. № 1. С. 54–55.
  5. Журавлёва Л.Н. Основные направления использования древесных отходов // *Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. трудов по итогам междунар. научно-технич. конф.* Вып. 18. Брянск: БГИТА, 2007. С. 96–99.
  6. Lukutsova N. Influence of micro- and nanodispersed additions on qualities of wood-and cement compositions // *SITA journal Israel*. 2012. № 3. Vol. 14. pp. 70–75.
  7. Ayzenshtadt A., Lesovik V., Frolova M., Tutygin A., Danilov V., Nanostructured Wood Mineral Composite // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117, pp. 45–51.
  8. Лукаш А.А., Лукутцова Н.П. Перспективность производства строительных материалов из древесины с ядровой гнилью // *Строительные материалы*, 2016. № 9. С. 85–88.
  9. Данилов В.Е., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Туробова М.А., Карельский А.М. Получение органоминерального наполнителя на основе древесной коры и базальта для разработки композиционных материалов // *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 72–75.
  10. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 368 с.
  11. Тутурин С.В. Механическая прочность древесины. М: Компания Спутник+, 2007.
  12. Лукаш А.А., Плотников В.В., Ботаговский М.В. Ячеистые стеновые панели из древесных материалов // *Строительные материалы*. 2009. № 2. С. 72–73.
  13. Левданский В.А., Полежаева Н.И., Левданский А.В., Кузнецов Б.Н. Выделение и изучение экстрактивных веществ коры березы: Сб. тр. Всеросс. науч.-практ. конф. Лесной и химической комплексы: проблемы и решения. Красноярск, 2003. С. 422–426.
  14. Gierlinger N., Jacques N., Schwanninger M., Wimmer R., Hin-terstoisser B., Paques L.E // Rapid prediction of natural durability of larch heartwood using FT-NIR spectroscopy // *Canadian Journal of Forest Research*. 2003. № 33, pp. 1727–1736.
  7. Ayzenshtadt A., Valery Lesovik V., Frolova M., Tutygin A., Danilov V. Nanostructured Wood Mineral Composite. *Procedia Engineering*, 2015. Vol. 117, pp. 45–51.
  8. Lucash A.A., Lukutsova N.P. The prospect of the production of building materials from wood to rot sound. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 85–88. (In Russian).
  9. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Turobova M.A., Karelsky A.M. Preparation of organic filler based on wood's crust and basalt for the development of composite materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 7, pp. 72–75. (In Russian).
  10. Dvorkin L.I. Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti [Building materials from waste industry]. Rostov: Feniks, 2007. 368 pp. (In Russian).
  11. Tuturin S.V. Mekhanicheskaya prochnost' drevesiny [The mechanical strength of wood]. Moscow. Sputnik Company+, 2007. (In Russian).
  12. Lukash A.A., Plotnikov V.V., Botagovski M.V. Mesh wall panels of wood-based materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 2, pp. 72–73. (In Russian).
  13. Levdansky V.A., Polezhaeva N.I., Levdansky A.V., Kuznetsov B.N. The isolation and study of the extractives of birch bark: Proceedings of the Russian scientific-practice. Conf. *Forest and chemical complexes: problems and solutions*. Krasnoyarsk. 2003. pp. 422–426. (In Russian).
  14. Gierlinger N., Jacques N., Schwanninger M., Wimmer R., Hin-terstoisser B., Paques L.E. *Canadian Journal of Forest Research*. 2003. No. 33, pp. 1727–1736.

**References**

1. Tatsyun M.V. The modern state LPK of Russia and ways of its development. Moscow. ООО "RIA news", 2006. 24 p. (In Russian).
2. Stepen R.A., Khranova L.N., Sobolev S.V. Problemy ispol'zovaniya otkhodov derevoobrabatyvayushchikh predpriyatii Angaro-Eniseiskogo regeon [Problems of use of wastes of woodworking enterprises of the Angara-Yenisei]. Lesosibirsk, 2003. 87 p. (In Russian).
3. Timonin A.A. Ekologo-ekonomicheskie aspekty bezotkhodnykh tekhnologii pererabotki lesnykh resursov. Moscow. Novye tekhnologii, 2007. 48 p. (In Russian).
4. Lukash A.A., Dyachkov C.A. Building products of chopped wood. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 1, pp. 54–55. (In Russian).
5. Zhuravleva L.N. The main directions of use of wood waste. *Actual problems of forestry complex: collection of scientific works. papers based on the results of the Intern. scientific-technical Conf.* Vol. 18. Bryansk: BGITA, 2007, pp. 96–99. (In Russian).
6. Lukutsova N. Influence of micro- and nanodispersed additions on qualities of wood-and cement compositions. *SITA journal Israel*, 2012. No. 3. Vol. 14, pp. 70–75.

24–27 января 2017 | Красноярск

ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В  
XXV СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ВЫСТАВКЕ

**СТРОИТЕЛЬСТВО  
АРХИТЕКТУРА**

ВЕДУЩАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ И ИНТЕРЬЕРНАЯ ВЫСТАВКА  
СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА



В ПРОГРАММЕ:

- VI Архитектурно-строительный форум Сибири
- Сибирский фестиваль архитектуры

Одновременно пройдет выставка строительной и складской техники и оборудования «ТехСтройЭкспо. Дорогин»



МВД «Сибирь», гп. Администрация, ТР  
тел: (391) 22-88-405, 22-88-011  
build@krsfar.ru, www.krsfar.ru

0+

## Гранулометрический состав мелкодисперсных золоотходов и его влияние на свойства прессованных изделий

Золы-уноса и золошлаковые смеси являются крупнотоннажными отходами многих отраслей промышленности, и необходимость их использования в производстве стеновых материалов является важной задачей. Производство силикатного кирпича и других прессованных стеновых материалов по масштабности использования сырья относится к крупнотоннажному и способно использовать золоотходы в качестве сырья. В технологии прессования существует необходимость получения плотной упаковки сырья из песка различных фракций, горных пород или отходов производства разного размера. Для использования микропорошков золоотходов необходимо знать гранулометрический состав золопорошков. На основе этого можно определить состав смеси и каркасообразующее зерно. Приведена программа по обследованию мелкодисперсных порошков золоотходов на гранулометрический состав и определение в составе размера каркасообразующего зерна. На основании этого исследована серия укрупняющих добавок на примере золы и ЗШО. Полученные результаты позволяют провести математическое моделирование по примеру песчаных смесей на обеспечение плотности упаковки прессованных образцов и выбора вяжущего.

**Ключевые слова:** зола, гранулометрический состав, прессование, плотность, каркасообразующее зерно.

G.V. KUZNETSOVA, Engineer (Kuznetzowa.gal@yandex.ru)  
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

### Granulometric Composition of Fine-Disperse Ash Waste and Its Influence on Properties of Pressed Products

Fly ashes and ash-slag mixes are large-tonnage waste of many industrial branches and the need for using them for producing wall material is an important problem. The production of silica brick and other pressed wall materials on the scale of raw material usage refers to large-tonnage production and is able to use ash waste as raw materials. In the technology of pressing, there is a need for more dense packing of raw materials from sand of different fractions, rocks or production waste of different sizes. For using micropowders of ash waste, it is necessary to know a granulometric composition of ash powders. On this basis, it is possible to determine the composition of the mix and a frame-formation grain. A program of inspection of fine-disperse powders of ash waste on the granulometric composition and determination of the frame-formation grain size in the composition is presented. On the basis of this study, a series of enlarging additives on the example of ash and ash-slag waste has been investigated. The results obtained make it possible to conduct the mathematic simulation by the example of sand mixes for providing the density of packing of pressed samples and selection of a binder.

**Keywords:** ash, granulometric composition, pressing, density, frame formation grain.

Стратегия развития строительного комплекса Российской Федерации ставит задачу рационального использования природных ресурсов и вовлечение в производство строительных материалов техногенных отходов различных отраслей промышленности с замещением ими 20–30% природного сырья. Энергетика Сибири, построенная во многих регионах на сжигании твердого топлива, характеризуется образованием большого количества золы-уноса и золошлаковых смесей. Необходимость их использования очевидна из-за опасности нарушения экологической обстановки вблизи мест хранения отвалов. В отвалах ТЭС накоплено без малого 1,5 млрд т золошлаковых отходов, поэтому научные разработки на основе техногенного сырья приобретают особую актуальность [1].

Качество ЗШО и золы определяется содержанием кремнезема и удельной поверхностью, составляющей 1500–4000 см<sup>2</sup>/г. По величине удельной поверхности золы делят на: тонкодисперсные ( $S > 4000$  см<sup>2</sup>/г), среднедисперсные (2000–4000 см<sup>2</sup>/г) и грубодисперсные ( $S < 2000$  см<sup>2</sup>/г). При насыпной плотности менее 800 кг/м<sup>3</sup> золы считаются легкими; 800–1000 кг/м<sup>3</sup> — средней плотности и более 1000 кг/м<sup>3</sup> — тяжелыми. Золоотходы энергетической промышленности РФ имеют в среднем химический состав, приведенный в табл. 1.

По химическому составу такая зола представляет кислое сырье. Она включает повышенное количество красящих оксидов (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub>), легкоплавкая и относится к четвертому классу опасности (малоопасные вещества). В процессе контакта с водой зола не выделяет высокотоксичных соединений. Гранулометрический состав зол колеблется в широких пределах: размеры зе-

рен 1–20 мкм. В золах-уносах содержание фракции более 85 мкм обычно не превышает 20%. Около 50% частиц золы имеют обычно размеры 30–40 мкм. Более крупные золы образуются при повышенном содержании в минеральной части топлива оксидов-плавней CaO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Адаптация технологии прессованных стеновых материалов к применению отходов ТЭЦ наиболее перспективная и актуальная проблема, так как непросто сделать изделие, обладающее хорошим внешним видом и качеством. При рассмотрении составов реологических матриц на различных масштабных уровнях установлено, что для песка в высокопрочных бетонах реологической матрицей на микроуровне является сложная смесь цемента, каменной муки, кремнезема, суперпластификатора и воды. В свою очередь, для высокопрочных бетонов с микрокремнеземом для смеси цемента и каменной муки (равной дисперсности) как структурных элементов появляется еще одна реологическая матрица с меньшим масштабным уровнем — смесь микрокремнезема, воды и суперпластификатора [2]. В требованиях, предъявляемых к кремнеземистым компонентам, важным является содержание кремнезема [3] и гранулометрический состав.

При работе с песком существуют две технологии: с молотой бездобавочной известью и использованием песков разной крупности и отходов и с известково-кремнеземистым вяжущим с песком одного вида [4]. При использовании песков разной крупности достаточно знать гранулометрический состав и подобрать оптимальный состав заполнения межзерновых пустот самой крупной фракции более мелкими зернами, не



Рис. 1. Схема размещения мелких частиц между крупными при прессовании

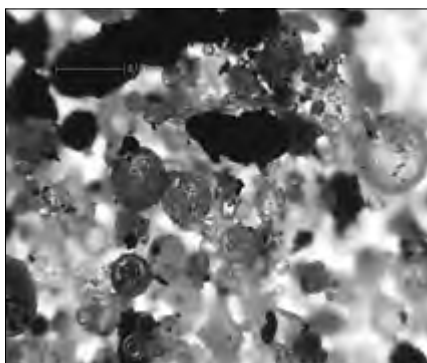


Рис. 2. Микрофотография золы Барнаульской ТЭЦ-3

вызывающими значительной раздвижки зерен крупной фракции. Определяющим здесь будет получение многофракционной смеси, обеспечивающей уменьшение пустотности. В настоящее время известны порошково-активированные бетоны нового поколения – это сверхпрочные, высокопрочные бетоны и бетоны с традиционной прочностью. Они включают 7–9 компонентов и имеют низкий удельный расход цемента на единицу прочности при сжатии, не превышающем  $\text{ЦР}=3,5\text{--}6 \text{ кг/МПа}$ . Такие бетонные смеси состоят из набора сухих компонентов с непрерывной granulометрией частиц от макро- до пикомасштабного уровня [5].

В технологии газозолобетона песок заменяют золой и отменяют мокрый помол из-за высокой дисперсности. В цементе зола рассматривается как составляющая теста. Прессование мелкодисперсных порошков имеет определенные трудности, и определение granulометрического состава мелкодисперсного порошка-компонента и формовочной смеси на его основе приобретает важное значение. П.И. Боженов [6] в классификации минерального сырья для производства автоклавных материалов дал определение крупному заполнителю именно для такой технологии. Первая наиболее крупная фракция сыпучего материала (песка или пыли), теоретический расход которой соответствует объему изготавливаемого изделия или конструкции с учетом раздвижки крупных зерен, будет играть роль крупного заполнителя в составе минерального сырья.

При прессовании рыхлой зернистой силикатной смеси, засыпанной в коробки пресса, происходит сближение частиц силикатной смеси в результате уменьшения ее первоначальной пустотности за счет размещения мелких частиц в промежутках между крупными (рис. 1).

Целью нашего исследования являлась оценка золы и золошлакового отхода с точки зрения технологии полусухого прессования и выявления первой наиболее крупной фракции золы и ЗШО ТЭЦ. Были исследованы характеристики зол и ЗШО. Результаты приведены в табл. 2.

Частицы в составе золы неоднородны как по форме, так и по состоянию поверхности, причем эта неоднородность сохраняется в различных группах размерных фракций. Частицы делятся на сфероиды различного

диаметра, образовавшиеся в результате затвердевания расплавленных частиц, и непроплавленные частицы. Часть золы-уноса представлена частицами сферической формы, а также непроплавленными, преимущественно кварцевыми частицами. Плавление неорганической массы угольных частиц влияет на агрегатирование золы. Отмечались сфероиды, поверхность которых покрыта закрепившимися в расплаве более мелкими частицами, и сфероиды, сцепленные между собой за счет контакта расплавленных поверхностей (рис. 2).

Таблица 1

Средний химический состав зол энергетической промышленности

Химический состав зол, %							
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	ППП
40–58	13–30	1–6	2–12	0,2–2	0,1–1	0,8–2,6	2–24

Таблица 2

Характеристики зол и ЗШО

Наименование исследуемого порошка	Плотность		Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	Средний размер зерна, мкм
	Насыпная, кг/м <sup>3</sup>	Истинная, г/см <sup>3</sup>		
Зола ТЭЦ-3, Барнаул	1020	3	2988	6,7
Зола Черепетской ГРЭС, г. Суворов Тульской обл.	700	3	9037	2,2
Зола ТЭЦ-2, Красноярск	1150	3	2253	8,9
ЗШО ТЭЦ, Байкальский ЦБК	940	2,94	3414	6
Зола ТЭЦ, Омск	740	2,3	4100	5,54
ЗШО ТЭЦ-2, Алматы (Казахстан)	940	2,94	1733	11,8

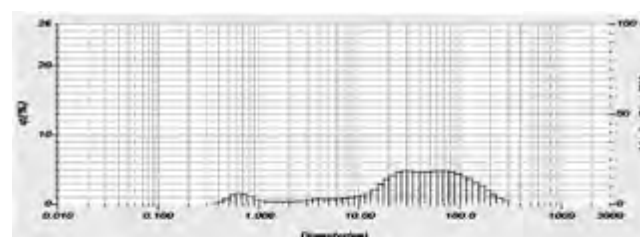


Рис. 3. Дисперсный состав кислой золы ТЭЦ, Омск

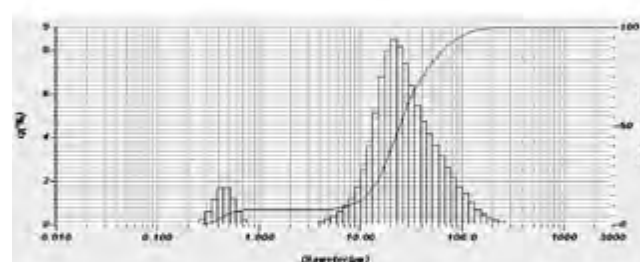


Рис. 4. Дисперсный состав кислой золы ТЭЦ-2, Красноярск

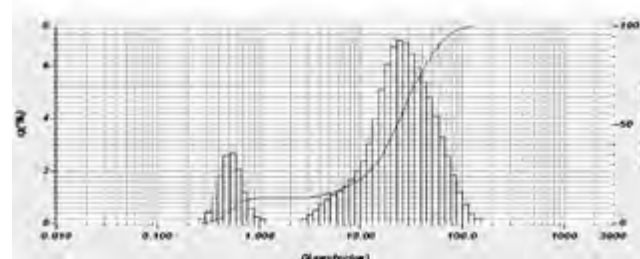


Рис. 5. Дисперсный состав кислой золы ТЭЦ-3, Барнаул



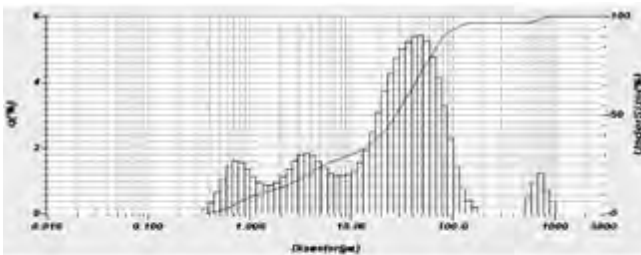


Рис. 6. Дисперсный состав кислой золы Черепетской ГРЭС, г. Суворов Тульской обл.

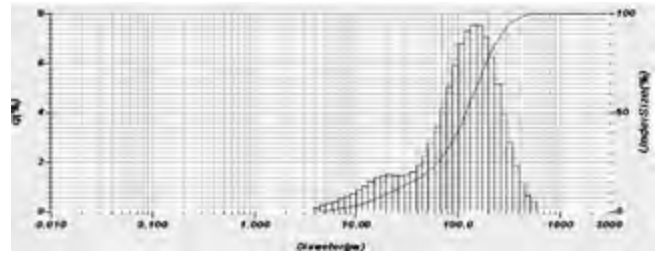


Рис. 8. Дисперсный состав ЗШО ТЭЦ, г. Алматы, Республика Казахстан

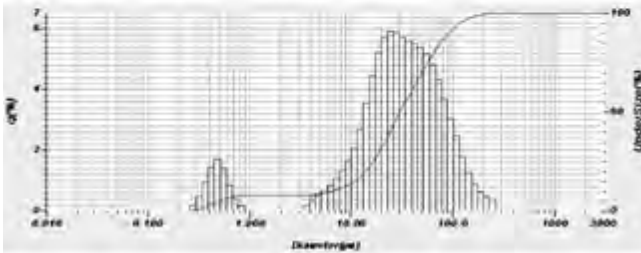


Рис. 7. Дисперсный состав ЗШО ТЭЦ, г. Байкальск Иркутской обл.

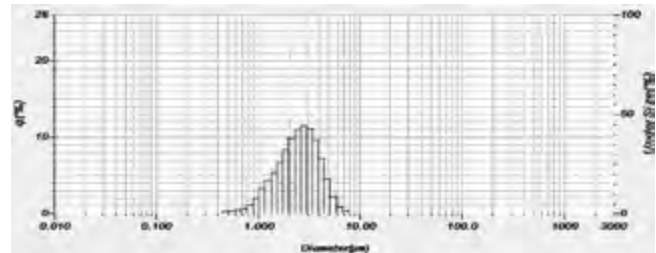


Рис. 9. Дисперсный состав молотой гашеной извести-пушонки

Таблица 3

Распределение частиц по диаметру зерен по прибору Хориба

	Диаметр зерна, мкм								
	0-5	5-10	10-20	20-40	40-80	80-100	100-200	200-400	400-800
Зола ТЭЦ, Омск									
Полное содержание, %	12,51	16,64	27,93	50,44	73,63	82,42	100	0	0
Зола ТЭЦ-2, Красноярск									
Полное содержание, %	7,69	12,36	36,16	73,79	92	95,83	99,63	100	0
Зола ТЭЦ-3, Барнаул									
Полное содержание, %	15,29	22,54	42,99	75,92	96,98	100	0	0	0
ЗШО ТЭЦ, Алматы									
Полное содержание, %	0,385	2,94	8,85	16,33	31	41,7	77,88	97,81	100
Зола Черепетской ГРЭС									
Полное содержание, %	23,86	29,93	40,21	63,11	88,00	93,58	96,35	96,35	100
ЗШО ТЭЦ Байкальского ЦБК									
Полное содержание, %	8,39	13,86	31,77	60,48	85,7	92,27	100	100	100

Полученные результаты позволяют заключить, что зола имеет непрерывный гранулометрический состав от 0 до 300 мкм. Исходя из дисперсного непрерывного состава можно представить золу как тонкий песок зольного минералогического состава и непрерывного зернового состава.

Для достижения этой цели проведено обследование золы и ЗШО ТЭЦ на дисперсный состав и с помощью программы преобразованы показания в соответствии с гранулометрическим составом при исследовании песков. В результате исследования дисперсного состава золоотходов на приборе Хориба получены диаграммы, представленные на рис. 3–8.

Роль второго тонкомолотого компонента в минеральном сырье технологии прессованных изделий выполняет гашеная известь, поэтому был также определен дисперсный состав молотой гашеной извести-пушонки (рис. 9).

Распределение частиц гашеной извести-пушонки по диаметру представлено в табл. 3.

Данные прибора дают процентный состав от минимального размера до максимального. С помощью про-

граммы проведено преобразование данных табл. 3 в данные табл. 4.

По полученным данным можем сделать вывод, что зола ТЭЦ (Омск) характеризуется каркасообразующими зернами размером 80 мкм и размером зерна начиная с 200 мкм. У золы Красноярской ТЭЦ-2 каркасообразующее зерно имеет размер 20 мкм. Зола из Барнаула имеет каркасообразующее зерно размером 20 мкм. ЗШО из Алматы имеют каркасообразующее зерно размера 100 мкм и непрерывный состав. Зола Черепетской ГРЭС имеет каркасообразующее зерно размером 40 мкм. ЗШО из г. Байкальска имеют состав с крупностью зерна 100 мкм, но по количеству каркасообразующих будет являться размер 20 мкм. Известь гашеная представлена размером зерна 5 мм.

Используя методику определения грансостава песков, можно определить условный  $M_{кр}$  дисперсного порошка (табл. 5).

Наиболее мелким материалом среди исследуемых зол является порошок золы ТЭЦ-3 (Барнаул), а наиболее крупным – ЗШО ТЭЦ (Алматы.) Из исследуемых порошкообразных зол наиболее крупной является зола

Таблица 4

Гранулометрический состав мелкодисперсных порошков

	Условный размер сит, мкм									M <sub>кр</sub>
	400	200	100	80	40	20	10	5	0	
Зола ТЭЦ, Омск										
Частные остатки, %	0	17,3	9	<b>23,2</b>	<b>22,5</b>	<b>11,3</b>	<b>4,1</b>	<b>5,4</b>	<b>7,2</b>	
Полные остатки, %	0	17,3	26,3	49,5	72	83,3	87,4	92,8	100	3,57
Зола ТЭЦ-2, Красноярск										
Частные остатки, %	0	0,343	3,819	3,838	18,2	<b>37,63</b>	<b>23,8</b>	<b>4,67</b>	7,7	
Полные остатки, %	0	0,343	4,162	8	26,2	63,83	87,63	92,3	100	2,74
Зола ТЭЦ-3, Барнаул										
Частные остатки, %	0	0	1,195	2,805	20,07	<b>32,93</b>	<b>20,45</b>	<b>7,25</b>	<b>15,3</b>	
Полные остатки, %	0	0	1,195	4,	24,07	570	77,45	84,7	100	2,44
ЗШО ТЭЦ-2, Алматы										
Частные остатки, %	2,18	19,94	<b>36,18</b>	<b>10,7</b>	<b>14,66</b>	<b>7,48</b>	<b>5,91</b>	<b>2,56</b>	<b>0,39</b>	
Полные остатки, %	2,18	22,12	58,3	69	83,66	91,14	97,05	99,61	100	4,54
Зола Черепетской ГРЭС										
Частные остатки, %	3,65	0	2,77	5,57	<b>24,89</b>	<b>22,9</b>	<b>10,28</b>	<b>6,07</b>	<b>23,87</b>	
Полные остатки, %	3,65	3,65	6,42	11,99	36,88	59,78	70,06	76,13	100	2,68
ЗШО ТЭЦ Байкальского ЦБК										
Частные остатки, %	0	0	7,724	6,576	25,21	<b>28,71</b>	<b>17,91</b>	<b>5,47</b>	<b>8,4</b>	
Полные остатки, %	0	0	7,724	14,3	39,51	68,22	86,13	91,6	100	3,07
Известь-пушонка										
Частные остатки, %	0	0	0	0	0	0	3,3	<b>93,3</b>	<b>6,7</b>	
Полные остатки, %	0	0	0	0	0	0	3,3	96,6	100	0,99

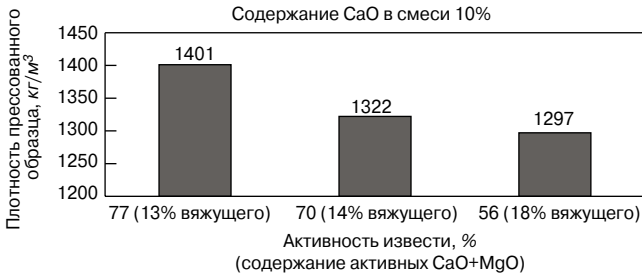


Рис. 10. Влияние качества извести на плотность прессованных образцов

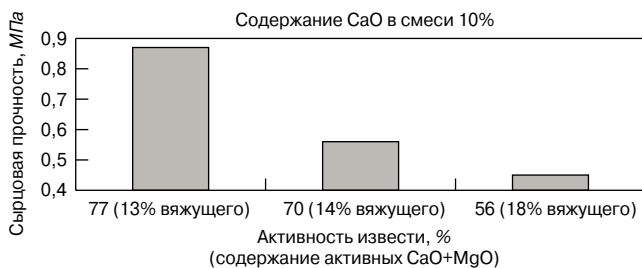


Рис. 11. Влияние качества извести на сырьевую прочность прессованных образцов

из Омска. Она имеет зерна крупного размера в сравнении с золами из Красноярска, г. Суворова Тульской обл. и Барнаула.

Используя полученные данные, можно подобрать состав хорошо прессуемой смеси и определиться с границами допуска. Как показали результаты, известь-пушонка по крупности является тонкомолотым компонентом по отношению к золе и золоотходам. Из

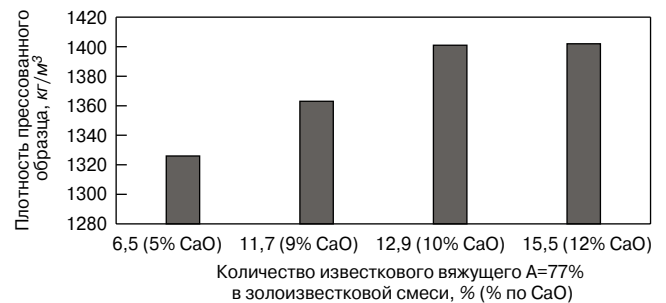


Рис. 12. Влияние количества тонкодисперсного связующего на плотность прессованного образца

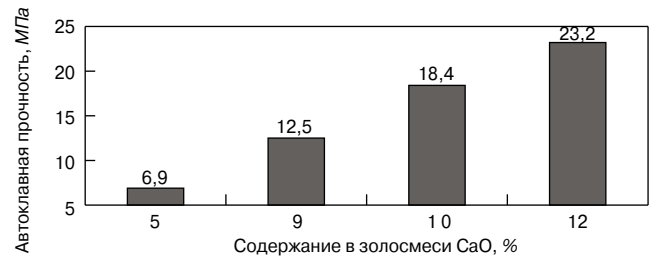


Рис. 13. Влияние состава смеси (содержание активных CaO) на автоклавную прочность

образцов, основанных на извести разной активности и с разным содержанием молотой негашеной извести, были спрессованы образцы и определена плотность. Результаты представлены на рис. 10.

При расчетном количестве CaO в смеси 10% количество вяжущего в зависимости от качества извести составило 13, 14 и 18% при активности извести 77, 70 и 56%. Снижение плотности и сырьевой прочности можно

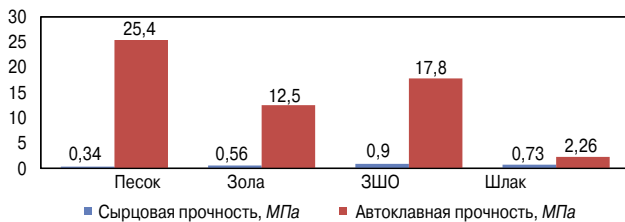


Рис. 14. Влияние крупности отходов ТЭЦ на прочностные показатели

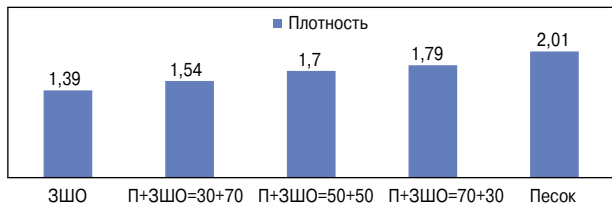


Рис. 15. Влияние укрупняющей добавки песка в ЗШО на плотность прессованного образца

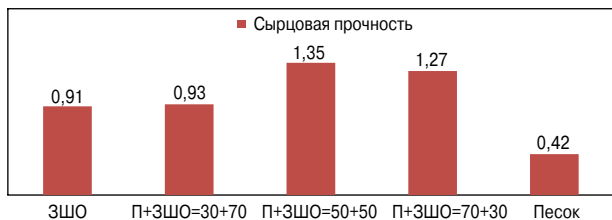


Рис. 16. Влияние добавки песка в состав ЗШО на сырцовую прочность

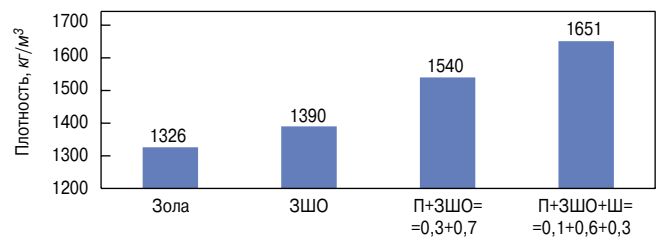


Рис. 17. Влияние гранулометрического состава золоотходов на плотность прессованных образцов

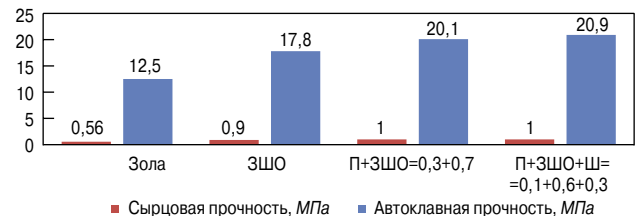


Рис. 18. Влияние гранулометрического состава золоотходов на прочность прессованных образцов

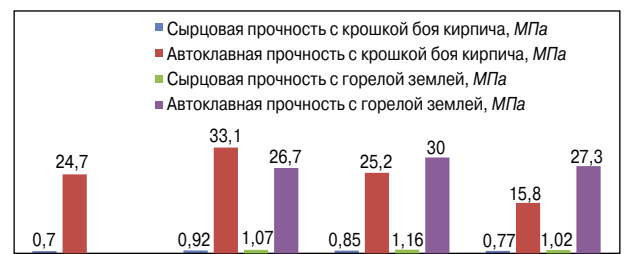


Рис. 19. Влияние укрупняющих добавок-отходов на прочностные характеристики прессованных смесей на основе золы

объяснить за счет ввода в смесь вместе с известью и недожженного известняка, количество которого тем больше, чем ниже качество извести. Это приводит к раздвижке зерен смеси.

Также при увеличении количества СаО в золосмеси с 5 до 12%, что соответствует увеличению количества вяжущего с 6,5 до 15,5%, растет и плотность массы. Увеличение вяжущего по содержанию извести более 10% неэффективно, так как в интервале 10–12% плотности не изменяется (рис. 12).

Как видно из результатов, увеличение количества извести в золоизвестковой смеси приводит к росту плотности до тех показателей, когда начинается значительная раздвижка зерен золы.

Автоклавная прочность выше у образцов с известью активностью 77%. Примененные извести активностью 56%, содержащей недожженные зерна, снижает прочность, так как нарушается баланс соотношения СаО:SiO<sub>2</sub> (рис. 13). Увеличение активности смеси напрямую влияет на автоклавную прочность образцов.

Исследованные составы зол и ЗШО позволили выделить размеры каркасообразующих зерен: в золах это 20 мкм, а в золошлаках – дискретный состав при каркасообразующей величине 100 мкм. Для выяснения наиболее приемлемой укрупняющей добавки проведен ряд исследований с вводом в состав золы и ЗШО укрупняющих добавок. Для золы с условным M<sub>кр</sub>=3,57, ЗШО с условным M<sub>кр</sub>=4,54, песка с M<sub>кр</sub>=1,6 и шлака с M<sub>кр</sub>=3,69 и содержанием извести по СаО 10% (соответствует 13% вяжущего в составе смеси) были изготовлены прессованные образцы с усилием прессования 20 МПа и определены их плотность и сырцовая прочность – факторы, определяющие внешний вид и транспортировочные свойства прессованного образца. Результаты представлены на рис. 14.

Как видно, примененный шлак не может быть самостоятельным компонентом по причине низкой химической активности. Лучший грансостав зольных порошков, так же как и при работе с песками, обеспечивает большую плотность и сырцовую прочность. Корректировку зольных порошков требуется производить укрупняющими добавками, но соответствующего размера. Была проведена замена части ЗШО на кварцевый песок. Результаты представлены на рис. 15.

Как можно видеть, добавка песка увеличивает плотность прессованного образца. Увеличение плотности повышает сырцовую прочность (рис. 16).

Как видно из полученных результатов, сырцовая прочность образца, изготовленного по прямой технологии, содержащей 10% извести (в пересчете на СаО) и песок, имеет небольшую величину. Сырцовая прочность на ЗШО того же состава по извести имеет сырцовую прочность в два раза выше, так как ЗШО имеют непрерывный зерновой состав, обеспечивающий плотность упаковки. А увеличение количества песка в составе ЗШО улучшает результат на 50% при составе 50+50%. Был проверен в качестве укрупняющей добавки основной шлак (стекловидный) (рис. 17).

В качестве укрупняющей добавки использован кварцевый песок и шлак. Результаты представлены по плотности на рис. 18.

Результаты испытания сырцовой и автоклавной прочности представлены на рис. 18.

С целью установления влияния укрупняющей добавки на свойства формовочной золосмеси приготовлена формовочная смесь с добавкой из отходов другого происхождения в количестве 10, 20 и 30%. В качестве добавок использованы крошка или искусственный песок, полученные из боя золосиликатного кирпича фракции 0–1,25 мм, и горелая земля. Горелая земля – это формо-



**Таблица 5**

**Модуль крупности исследуемых порошков**

Наименование исследуемого порошка	Условный $M_{кр}$
Зола ТЭЦ-3 (Барнаул)	2,44
Зола Черепетской ГРЭС (г. Суворов Тульской обл.)	2,68
Зола ТЭЦ-2 (Красноярск)	2,74
ЗШО ТЭЦ Байкальского ЦБК	3,07
Зола ТЭЦ (Омск)	3,57
ЗШО ТЭЦ-2 (Алматы, Республика Казахстан)	4,54
Известь негашеная	<b>2,48</b>
Известь-пушонка	<b>0,99</b>

**Таблица 6**

**Зерновой состав укрупняющих добавок-отходов**

	Номера сит						$M_{кр}$
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Менее 0,16	
Крошка из золокирпича							
Частные остатки, %	0,5	0,9	5,9	43,1	45,3	4,3	
Полные остатки, %	0,5	1,4	7,3	50,4	95,7	100	1,55
Горелая земля							
Частные остатки, %	4,7	1,2	4,7	14,4	68,6	6,4	
Полные остатки, %	4,7	5,9	10,6	25	93,6	100	1,4

вочная смесь для литья после использования. Горелая земля состоит на 90—95% из высококачественного кварцевого песка и небольших количеств различных добавок: бентонита, молотого угля, едкого натра, жидкого стекла, асбеста и др. В исследованиях была использована горелая земля с  $M_{кр}=1,83$ . Зерновой состав представлен в табл. 6.

Укрупняющая добавка вводилась в формовочную смесь, приготовленную по традиционной технологии с использованием ИКВ, без дополнительного введения извести. Результаты представлены на рис. 19.

Для повышения сырцовой прочности, улучшения прессования и плотности прессованного изделия достаточно введения 10% укрупняющей добавки от общей массы смеси. Наиболее эффективным является песок.

Как видно из полученных результатов, лучший гранулометрический состав зольных порошков, так же как и при работе с песками, обеспечивает большую плотность и сырцовую прочность. Корректировку зольных порошков требуется производить укрупняющими добавками, но уже своего соответствующего размера.

**Список литературы**

1. Рахимов Р.З., Магдеев У.Х., Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья // *Строительные материалы*. 2009. № 12. С. 7—11.
2. Калашников В.И. Бетоны: макро-, нано- и пикомасштабные сырьевые компоненты. Реальные нанотехнологии бетонов. *Дни современного бетона. От теории к практике: Сборник докладов конференции*. Запорожье. 2012. С. 38—50.
3. Кузнецова Г.В. Известковое вяжущее для стеновых силикатных изделий из отсевов дробления горных пород // *Строительные материалы*. 2014. № 12. С. 34—37.
4. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Проблемы замены традиционной технологии силикатного кирпича с приготовлением известково-кремнеземистого вяжущего на прямую технологию // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 14—18.
5. Калашников В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 70—71.
6. Боженков П.И. Технология автоклавных материалов. Л.: Стройиздат. 1978. 368 с.

Таким образом, проведенные обследования зол и ЗШО ТЭЦ с помощью предложенной программы позволили:

- определить гранулометрический состав мелко-дисперсных порошков в соответствии с методикой определения гранулометрического состава кварцевых песков;
- определить условный модуль крупности мелко-дисперсных порошков и сравнить их по крупности;
- по гранулометрическому составу золоотходов можно определить каркасообразующее зерно с точки зрения технологии полусухого прессования и выявления первой наиболее крупной фракции и присутствующей в большем количестве;
- использование двухзерновых золоотходов, так же как и таких же песков, требует ввода укрупняющих добавок;
- золошлаковые отходы, имеющие непрерывный гранулометрический состав, могут работать как с добавками, так и без.

**References**

1. Rakhimov R.Z., Magdeev U.Kh., Yarmakovskiy V.N. Ecology, Scientific Achievements and Innovations in the Manufacture of Building Materials on the Basis and with the Use of Technogenic Raw Materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 12, pp. 7—11. (In Russian).
2. Kalashnikov V.I. Concrete: macro-, nano- and pikomasshtabny input products. Real nanotechnologies of concrete. *Days of modern concrete. From the theory to practice: collection of reports of conference*. Zaporozh'e. 2012, pp. 38—50. (In Russian).
3. Kuznetsova G.V. A Lime Binder for Wall Silicate Products from Chippings of Rock Crushing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 12, pp. 34—37. (In Russian).
4. Kuznetsova G.V., Morozova N.N. Problems of Replacement of Traditional Technology of Silicate Brick with Preparation of a Lime- Siliceous Binder by Direct Technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 9, pp. 14—18. (In Russian).
5. Kalashnikov V.I. What is the Powder-Activated Concrete of New Generation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10, pp. 70—71. (In Russian).
6. Bozhenov P.I. *Tekhnologiya avtoklavnykh materialov* [Technology of autoclave materials]. Leningrad: Stroyizdat. 1978. 368 p.

УДК 691.41:625.8:622

Г.Ю. ШАГИГАЛИН, бакалавр, А.В. ГАТАУЛЛИН, бакалавр,  
Н.Б. ХАБАБУТДИНОВА, магистр (narkeska\_bik@mail.ru),  
Л.Н. ЛОМАКИНА, канд. техн. наук (lomakinaln@mail.ru)

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

## Оценка возможности применения в строительстве бурового шлама Республики Башкортостан

Буровой шлам является отходом бурения скважин при нефтедобыче. Поэтому вопрос его переработки всегда остро стоит перед нефтяниками. Существуют различные методы переработки буровых отходов. Особенно актуальным является вопрос полезного их применения в различных отраслях промышленности, в том числе в строительстве. Авторами проведены исследования буровых шламов Згурицкого и Чермасанского месторождений Республики Башкортостан для оценки возможности их применения в составе композиционного дорожно-строительного материала для основания дорог, промышленных площадок и прочих подобных сооружений. Разработанные составы содержали буровой шлам в количестве не менее 50 мас. %. Результаты исследований свидетельствуют, что данный материал не содержит экологически опасных элементов и может применяться для оснований и покрытий дорог IV категории.

**Ключевые слова:** переработка отходов, буровой шлам, дорожно-строительный композиционный материал.

G.Yu. SHAGIGALIN, Bachelor, A.V. GATAULLIN, Bachelor, N.B. KHABABUTDINOVA, Master (narkeska\_bik@mail.ru),  
L.N. LOMAKINA, Candidate of Sciences (Engineering) (lomakinaln@mail.ru)  
Ufa State Petroleum Technological University  
(1, Kosmonavtov Street, Republic of Bashkortostan, Ufa, 450062, Russian Federation)

### Assessment of the Use of Drilling Cuttings of the Republic of Bashkortostan in Construction

Drilling cuttings are waste of well boring at oil extraction. That's why the problem of its processing always sharply faces the oil workers. There are various methods of drilling waste processing. An issue of their useful application in different branches of the industry including constructing is especially relevant. Authors conducted studies of drilling cuttings of Zguritskoye and Chermasanskoye oil deposits for assessing the possibility of their use in the composition of a composite road-building material for road beds, oilfields and other similar structures. The content of drilling cuttings in the developed composition is not less than 50 mass %. Results of the study show that this material does not contain ecologically dangerous elements and can be used for beds and pavements of the IV category roads.

**Keywords:** waste processing, drilling cuttings, road building composite material.

При бурении скважин в нефтедобыче образуется большое количество отходов, содержащих различные компоненты, опасные для окружающей среды. Одним из таких отходов является буровой шлам. Многочисленные шламовые амбары могут являться постоянным источником загрязнения [1, 2]. Поэтому вопрос переработки бурового шлама всегда остро стоит перед нефтяниками.

Существуют различные методы переработки буровых отходов [3, 4]. Однако на сегодняшний день особенно актуальным является вопрос полезного применения отходов в различных отраслях промышленности, и в первую очередь в строительстве [5, 6].

Исследованный буровой шлам является отходом бурения на технической воде Згурицкого и Чермасанского

месторождений Республики Башкортостан. Целью исследований являлась оценка возможности применения исходного бурового шлама (без каких-либо энергозатрат на его переработку) в качестве материала (с добавлением цемента) для устройства оснований дорог, промышленных площадок и других подобных сооружений. На первом этапе необходимо было исследовать шлам на содержание в нем опасных для окружающей среды элементов (Li, As, Be, P, Cd, Pb). С этой целью был проведен морфологический анализ бурового шлама на растровом электронном микроскопе «JEOL JSM 6610-LV» с энерго-дисперсионным спектрометром «Oxford Inca Energy». По результатам анализа опасных элементов не выявлено, а обнаруженные элементы (Ca, C, K, Cl, Fe, Al, Na,



Рис. 1. Морфологический анализ поверхности (а) и элементарный состав бурового шлама (б)

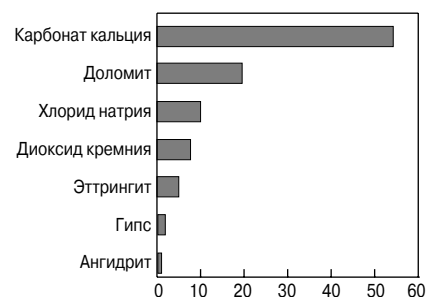
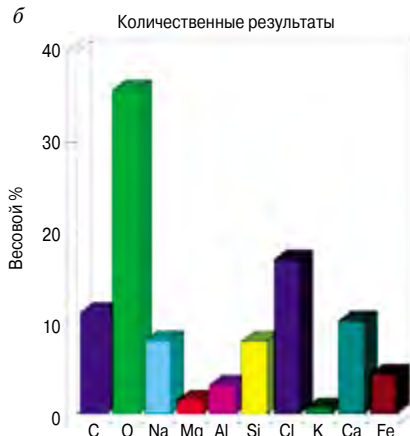


Рис. 2. Процентное соотношение фаз бурового шлама

O, Mg, Si) опасности не представляют и связываются с цементом в процессе его гидратации (рис. 1).

Анализ структуры бурового шлама методом рентгено-фазового анализа (РФА) на рентгеновском дифрактометре «D2 Phase» показал наличие в нем основных фаз: карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ , доломита  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , галита  $\text{NaCl}$ , диоксида кремния  $\text{SiO}_2$ , этрингита, гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ангидрита. Процентное соотношение фаз приведено на рис. 2.

На втором этапе исследований были подобраны составы дорожно-строительного композиционного материала (ДСКМ). Наиболее близким аналогом является материал «Буролит» и материал строительный грунто-шламовый укрепленный, описанный в патентах [7, 8]. Подбор осуществляли для составов с 50–100% содержанием бурового шлама по массе. Составы получали путем внесения в буровой шлам цемента, минерального наполнителя и добавок.

Основным критерием подбора являлось достижение предела прочности при сжатии в 28 сут по СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» не ниже 2 МПа – для основной дорог, не ниже 7,5 МПа – для дорожных покрытий.

Разработанные составы удовлетворяют требованиям СП 34.13330.2012 по прочности для основания дорог, промышленных площадок и прочих подобных сооружений: от 2,56 до 5,24 МПа. Лучшим по прочности оказался состав, имеющий прочность при сжатии 8,65 МПа, удовлетворяющий минимальным требованиям в 7,5 МПа. Составы испытывались на водопогло-

щение, которое имело значения 18,24–19,98 мас. %. Наилучший по прочности состав имел водопоглощение 15,9%.

Учитывая, что испытания на прочность проводились без учета уплотнения в виде имитации дорожного катка и без добавления щебня, считаем, что прочность и плотность составов существенно увеличится при выполнении этих технологических операций.

Были разработаны технологические карты с использованием ДСКМ наилучшего по прочности состава по двум вариантам: I – ДСКМ, приготовленный на мобильном бетоносмесительном узле; II – ДСКМ, приготовленный на строительной площадке. Проведено технико-экономическое сравнение обоих вариантов, а также сравнение с дорогой IV категории – щебеночной, укрепленной цементом (базовый способ). Наиболее экономически выгодным способом является устройство покрытия из ДСКМ по второму способу с уплотнением и втапливанием щебня: в 2,65 раза дешевле первого способа и в 4,75 раза дешевле базового способа.

Буровой шлам является отходом, поэтому при использовании его в составе композиционного материала может быть решена проблема улучшения экологической обстановки на нефтедобывающих территориях в Республике Башкортостан. Утилизация бурового шлама в «первозданном» виде позволит избежать затрат на энергоресурсы, снизить затраты на содержание и рекультивацию шламовых амбаров и полигонов, а также снизить затраты на строительные материалы при строительстве дорог.

#### Список литературы

1. Крашановский С.Е., Виноградов Е.В. Влияние буровых растворов на окружающую среду // *Творчество юных – шаг в успешное будущее: Материалы VII Всероссийской научной студенческой конференции с элементами научной школы им. проф. М.К. Коровина*. Томск, 10–14 ноября 2014 г. (<http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C66/134.pdf>) (дата обращения 28.03.2016).
2. Будников В.Ф., Булатов А.И., Макаренко П.П. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. М.: Недра, 1997. 483 с.
3. Ягафарова Г.Г., Барахнина В.Б. Утилизация экологически опасных буровых отходов // *Электронный научный журнал Нефтегазовое дело*. 2006. № 1. ([http://ogbus.ru/authors/Yagafarova/Yagafarova\\_2.pdf](http://ogbus.ru/authors/Yagafarova/Yagafarova_2.pdf)) (дата обращения 28.03.2016).
4. Король В.В., Позднышев Г.Н., Манырин В.Н. Утилизация отходов бурения скважин // *Экология и промышленность России*. 2005. № 1. С. 40–42.
5. Шагигалин Г.Ю., Гатауллин А.В., Ломакина Л.Н., Бикмеева Н.Б. Возможность применения буровых отходов в производстве строительных материалов // *Тезисы докладов 66-й студенческой научно-технической конференции*, Уфа, 2015.
6. Шагигалин Г.Ю., Гатауллин А.В., Ломакина Л.Н. Грунто-цементный строительный материал на основе бурового шлама // *Тезисы докладов VI научно-технической конференции ООО «БашНИПИнефть»*, Уфа, 2016.
7. Патент РФ 2426708. *Строительный материал Буролит* / Андреев О.П., Ахмедсафин С.К., Петров Г.Ф., Арабский А.К., Чеснов И.П., Уткина Н.Н. Заявл. 11.10.2006. Опубл. 20.07.2007. Бюл. № 23.
8. Патент РФ 2541009. *Грунт укрепленный дорожно-строительный* / Заболотский С.С. Заявл. 11.10.2006. Опубл. 20.07.2007.

#### References

1. Krashanovskiy S.E., Vinogradov E.V. Impact drilling fluid environment. *Young Creativity – step into a successful future: proceedings of the VII All-Russian Scientific Student Conference with elements of scientific school named after professor M.K. Korovina*. Tomsk. 10–14 November 2014. (<http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C66/134.pdf>) (date of access 28.03.2016) (In Russian).
2. Budnikov V.F., Bulatov A.I., Makarenko P.P. Okhrana okruzhayushchei sredy v neftegazovoi promyshlennosti [Environmental protection in the oil and gas industry]. Moscow: Nedra. 1997. 483 p.
3. Yagafarova G.G., Barakhnina V.B. Disposal of environmentally hazardous drilling waste. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal Neftegazovoe delo*. 2006. No. 1. ([http://ogbus.ru/authors/Yagafarova/Yagafarova\\_2.pdf](http://ogbus.ru/authors/Yagafarova/Yagafarova_2.pdf)) (date of access 28.03.2016). (In Russian).
4. Korol' V.V., Pozdnyshch G.N., Manyrin V.N. Disposal of drilling waste. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2005. No. 1, pp. 40–42. (In Russian).
5. Shagigalin G.U., Gataullin A.V., Lomakina L.N., Bikmeeva N.B. The applicability of drilling waste in the production of building materials. *Thesis report 66 student scientific conference*. Ufa. 2015. (In Russian).
6. Shagigalin G.U., Gataullin A.V., Lomakina L.N. Soil-cement building material on the basis of drill cuttings. *Thesis report VI scientific and technical conferences LLC "BashNIPIneft"*. Ufa. 2016. (In Russian).
7. Patent RF 2426708. *Stroitel'nyi material Buroolit* [Building material Buroolit]. Andreev O.P., Akhmedsafin S.K., Petrov G.F., Arabskiy A.K., Chesnov I.P., Utkina N.N. Declared 11.10.2006. Published 20.07.2007. (In Russian).
8. Patent RF 2541009 *Grunt ukreplennyi dorozhno-stroitel'nyi* [Soil fortified road-building]. Zabolotskiy S.S. Declared 11.10.2006; Published 20.07.2007. (In Russian).



УДК 691.16

Ю.В. ТОНЕВИЦКИЙ<sup>1</sup>, канд. хим. наук; Д.М. МОГНОНОВ<sup>1,2</sup>, д-р хим. наук;  
О.Ж. АЮРОВА<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук (chem88@mail.ru); Ю.Н. КУЗНЕЦОВ<sup>1</sup>, аспирант

<sup>1</sup> Бурятский государственный университет (670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а)

<sup>2</sup> Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН (670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)

## Модификация дорожного битума отходами производства\*

Рассмотрена возможность модификации дорожного битума отходами Селенгинского ЦКК в качестве компонента, улучшающего его реологические показатели. Наиболее эффективным способом улучшения свойств битумов является модификация полимерами. Химическое взаимодействие компонентов в битумполимерных композициях обеспечивает их однородность и стабильность, снижает вероятность расслоения композиции из-за разности плотностей битумов и модификаторов. Полученные экспериментальные данные подтверждают наличие положительного технического эффекта применения лигнинсодержащих отходов для улучшения реологических свойств дорожного битума. Полученный битумполимерный материал с концентрацией лигнина мас. %: 2, 5 и 10, а также 10 мас. % сульфолигнина позволяет регулировать реологические свойства битумного вяжущего при применении в дорожном строительстве.

**Ключевые слова:** модифицированный битум, битумполимерные материалы, лигнин, сульфолигнин, реологические свойства, пенетрация, дуктильность, температура хрупкости, температура размягчения.

Yu.V. TONEVITSKI<sup>1</sup>, Candidate of Science (Chemistry) (svtonev@gmail.com); D.M. MOGNONOV<sup>1,2</sup>, Doctor of Science (Chemistry) (dmog@binm.bsnet.ru); O.Zh. AYUROVA<sup>1,2</sup>, Candidate of Science (Engineering) (chem88@mail.ru); Yu.N. KUZNETSOV<sup>1</sup>, Postgraduate (yuriy\_kuznetsov1.9.8.9@mail.ru)

<sup>1</sup> Buryat State University (24a Smolin Street, 670000, Ulan-Ude, Russian Federation)

<sup>2</sup> Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of the Russian Academy of Science (6, Sakhyanovoy Street, 670047, Ulan-Ude, Russian Federation)

### Modification of Road Bitumen by Production Waste\*

The possibility of modifying the road bitumen by the waste of Selenginsky Cellulose and Cardboard Plant as a component that improves its rheological performance is considered. The most effective way of improving the properties of bitumens is modification by polymers. The chemical interaction of components in the compositions of bitumen-polymer materials provides their homogeneity and stability, and reduces the probability of separation of the composition due to the density difference of bitumens and modifiers. The experimental data confirm the presence of positive technical effect of application of lignin-containing waste to improve rheological properties of road bitumen. The obtained bitumen-polymer material with concentrations of lignin wt%: 2, 5 and 10, and 10 wt% of sulfolignin, makes it possible to adjust the rheological properties of the asphalt binder when used in road construction.

**Keywords:** modified bitumen, polymer-bitumen materials, lignin, sulfolignin, rheological properties, penetration, ductility, brittleness temperature, softening temperature.

Дорожные битумы относятся к группе нефтяных дисперсных систем, в ядрах коллоидных частиц которых силовыми центрами служат парамагнитные молекулы, ароматические углеводороды и гетеросоединения. Свойства битумов зависят как от стабильности коллоидных частиц во времени, их размеров, взаимодействия внешних сольватных слоев.

При получении битумов из гудронов на российских НПЗ широко применяют технологию ускоренного (5–6 ч) барботажного дегидрирования. В таких условиях скорость роста коксообразных (графитоподобных) образований становится очень высокой и у битумов с «окислительным» происхождением резко уменьшается стабильность, устойчивость к старению, повышается водопоглощение материала и снижаются свойства. Кроме того, совершенствование процессов крекинга, глубина переработки нефти при получении моторных топлив и смазочных масел достигают в настоящее время 95%. Это приводит к сокращению объемов производства битумов (в экономически развитых странах их производство составляет 3–5% на перерабатываемую нефть). Поступающий на переработку гудрон имеет неконтролируемый разброс показателей, что оказывает существенное влияние на качество битума. В этой связи одной из задач модификации таких битумов становится исправление их свойств в конечном продукте.

Из стандартных показателей, достаточно характеризующих физико-механические свойства битумных вяжущих материалов и дающих полезную информацию об

их качестве, остаются температуры размягчения и хрупкости, пенетрация, относительное удлинение и эластичность.

Низкое качество дорожных битумов, неудовлетворительная для климатических условий России трещиностойкость, эластичность, адгезия, существенный рост движения транспорта на автомобильных дорогах являются определяющими факторами преждевременного разрушения дорожных, мостовых и аэродромных асфальтобетонных покрытий, что создает необходимость повышения технических требований к битумным вяжущим материалам [1].

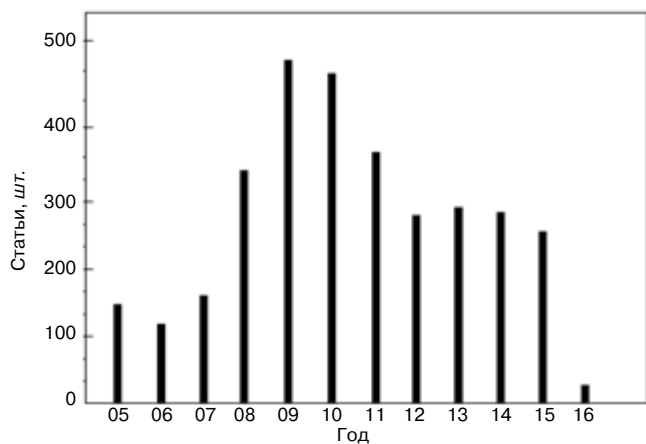
Одним из способов комплексного подхода к решению проблемы качества дорожных битумов является применение полимерных компонентов, модифицирующих свойства битумов.

К настоящему времени в науке и практике накоплен большой объем знаний о дорожных битумах, их модификации и применении для устройства дорог с улучшенным покрытием [2]. В этой связи представляет интерес наукометрический анализ имеющихся в литературе сведений с использованием ресурсов научной базы данных (БД) Scopus®. Согласно БД Scopus® общее число публикаций, классифицируемых по ключевому слову «дорожный битум», за период 2005–2016 гг. составляет 3207. Распределение ссылок по годам свидетельствует о стабильном интересе к объекту исследования за последние десять лет (рис. 1).

Характер распределения публикаций по ключевым словам (табл. 1) позволяет установить наиболее популярным

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Бурятского государственного университета № 2016-16Е.

\* The work is executed under the financial support of the grant of the Buryat State University № 2016-16E.



**Рис. 1.** Распределение по годам количества статей с ключевыми словами «дорожный битум»

лярные экспериментальные задачи. При рассмотрении восьми ключевых слов, непосредственно относящихся к области битумных материалов, модификации битума, уместно отметить, что наибольший интерес представляют работы по следующим направлениям – модификация битума, битумполимерные материалы, причем модификация битума отходами производства не имеет публикаций. В этой связи модификация битума отходами Селенгинского ЦКК для улучшения качества является актуальной и перспективной.

Цель проведенных исследований – модификация окисленных битумов лигниносодержащими отходами для повышения его реологических показателей с возможным последующим применением полученного битум-полимерного материала (БПМ) при строительстве дорог с улучшенным покрытием.

**Экспериментальная часть**

Гидролизный сульфолгнин (лигнохранилище Селенгинского ЦКК) обработали в течение 24 ч концентрированным раствором гидроксида натрия с последующим упариванием раствора и отделением лигнина фильтрованием. Лигнин промыли водой до pH=7 и высушили в сушильном шкафу при температуре 105–110°C до постоянной массы. Далее лигнин просеяли через сито с диаметром отверстий 1 мм [3].

Известно, что методика определения температуры размягчения условна и обоснована лишь с технической точки зрения, поэтому был выполнен динамический термогравиметрический анализ (ТГА) и дифференциально-сканирующая калориметрия (ДСК) битума при нагревании на воздухе до 1000°C при скорости нагревания 5°C/мин (синхронно-термический анализатор STA 449 C, NETZSCH, Германия).

Получение БПМ: измельченный до порошкообразного состояния воздушно-сухой лигнин при перемешивании добавляли в разогретый до 60°C битум марки БНД 90/130 Ангарского НПЗ. Затем постепенно повышали температуру смеси до 170°C и перемешивали при этой температуре 2–2,5 ч, после чего охлаждали до комнатной температуры.

Полученные образцы БПМ на основе битума нефтяного дорожного 90/130 (БНД 90/130), модифицированного лигнином, были исследованы для установления технического эффекта по основным реологическим показателям, характеризующим битум как дисперсную систему коллоидных размеров по вязкоупругим свойствам. Для рассмотрения влияния концентрации полимерного компонента БПМ на свойства битума его ос-

**Таблица 1**

Наименование темы	Статьи, шт.
Дорожный битум	3207
Модификация битума	99
Резинобитумные материалы	7
Битумполимерные материалы	14
Модификация битума минеральными материалами	7
Механизм модификации битума	6
Технология получения битума	131

новные показатели определяли по действующим ГОСТ 11501–78, ГОСТ 11506–73, ГОСТ 11505–75 и ГОСТ 11507–78.

**Обсуждение результатов**

Лигнин – природный полимер нерегулярного строения. Его разветвленные макромолекулы построены главным образом из остатков замещенных фенолоспиртов. Особенностью лигнина является значительная роль реакций сшивания макромолекул, приводящих к повышению молекулярной массы, снижению растворимости и реакционной способности лигнина. Значительный интерес могут представлять реакции концевых гидроксильных групп фенолоспиртов. В последнее время допускается возможность существования в небольшом числе ФПЕ (фенилпропановой единицы) с насыщенными пропановыми цепями типа –CH<sub>2</sub>–CH<sub>2</sub>–CH<sub>2</sub>OH, –СНОН–СНОН–СН<sub>2</sub>OH, а также содержащими γ-метильные группы, присутствие которых в лигнине ранее отрицалось. Реакции концевых групп находят применение лишь для качественного определения лигнина по характерным реакциям, что не исключает их возможного участия в реакциях присоединительного типа [4].

Преимуществом модифицированных битумов по сравнению с традиционными вяжущими материалами является то, что применение для их модификации полимеров уменьшает термочувствительную зависимость вяжущего вещества. А использование битумполимерных композиций в асфальтобетоне придает дорожному покрытию ряд специфических качеств: повышается эластичность, устойчивость к резким температурным колебаниям и обратимым деформациям, что приводит к увеличению сроков службы дорожного покрытия.

С технической точки зрения для создания битумполимерных материалов с практически значимыми свойствами могут применяться только те модификаторы, которые:

- не разрушаются при температуре приготовления асфальтобетонной смеси;
- совместимы с битумом при проведении смешения на оборудовании при температурах приготовления асфальтобетонных смесей;
- химически и физически стабильны с сохранением свойств при хранении, переработке и в составе дорожного покрытия [5].

На рис. 2. видно, что потеря массы наблюдается выше 190°C и сопровождается экзотермическими процессами окисления.

Таблица 2

Состав	Температура размягчения, °С	Пенетрация, мм	Дуктильность, см	Температура хрупкости (по Фраасу), °С
БНД 90/130	46	129	72	-17
БНД 90/130 + 2% лигнин	72	95	21	-24
БНД 90/130 + 5% лигнин	61	73	19	-26
БНД 90/130 + 10% лигнин	56	39	13	-28 (макс. по прибору), нет видимых трещин
БНД 90/130 + 1,5% «Элвалой»	64	91	19	н.д.
БНД 90/130 + 5% резиновый регенерат	54	65	9	н.д.

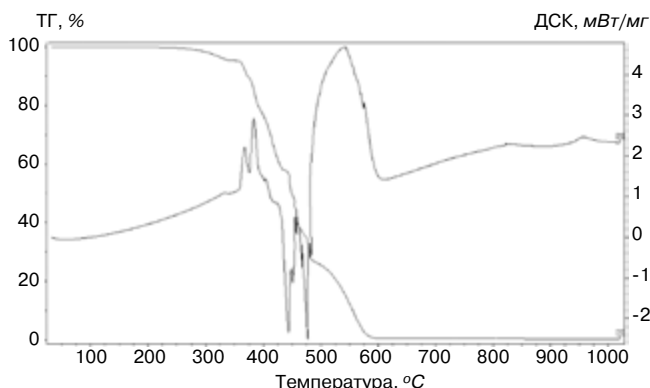


Рис. 2. Динамический ТГА и ДСК битума БНД 90/130

Образующиеся на начальной стадии термоокислительной деструкции летучие продукты представляют продукты окисления СО и СО<sub>2</sub>, а также фрагменты низкомолекулярных углеводородов с массой ионов 14, 16, 28, 40 и 44 по данным квадрупольного масс-спектрометра QMS 403 С Aeolos (NETZSCH, Германия).

Полученные результаты ограничивают верхний предел нагревания битума 170–190°C, что соответствует существующему технологическому регламенту.

Характер изменения зависимости основных реологических свойств (табл. 2) от массы лигнина прямолинейный, это позволяет полагать, что БПМ, полученные из окисленного битума и лигнина, однородны по фазовому и химическому составу и по своей структуре являются стабильными композиционными материалами.

В периодической литературе имеются публикации на тему применения различных типов модификаторов остаточных битумов, например известны результаты применения модификатора битумов «Элвалой 4170» фирмы «Дюпон», представляющий гранулы сополимера этилена с бутилакрилатом и глицидилметакрилатом. Модификатор «Элвалой» обладает, по мнению разработчиков, существенным техническим эффектом, который был подтвержден при применении в окисленных битумах НПЗ Татарстана различных марок – дорожном, кровельном и строительном. Основным

#### Список литературы

1. Гохман Л.М., Гурарий Е.М., Давыдов А.Р., Давыдова К.И. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства. М.: Информавтодор, 2002. Вып. 4. 112 с.
2. Калинин В.В., Масюк А.Ф., Худякова Т.С. Особенности структуры и свойств битумов, модифицированных полимерами // *Дорожная техника*. Ежегодный каталог-справочник. 2003. С. 174–181.

недостатком «Элвалой 4170» является стоимость приобретения у производителя, что исключает его широкое применение в условиях дефицита финансовых средств.

Интересным представляется сравнение полученных и известных реологических данных различных типов полимерных модификаторов битума:

- гибкоцепных линейных сополимеров алифатического характера – «Элвалой»;
- мелкодисперсного с участками редкосшитых макромолекул полимера – резинового регенерата [6];
- плоских сеток из ароматических и алифатических фрагментов, содержащих функциональные гетероатомные группировки – лигнин и сульфолигнин [7].

В табл. 2 также приведены сравнительные реологические данные битума БНД 90/130 и его модифицированных составов в виде битумполимерных материалов с «Элвалоем», резиновым регенератом [8], лигнином и сульфолигнином.

Из табличных данных следует, что содержание лигнина в битуме 2 и 5%, а также 10% сульфолигнина сопоставимо по техническому эффекту как с 1,5% содержанием «Элвалоя», так и с 5%-м содержанием резинового регенерата.

#### Заключение

Полученные данные подтверждают наличие положительного улучшающего технического эффекта применения лигносодержащих отходов в качестве модификатора для улучшения реологических свойств остаточных битумов. Полученный БПМ с концентрацией лигнина мас. %: 2, 5 и 10, а также 10 мас. % сульфолигнина позволяет регулировать реологические свойства битумного вяжущего при применении в дорожном строительстве.

С учетом накопленных и образующихся объемов отходов лигнина в целлюлозно-бумажной промышленности результаты исследования могут являться не только перспективным направлением рационального использования природных ресурсов, но и направлением, связанным с решением экологических проблем, в том числе и в Байкальском регионе.

#### References

1. Gokhman L.M., Gurarii E.M., Davydov A.R., Davydova K.I. Polimerno-bitumnye vyazhushchie materialy na osnove SBS dlya dorozhnogo stroitel'stva. [Polymer-bitumen binders on the basis of SBS for road construction]. Moscow: Informavtodor. 2002. Vol. 4. 112 p.
2. Kalinin V.V., Masyuk A.F., Khudyakova T.S. Structure and properties of bitumen modified with polymers. *Road-*



3. Эпштейн Я.В., Ахмина Е.И., Раскин М.Н. Рациональное направление использования гидролизного лигнина // *Химия древесины*. 1977. № 6. С. 24–44.
4. Киселев В.П., Бугаенко Э.В., Ефремов А.А., Толстихин К.А. Физико-механические свойства асфальтобетонных композиций с добавками растительных полимеров // *Материалы II международной научно-технической конференции «Экспериментальные методы в физике структурно-неоднородных конденсированных средах»*. Барнаул, 2001. С. 107–114.
5. Смирнов Н.С. Новая жизнь «выжатых» битумов. Вяжущие материалы БИТРЭК на основе химически обработанных окисленных битумов и мелкодисперсной резиновой крошки // *Дороги России XXI века*. 2002. № 6. С. 70–78.
6. Сурмели Д.Д. Влияние вида резины на параметры производства и качество резинобитумных материалов // *Строительные материалы*. 1976. № 5. С. 21–22.
7. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Модифицированные битумные вяжущие строительного назначения // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 50–51.
8. 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 Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2011. № 1 (15). С. 140–146.
3. Epstein Ya.V., Akhmina E.I., Raskin M.N. Rational direction of use of a hydrolytic lignin. *Khimiya drevesiny*. 1977. No. 6, pp. 24–44. (In Russian).
4. Kiselev V.P., Bugayenko E.V., Yefremov A.A., Tolstikhin K.A. Physical and mechanical properties of asphalt compositions with additives of plant polymers. *Proceedings of the II International Scientific Conference “Experimental methods in physics of heterogeneous condensed matter”*. Barnaul. 2001, pp. 107–114. (In Russian).
5. Smirnov N.S. New life of the “squeezed-out” bitumens. The knitting materials BITREK on the basis of chemically processed oxidized bitumens and a fine rubber crumb. *Dorogi Rossii XXI veka*. 2002. No. 6, pp. 70–78. (In Russian).
6. Surmeli D.D. Influence of a kind of rubber on the production parameters and quality of rubber materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1976. No. 5, pp. 21–22. (In Russian).
7. Ayupov D.A., Murafa A.V., Khakimullin Yu.N., Khozin V.G. Modified bituminous binders for construction application. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 8, pp. 50–51. (In Russian).
8. Ayupov D.A., Potapova L.I., Murafa A.V., Fakhrutdinova V.H., Khakimullin Yu.N., Khozin V.G. Research of features of interaction of bitumens with polymers. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2011. No. 1, pp. 140–146. (In Russian).


**БЕЛГОРОДСКАЯ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА**  
**БЕЛЭКСПОЦЕНТР**

**15 - 17 марта 2017**

**Межрегиональные  
специализированные выставки**

**БЕЛЭКСПОСТРОЙ**  
**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ЖКХ**

Т./ф.: (4722) 58-29-40, 58-29-48, 58-29-65, 58-29-68, 58-29-41  
 E-mail: [belexpro@mail.ru](mailto:belexpro@mail.ru); [www.belexprocentr.ru](http://www.belexprocentr.ru); г. Белгород, ул. Победы, 147а

## Экспериментальное определение коэффициентов трения некоторых потенциально термоактивных минералов\*

В связи с появлением новой концепции электрических печей с подвижными подовыми платформами, обладающих удельной энергоемкостью обжига вермикулита 50–60 мДж/м<sup>3</sup> и приспособленных для термоактивации других минералов, возникла задача определения их коэффициентов трения скольжения в движении. Это обусловлено необходимостью моделирования движения однослойных потоков термообрабатываемых минералов на вибрирующих поверхностях платформ. В статье приведены результаты экспериментов по определению коэффициентов трения некоторых потенциально термоактивных минералов.

**Ключевые слова:** вермикулит, электрическая печь с подвижными подовыми платформами, термоактивация минералов, коэффициенты трения скольжения.

A.I. NIZHEGORODOV, Doctor of Sciences (Engineering),  
Irkutsk National Research State Technical University (83, Lermontov street, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

### Experimental Determination of Friction Coefficient of Some Potential Thermosetting Minerals

In view of a new concept of an electric kiln with movable hearths with energy density of vermiculite burning 50-60 MJ/m<sup>3</sup> and meant for thermal activation of other minerals the problem appeared to determine their coefficient of kinetic friction during the movement. It is caused by the need of movement modelling of one-layered flows of heat-treated minerals on the vibrating surface of hearths. The experimental results are presented to find friction coefficient of some potential thermosetting minerals.

**Keywords:** vermiculite, electric kiln with movable hearths, thermal activation of minerals, coefficient of kinetic friction.

В заскладированных вскрышных породах Ковдорского флогопит-вермикулитового месторождения помимо породообразующих минералов, накоплены сотни тысяч тонн вермикулита и сунгулита [1], являющихся ценным сырьем.

Способы применения вспученного вермикулита известны. Благодаря его слоисто-пористой структуре огнеупорные изделия на его основе отличаются высокими термоизоляционными свойствами [2]. Вермикулит является эффективным теплоизоляционным материалом, пористым наполнителем для легких бетонов, из него готовят сухие строительные смеси, в том числе огнезащитные, его применяют для звукоизоляции, используют при разливе стали, для фильтрации воды, в качестве адсорбента дыма и ядовитых газов, как противорадиационный материал [3, 4].

Сунгулит – сопутствующий минерал, после термоактивации становится эффективным реагентом для детоксикации техногенно загрязненных ландшафтов и водных объектов [5]. Технология переработки данного сырья включает дробление, гравитационное обогащение в гидравлическом сепараторе с отведением слива, сушку, электромагнитную сепарацию и обжиг с пневмосепарацией [6].

Подобные технологии применяются для получения потенциально термоактивных минералов серпентиновой группы: антигорита, лизардита, хризотила и др., являющихся исходным сырьем для получения магнезиально-силикатных реагентов, которые могут применяться в природоохранных мероприятиях.

Возможности совершенствования электрических модульно-спусковых печей [4], более десяти лет применяющихся для обжига вермикулита, исчерпаны. Даже применение дополнительных, так называемых «нулевых» модулей, не потребляющих энергии, но повышающих энергоэффективность процесса обжига за счет внутренней эксэргии недовспученных зерен вермикулита, по-

зволило достигнуть энергоемкости 170–175 мДж/м<sup>3</sup>. Это вдвое меньше, чем в традиционных огневых печах [7], но этого мало: электроэнергия обходится дороже, чем энергия сжигания углеводородного топлива.

Поэтому появилась новая концепция электрических печей с подвижной подовой платформой, способная радикально снизить удельную энергоемкость обжига вермикулита до 50–60 мДж/м<sup>3</sup>. Кроме того, новые печи имеют и новые возможности – они приспособлены для термоактивации различных минералов, могут использоваться для термоактивации некоторых видов строительных песков, золы-уноса ТЭС, металлургических шлаков, некоторых видов глин и даже для нормализации мелких стальных изделий в машиностроении и др.

#### Старая и новая концепции.

В модульно-спусковых печах по мере движения зерен вермикулита время прохождения участков модулей сокращалось, интервалы между ними увеличивались, концентрация снижалась, в нижней части она становилась минимальной, а средний интервал частиц для вермикулитового концентрата с условным диаметром зерна  $D$  становился равным  $\delta = (6...6,5) D$ . Отношение суммарной площади проекции зерен на поверхность модуля к площади 0,2 м<sup>2</sup>, занимаемой ими на первом участке при регулярном строении однослойного массива, равнялось 0,785. Это же отношение на пятом участке снижалось до 0,046, а концентрация уменьшалась в 17 раз. Поэтому здесь лишь незначительная часть лучистой энергии поглощалась вермикулитом.

Радикально улучшить условия теплопереноса и теплоусвоения можно, изменив характер движения сыпучего материала, при котором на всей поверхности подовой платформы отношение суммарной площади проекции зерен к площади 0,2 м<sup>2</sup>, взятой на любом участке, будет максимально возможным для модели регулярного по структуре потока и равно примерно 0,785. Этого можно

\*Поддержано грантом ФГБУ «Фонд содействия развитию малых предприятий в научно-технической сфере». Заявка С1–11374. Приказ № 22–39 от 04. 03.2016. Договор № 1243 ГС 1 / 21693

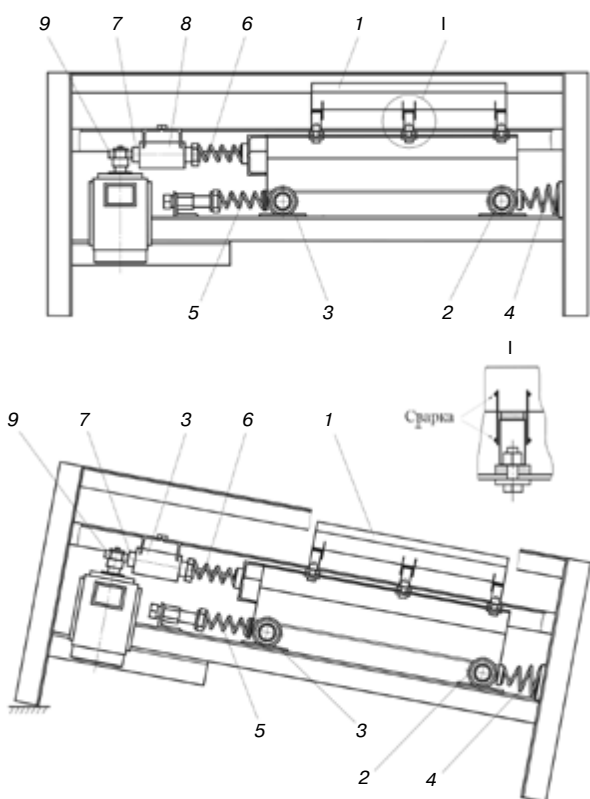


Рис. 1. Одиночный модуль с вибрационной подовой платформой трехмодульной электрической печи



Рис. 2. Наклонная стальная поверхность

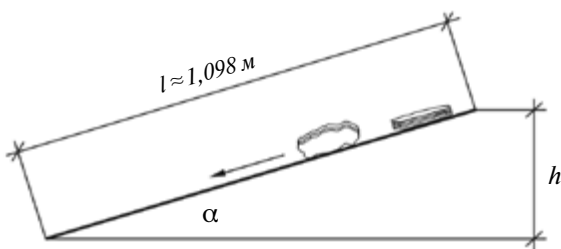


Рис. 3. Схема к определению коэффициентов трения скольжения в движении

достигнуть вибрационным способом организации движения частиц и вспучивающихся зерен вермикулита.

При уклоне  $15\text{--}20^\circ$  движение сыпучей среды происходит только под действием приложенных к основанию колебаний. Особенно эффективны несимметричные колебания, вызывающие одностороннее транспортирование без уклона [8]. Организовать такое движение можно за счет установки нелинейных упругих элементов с той стороны, куда должен двигаться поток.

По предварительным расчетам только один однофазный модуль будет обеспечивать производительность по вспученному вермикулиту  $1,5\text{--}1,6\text{ м}^3/\text{ч}$ , как модульно-

спусковая печь, рассмотренная в работе [9]. Трехфазная трехмодульная печь из трех таких блоков будет иметь производительность около  $4,5\text{ м}^3/\text{ч}$  при равной потребляемой электрической мощности.

На рис. 1 показан одиночный модуль с вибрационной подовой платформой трехмодульной электрической печи. В модуле 1 находится вибрационная платформа, которая является колебательной системой. Она установлена на подшипниках 2 в направляющих 3 и подпружинена пружинами 4 и 5. Пружина 6 является элементом кинематического возбудителя колебаний, содержащего плунжер 7 с цилиндром 8 и эксцентриковый привод 9. Крепление элементов платформы, выполненной из толстого листового металла, пустотелых балок коробчатого сечения и двух швеллеров, показано на фрагменте I. Соединение элементов обеспечено сваркой через проволочные стержни, способные при нагревании платформы, компенсировать ее температурное расширение.

Конические пружины 4 предназначены для создания несимметричных колебаний платформы и создания вибротранспортного эффекта. Кроме несимметрии колебаний другим важным фактором, определяющим скорость вибрационного транспортирования сыпучей среды, является наклон платформы, который обеспечивается наклоном опытного образца печи, как это показано на нижнем виде, рис. 1.

Внутри модуля установлены нагревательные элементы. В отличие от модульно-спусковых печей между поверхностью платформы и нагревателями есть зазор, который настраивается при переходе от одного вида и размерности сырья к другой. Благодаря зазору исключается контакт нагревателей с термообрабатываемым материалом. Эта особенность позволяет производить термоактивацию других различных минералов кроме вермикулита.

Для различных материалов, о которых уже упоминалось выше, режимы вибрации также должны быть разными, так как все они обладают различными физическими и механическими свойствами, в том числе и коэффициентами трения.

Цель работы состоит в экспериментальном определении коэффициентов трения скольжения в движении некоторых сыпучих минералов, потенциально способных к термоактивации в новых электрических печах с вибрационной подовой платформой.

#### Эксперименты.

Одним из факторов, определяющих скорость движения частиц минералов (и время их движения) по наклонной колеблющейся поверхности подовой платформы является трение скольжения в движении. Для моделирования динамики движения термообрабатываемых в печи сыпучих сред необходимы значения этих коэффициентов, так как известно, что в движении трение снижается на  $5\text{--}8\%$  [10].

На рис. 2 показана наклонная стальная плоскость, имитирующая подовую платформу печи, на которой производились опыты.

Несколько частиц примерно одинаковых размеров того или иного минерала устанавливались на наклонную обезжиренную, хорошо очищенную поверхность. Для вспученного вермикулита, с учетом анизотропии его физических свойств, зерна устанавливались сначала на ребро, а затем на плоскость.

Длина наклонной поверхности была неизменной ( $l = 1,098\text{ м}$ ), а высота ее правой части  $h$  изменялась в широких пределах. При различных значениях  $h$  и  $\alpha$  на поверхность устанавливалось по пять частиц того или иного минерала или вспученных зерен вермикулита. Затем им сообщалось слабое возмущение в виде сдвига для страгивания из состояния сцепления и возможности дальнейшего схода.



Таблица 1

**Вермикулитовый концентрат кокшаровский.  
Средний условный диаметр частиц 8,7 мм**

№ опыта	Высота $h$ , м	Число сходов и зависаний
1	0,468	Зависло 5 частиц
2	0,473	1 сход, 4 зависания
3	0,49	4 схода, 1 зависание
4	0,498	4 схода, 1 зависание
5	0,51	5 сходов

Результаты:  $h_{cp} = 0,504$  м,  $Sin\alpha = 0,459$ ,  $\alpha = 27^\circ 20'$ ,  $f = tg\alpha = 0,52$ .



Рис. 4. Вспученные зерна вермикулита Ковдорского (слева), Кокшаровского и Татарского (справа) месторождений

Таблица 2

**Вермикулитовый концентрат ковдорский.  
Средний условный диаметр частиц 5,2 мм**

№ опыта	Высота $h$ , м	Число сходов и зависаний
1	0,518	2 схода, 3 зависания
2	0,544	3 схода, 2 зависания
3	0,605	4 схода, 1 зависание
4	0,628	5 сходов

Результаты:  $h_{cp} = 0,617$  м,  $Sin\alpha = 0,56$ ,  $\alpha = 34^\circ 20'$ ,  $f = tg\alpha = 0,68$ .

Таблица 3

**Вермикулитовый концентрат Татарский  
Средний условный диаметр частиц 2,75 мм**

№ опыта	Высота $h$ , м	Число сходов и зависаний
1	0,557	Зависло 5 частиц
2	0,633	2 схода, 3 зависания
3	0,659	2 схода, 3 зависания
4	0,689	5 сходов

Результаты:  $h_{cp} = 0,674$  м,  $Sin\alpha = 0,61$ ,  $\alpha = 37^\circ 30'$ ,  $f = tg\alpha = 0,76$ .

Таблица 4

**Сунгулит очищенный ковдорский.  
Средний условный диаметр частиц 3,2 мм**

№ опыта	Высота $h$ , м	Число сходов и зависаний
1	0,46	2 схода, 3 зависания
2	0,48	3 схода, 2 зависания
3	0,502	4 схода, 1 зависание
4	0,519	5 сходов

Результаты:  $h_{cp} = 0,51$  м,  $Sin\alpha = 0,465$ ,  $\alpha = 27^\circ 45'$ ,  $f = tg\alpha = 0,526$ .

Первый опыт производился при наименьших значениях  $h$  и  $\alpha$ , потом угол наклона плоскости увеличивался. При минимальном наклоне возмущение вызывало страгивание одной-двух частиц или не вызывало страгивания ни одной частицы. По мере увеличения угла наклона количество начавших движение частиц увеличивалось, а количество зависших – снижалось. Последним опытом был тот, в котором сходили все частицы.

По двум опытам – предпоследнему, максимально близкому к пограничному состоянию, и последнему, определялось среднее значение  $h_{cp}$ , рассчитывалось значение синуса угла наклона:

$$Sin\alpha = h_{cp} / l.$$

Таблица 5

**Вермикулит вспученный кокшаровский.  
Установка зерен на ребро  
Средний условный диаметр зерен 6,5 мм**

№ опыта	Высота $h$ , м	Число сходов и зависаний
1.	0,496	Зависло 5 зерен
2.	0,502	2 схода, 3 зависания
3.	0,522	3 схода, 2 зависания
4.	0,547	3 схода, 2 зависания
5.	0,555	5 сходов

Результаты:  $h_{cp} = 0,551$  м,  $Sin\alpha = 0,502$ ,  $\alpha = 30^\circ 5'$ ,  $f = tg\alpha = 0,579$ .

Таблица 6

**Вермикулит вспученный кокшаровский.  
Установка зерен на плоскость.  
Средний условный диаметр зерен 5,7 мм**

№ опыта	Высота $h$ , м	Число сходов и зависаний
1	0,455	Зависло 5 зерен
2	0,462	1 сход, 4 зависания
3	0,485	3 схода, 2 зависания
4	0,502	4 схода, 1 зависание
5	0,513	5 сходов

Результаты:  $h_{cp} = 0,467$  м,  $Sin\alpha = 0,462$ ,  $\alpha = 27^\circ 30'$ ,  $f = tg\alpha = 0,52$ .

Таблица 7

**Вермикулит вспученный Татарский.  
Установка зерен на ребро  
Средний условный диаметр зерен 3,9 мм**

№ опыта	Высота $h$ , м	Число сходов и зависаний
1	0,54	3 схода, 2 зависания
2	0,544	4 схода, 1 зависание
3	0,551	5 сходов

Результаты:  $h_{cp} = 0,55$  м,  $Sin\alpha = 0,5$ ,  $\alpha = 30^\circ 0'$ ,  $f = tg\alpha = 0,577$

Таблица 8

**Вермикулит вспученный Татарский.  
Установка зерен на плоскость  
Средний условный диаметр зерен 3,6 мм**

№ опыта	Высота $h$ , м	Число сходов и зависаний
1	0,537	3 схода, 2 зависания
2	0,561	4 схода, 1 зависание
3	0,584	4 схода, 1 зависание
4	0,603	5 сходов

Результаты:  $h_{cp} = 0,594$  м,  $Sin\alpha = 0,54$ ,  $\alpha = 32^\circ 45'$ ,  $f = tg\alpha = 0,644$ .



Рис. 5. Поле значений коэффициентов трения скольжения в движении сырьевых материалов, развернутых по условным диаметрам

Далее определялся  $tg\alpha$ , угол наклона поверхности  $\alpha$  и коэффициент трения скольжения в движении:

$$f = tg\alpha.$$

В таблицах выборочно приведены результаты опытов и расчетов.

Приведенный в них массив данных не дает возможности увидеть некоторые закономерности, проявляющиеся в графических иллюстрациях. На рис. 5 показано поле значений коэффициентов трения скольжения в движении  $f$  сырьевых материалов, развернутых по размерам условных диаметров частиц  $d_{усл}$ , рассчитанных по формуле для плоских частиц (вермикулит, флогопит):

$$d_{усл} = \sqrt[2]{a_1 \cdot a_2}.$$

На рис. 6 – поле значений коэффициентов трения скольжения в движении  $f$  вспученных материалов, развернутых по размерам условных диаметров зерен  $d_{усл}$ , определенных по формуле для объемных частиц (сунгулит, пироксен, оливин):

$$d_{усл} = \sqrt[3]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3},$$

где  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  – произвольные размеры частиц в двух или трех направлениях.

На рис. 5 линия 1–2 (кокшаровские концентраты) и линия 3–4 (ковдорские концентраты) показывают тенденцию к увеличению коэффициента трения для относительно мелких частиц. Хотя изменение незначительно, следует иметь в виду, что это обстоятельство потребует корректировки режима колебаний вибрационной подовой платформы печи.

Кроме того, из рис. 5 видно, что коэффициенты трения частиц вермикулита-сырца заметно отличаются для концентратов различных месторождений. Так, минимальным трением обладают частицы кокшаровского концентрата, а максимальным – частицы концентрата Татарского месторождения (точка 5). Промежуточное положение занимают ковдорские концентраты.

Точка 6 на рис. 5 соответствует флогопитовым частицам Ковдорского месторождения. Наименьшим трением отличаются частицы сунгулита и пироксен-оливиновой фазы, точки 7 и 8 на рис. 5.

Аналогичные тенденции проявляют вспученные зерна вермикулитов различных месторождений, рис. 6, но здесь на коэффициент трения оказывает влияние их положение на поверхности. Круглыми точками обозначены зерна, положенные на плоскость, когда их слои парал-

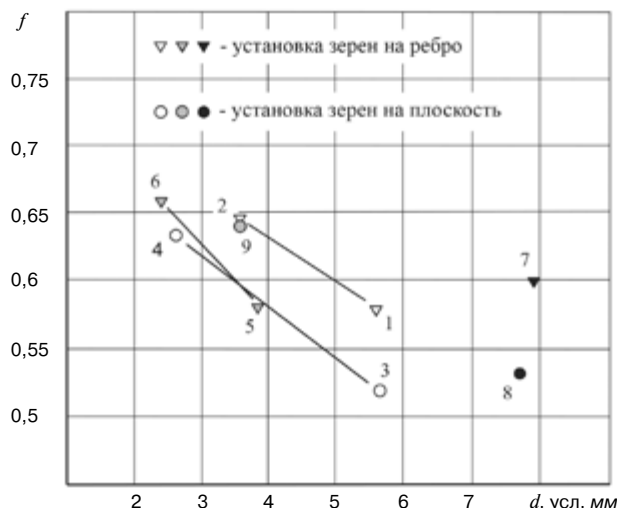


Рис. 6. Поле значений коэффициентов трения скольжения в движении вспученных материалов, развернутых по условным диаметрам

лельны наклонной плоскости, а треугольниками обозначены зерна поставленные на ребро.

Линия 1–2 на рис. 6 показывает увеличение коэффициента трения для относительно мелких зерен кокшаровского вермикулита, установленных на ребро. Ту же тенденцию мы видим и для зерен, положенных на плоскость, линия 3–4. Но зерна, положенные на плоскость, отличаются несколько меньшим трением.

Линия 5–6 показывает тенденцию к увеличению коэффициента трения для относительно мелких зерен Татарского вермикулита, поставленных на ребро. Непарными точками 7 и 8 обозначены зерна ковдорского вермикулита, а точкой 9 – татарского вермикулита.

Во вспученном состоянии расхождение в коэффициентах трения для зерен Вермикулитов различных месторождений становится меньше.

#### Заключение.

Эксперименты производились на холодной поверхности, так как провести их на раскаленном до 500–600°C металлическом листе не представлялось возможным. Вполне вероятно, что высокая температура несколько изменит трение, поэтому окончательные результаты дадут эксперименты на работающей печи.

Тем не менее имеющиеся данные будут использоваться при моделировании движения сыпучих массивов термообрабатываемых материалов по поверхности вибрационной подовой платформы печи, что позволит получить алгоритм воздействия на параметры ее колебаний для управления скоростью движения потока и в конечном итоге – для управления производительностью печного агрегата.

#### Список литературы

- Афанасьев Б.В. Минеральные ресурсы щелочно-ультраосновных массивов Кольского полуострова. СПб: Изд-во «Роза ветров». 2011. 224 с.
- Ахтямов Р.Я. Вермикулит – сырье для производства огнеупорных теплоизоляционных материалов // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2009. № 1–2. С. 59–64.
- Полов Н.А. Производство и применение вермикулита М.: Стройиздат, 1964. 128 с.
- Нижегородов А.И. Технологии и оборудование для переработки вермикулита: оптимальное фракционирование, электрический обжиг, дообогащение. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. 172 с.
- Кременецкая И.П., Беляевский А.Т. Аморфизация серпентиновых минералов в технологии получения

магнезиально-силикатного реагента для иммобилизации тяжелых металлов // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2010. № 1. С. 41–49.

6. Терещенко С.В. Направления комплексного использования отходов добычи флогопита. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Горный институт Кольского научного центра РАН. Апатиты. СПб.: Реноме. 2014. С. 272–279.
7. Ахтямов Я.А., Бобров В.С. Обжиг вермикулита. М.: Стройиздат, 1973. 54 с.
8. Вибрации в технике: Справочник: В 6-ти т. М.: Машиностроение. Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела, 1981. 509 с.
9. Нижегородов А.И. Третье поколение электрических модульно-спусковых печей для обжига вермикулитовых концентратов серии ПЭМС // *Строительные материалы*. 2008. № 11. С. 84–85.
10. Генералов М.Б. Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии. Калуга: Изд-во Бочкаревой, 2002. 592 с.

#### References

1. Afanas'ev V.V. Mineral'nye resursy shchelochno-ul'traosnovnykh massivov Kol'skogo poluostrova [Mineral Resources of the Ultrabasic-Alkaline Massifs of the Kola Peninsula]. St. Petersburg: Roza Vetrov, 2011. 224 p.
2. Akhtyamov R.Ya. Vermiculite Is a Raw Material to Produce Fireproof and Heat-Insulating Material. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika*. 2009. No. 1–2, pp. 59–64. (In Russian).
3. Popov N.A. Proizvodstvo i primeneniye vermiculita [Production and Applications of Vermiculite]. Moscow: Stroizdat. 1964. 128 p.
4. Nizhegorodov A.I. Tekhnologii i oborudovanie dlya pererabotki vermikulita: optimal'noe fraktsionirovanie, elektricheskii obzhig, doobogashchenie. [Technologies and Equipment for Processing Vermiculite: Optimum Granulation, Electric Firing, Additional Enrichment]. Irkutsk: ISTU. 2011. 172 p.
5. Kremenetskaya I.P., Belyaevskii A.T. Amorphization of Serpentes Used to Produce Magnesia Silicate Agent for High-Density Metal Immobilization. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*. 2010. No. 1, pp. 41–49. (In Russian).
6. Tereshchenko S.V. Napravleniya kompleksnogo ispol'zovaniya otkhodov dobychi flogopita [Tendency of Multipurpose Use of Phlogopite Extraction Waste. Materials of All-Russian scientific and technical conference]. Mining institute of Kola Science Center of Russian Academy of Sciences. – Apatity. St. Petersburg: Renome. 2014, pp. 272–279.
7. Akhtyamov Ya.A., Bobrov V.S. Obzhig vermikulita [Technology of Vermiculite Calcination]. Moscow: Stroizdat. 1973. 54 p.
8. Vibrations in Engineering. Handbook in 6 Volumes. Moscow: Engineering. 4 V. Vibration Processes and Machine, Lavendelis, E.E., Ed., 1981. 509 p.
9. Nizhegorodov A.I. The Third Generation of Electric Kilns with Module Release Used to Burn Vermiculite Concentrates a Series of RAW. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 11, pp. 84–85. (In Russian).
10. Generalov M.B. Mekhanika tverdykh dispersnykh sred v protsessakh khimicheskoi tekhnologii [Mechanics of Solid Dispersive Mediums in the Chemical Process Engineering]. Kaluga: Bochkarev publishing house. 2002. 592 p.

## ИНФОРМАЦИЯ

### Научно-техническое совещание «Применение керамзита и керамзитобетонных изделий и конструкций в жилищно-гражданском, промышленном и дорожном строительстве»

28–29 сентября 2016 г. в Самаре состоялось научно-техническое совещание «Применение керамзита и керамзитобетонных изделий и конструкций в жилищно-гражданском, промышленном и дорожном строительстве», организованное Некоммерческой организацией «Союз производителей керамзита и керамзитобетона» (НО «СПКиК»).

Участники совещания – ученые, производственники, машиностроители и потребители, всесторонне обсудили актуальные проблемы производства и применения керамзита и керамзитобетона в строительстве, как долговечных, энергоэффективных, пожаробезопасных, экологически чистых, надежных в эксплуатации и доступных строительных материалов и изделий в свете реализации решений заседания Госсовета РФ по вопросам развития строительного комплекса и совершенствования градостроительной деятельности и концепций «Стратегия инновационного развития строительной отрасли на период до 2030 года» и «Стратегия развития промышленности строительных материалов Российской Федерации на период до 2030 года».

Важным направлением расширения применения керамзита признано дорожное строительство, этому вопросу были посвящены доклады

В.М. Горина, канд. техн. наук, председателя Совета НО «СПКиК», генерального директора АО «НИИКерамзит»; М.К. Кабановой, канд. техн. наук, ведущего научного сотрудника АО «НИИКерамзит» (Самара); А.З. Виле, руководителя направления ООО «Русское техническое общество» (Москва).

С предложениями о поставке технологического оборудования выступили руководители машиностроительных предприятий: В.Л. Уткин, президент НПЦ «Стройтех» (Москва); В.В. Петрин, зам. генерального директора ЗАО ТД «Строммашина» (Самара), В.В. Чуб, главный конструктор агрегатного оборудования АО «Машиностроительный концерн ОРМЕТ-ЮУМЗ» (Оренбургская обл.).

Об опыте применения керамзита и керамзитобетона в строительстве рассказали руководители керамзитовых заводов и строительных организаций.

По результатам работы участники научно-технического совещания приняли Решение, в котором изложены рекомендации по выводу производства керамзита на новый качественный уровень и расширению сфер его эффективного применения, которые будут направлены в Минстрой РФ, Минпромторг РФ, ГК «Автодор», ОАО «Новатэк» и др. организации.





# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья — это сочинение небольшого размера (до 3-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

### НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

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

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

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

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

### ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

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

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

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

**ВНИМАНИЕ! С 1 января 2014 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!**

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

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов (заполненная информационная карта). Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)

**Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/7>**

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

# InterConPan-2017

International Conference of Large-panel Construction

4–6 апреля 2017 г. / April 4–6, 2017

Чебоксары / Cheboksary

## ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

- Состояние базы крупнопанельного домостроения в РФ
- Модернизация предприятий КПД
- Оборудование и технологии
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Архитектурно-планировочные решения
- Качество и энергоэффективность полносборных зданий
- Расчет и конструирование узлов сборных элементов
- Новые решения фасадов
- Опыт строительства крупнопанельного жилья

## ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ:

- 4 апреля** 1) пленарное заседание  
2) выездная сессия:  
ОАО «Железобетонные конструкции №1»  
Жилые комплексы (Чебоксары)
- 5 апреля** Научно-практическая конференция.  
Секции: «Архитектура и особенности проектных решений крупнопанельных зданий»;  
«Гибкая технология предприятий ДСК и КПД»
- 6 апреля** выездная сессия:  
ООО «ГАЛЕН»

Спонсор конференции:



Партнеры конференции:



К проведению конференции готовятся тематические номера журналов

«Жилищное строительство» № 3-2017 г. и «Строительные материалы»® № 3-2017 г.,

в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 15.02.2017 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 редакция журнала «Жилищное строительство»





# EVO2 EXTRUDER

## НОВЫЙ ЭКСТРУДЕР EVO2 ХОРОШАЯ МАШИНА СТАЛА ЕЩЕ ЛУЧШЕ

Экструдер EVO 2, наилучший выбор для производства преднапряженных пустотных плит.



УЛУЧШЕННОЕ КАЧЕСТВО  
КОНЧЕЧНОГО ПРОДУКТА  
СНИЖЕННАЯ СТОИМОСТЬ  
ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ЛЕГКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ  
И УПРАВЛЕНИЕ МАШИНОЙ  
НОВЫЙ ДИЗАЙН