

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

№11



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

НОЯБРЬ 2017 г. (754)

VIATOR®
Das Pellet.

VIATOR 66® и VIATOR Premium®:

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

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

ООО РЕТТЕНМАЙЕР РУС



Природные
волокна
Член концерна JRS

Российским дорогам —
немецкое качество



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

InterConPan–2018

International Conference of Large-panel Construction

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

Воронеж / Voronezh

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

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

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ:

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

Генеральный спонсор конференции:

KERAMA MARAZZI

Постоянный партнер конференции:

ALLBAU software

Партнеры конференции:

WECKENMANN

TeKa

EVG

при содействии:

ANTON OHLERT

При поддержке Воронежского государственного
технического университета



К проведению конференции готовятся тематические номера журналов
«Жилищное строительство» № 3–2018 г. и «Строительные материалы»® № 3–2018 г.,

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

Организационный комитет:

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

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

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

Уважаемые коллеги!

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

1. На любой период в редакции

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

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

2. Традиционно по каталогам

По объединенному каталогу
«Пресса России»

индекс **70886**



По каталогу агентства
«Роспечать»

индекс **79809**

В настоящее время открыта подписка на I полугодие 2018 г.

3. Электронная версия

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

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

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

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

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

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

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 11

Основан в 1955 г.

(754) ноябрь 2017 г.

Главный редактор:

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

Редакционный совет:

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

БУРЬЯНОВ А.Ф.,
 д-р техн. наук, директор Российской
 гипсовой ассоциации (Москва)

БУТКЕВИЧ Г.Р.,
 канд. техн. наук, член правления
 Ассоциации «Недра» (Москва)

ВАЙСБЕРГ Л.А.,
 д-р техн. наук, профессор,
 академик РАН
 (Санкт-Петербург)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Современные бетоны: наука и практика

С.С. КАПРИЕЛОВ, А.В. ШЕЙНФЕЛЬД, В.Г. ДОНДУКОВ

Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов 4

XXIV сессия международного технического комитета ISO/TC 71

«Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон»
впервые пройдет в Москве в мае 2018 года (Информация).....11

С.Н. ЛЕОНОВИЧ, Д.А. ЛИТВИНОВСКИЙ

Вязкость разрушения высокопрочного бетона после воздействия высокой
температуры.....12

Б.В. ГУСЕВ, А.И. ЗВЕЗДОВ

Теоретические и экспериментальные исследования статистических вопросов
прочности бетонов.....18

Л.И. КАСТОРНЫХ, И.А. ДЕТОЧЕНКО, Е.С. АРИНИНА

Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства
самоуплотняющихся бетонов. Часть 2. Реологические характеристики
бетонных смесей и прочность самоуплотняющихся бетонов.....22

I Международные научно-технические «Гвоздевские чтения» (Информация)28

В.Г. ХОЗИН, А.Р. ГИЗДАТУЛЛИН

Совместимость полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном
в конструкциях.....30

М.А. ГОНЧАРОВА, И.А. ТКАЧЕВА

Применение адгезионных добавок в асфальтобетоне
с гранитным и шлаковым щебнем39

Технологии и оборудование

В.Г. КУЗНЕЦОВ, И.П. КУЗНЕЦОВ

Рекомендации по установке и креплению футеровки ППФ-Астики на
промышленное оборудование, работающее на увлажненных материалах 43

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, С.Г. МАКАРОВ, А.М. ВАСЯКИН

Расширение возможностей установок «Каскад»47

Результаты научных исследований

И.А. СТАРОВОЙТОВА, А.Н. СЕМЁНОВ, Е.С. ЗЫКОВА, В.Г. ХОЗИН, А.М. СУЛЕЙМАНОВ

Модифицированные клеевые связующие для систем внешнего армирования
строительных конструкций. Часть 1. Требования к клеям. Технологические
характеристики50

М.А. АВДУШЕВА, А.Л. НЕВЗОРОВ

Влияние магнетита на электропроводность растворной смеси.....55

М.А. САВЕЛЬЕВА, Л.А. УРХАНОВА, П.К. ХАРДАЕВ

Перспективы использования коллоидных добавок
для модификации цементного камня59

А.И. НИЖЕГОРОДОВ

Устойчивость уплотненных вермикулитовых массивов
в трехслойных стенах в критических условиях.....64

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 (754) ноябрь 2017

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

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

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

VAYSBERG L.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAS
(St. Petersburg)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Modern concretes: science and practice

S.S. KAPRILOV, A.V. SHEINFELD, V.G. DONDUKOV

Cements and Additives for Producing High-Strength Concretes 4

The XXIV Session of the ISO/TC 71 «Concrete, Reinforced Concrete, Pre-Stressed Concrete» International Technical Committee for the first time will be held in Moscow in May 2018 (Information)..... 11

S.N. LEONOVICH, D.A. LITVINOVSKIY

Destruction Viscosity of High-Strength Concrete after High Temperature Impact 12

B.V. GUSEV, A.I. ZVEZDOV

Theoretical and Experimental Studies of Statistical Issues of Concrete Strength 18

L.I. KASTORNYKH, I.A. DETOCHENKO, E.S. ARININA

Effect of Water-Retaining Additives on Some Properties of Self-Compacting Concretes. Part 2. Rheological Characteristics of Concrete Mixes and Strength of Self-Compacting Concretes 22

The First Scientific-Technical «Gvozdev Readings» (Information) 28

V.G. KHOZIN, A.R. GIZDATULLIN

Compatibility of Polymer-Composite Reinforcement with Cement Concrete in Structures 30

M.A. GONCHAROVA, I.A. TKACHEVA

The Use of Adhesion Additives in Asphalt Concrete with Granite and Slag Crushed Stone 39

Technologies and equipment

V.G. KUZNETSOV, I.P. KUZNETSOV

Recommendations for Installation and Fastening of Lining PPFП-Astiki at Industrial Equipment Operating with Moistened Materials 43

I.F. SHLEGEL, S.G. MAKAROV, A.M. VASYAKIN

Enhancement of «Kaskad» Units 47

Results of scientific research

I.A. STAROVOJTOVA, A.N. SEMJONOV, E.S. ZYKOVA, V.G. HOZIN, A.M. SULEJMANOV

Modified Glue Binders for Systems of External Reinforcement of Building Structures Part 1. Requirements for Glues, Technological Characteristics 50

M.A. AVDUSHEVA, A.L. NEVZOROV

Influence of Magnetite on Electrical Conductivity of Mortar Mix 55

M.A. SAVEL'EVA, L.A. URKHANOVA, P.K. KHARDAEV

Prospects of Application of Colloidal Additives for Modifying Cement Stone 59

A.I. NIZHEGORODOV

Stability of Compacted Vermiculite Masses in Three-Layer Walls under Critical Conditions 64

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.

С.С. КАПРИЕЛОВ, д-р техн. наук (kapriellov@mail.ru),
А.В. ШЕЙНФЕЛЬД, д-р техн. наук, В.Г. ДОНДУКОВ, инженер
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6)

Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов

На основании анализа механизма формирования высокопрочной структуры цементного камня, заключающегося в направленном регулировании фазового состава и дифференциальной пористости, определена эффективность водоредуцирующих добавок для производства высокопрочных бетонов. Установлено, что альтернативой цементам повышенной активности со специальным химико-минералогическим составом может быть рядовой портландцемент типа ЦЕМ I, используемый в сочетании с высокоактивными минеральными добавками и суперпластификаторами или в сочетании с поликомпонентными органоминеральными модификаторами типа МБ, содержащими все необходимые для достижения высокой прочности ингредиенты. Сделанные на основании анализа выводы, заключающиеся в том, что для производства бетонов класса до В120 можно использовать традиционные для стройиндустрии материалы, позволили за короткий срок организовать в России массовое производство высокопрочных бетонов.

Ключевые слова: цемент, добавка, суперпластификатор, органоминеральный модификатор, цементный камень, фазовый состав, пористость, высокопрочный бетон.

Для цитирования: Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Дондуков В.Г. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 4–10.

S.S. KAPRIELOV, Doctor of Sciences (Engineering) (kapriellov@mail.ru), A.V. SHEINFELD, Doctor of Sciences (Engineering), V.G. DONDUKOV, Engineer
NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction (6, 2nd Institutskaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

Cements and Additives for Producing High-Strength Concretes

On the basis of the analysis of the formation mechanism of the high-strength structure of cement stone which means the directed regulation of the phase composition and differential porosity, the efficiency of water-reducing admixtures for producing high-strength concretes has been determined. It is established that an alternative to cement of increased activity with the special chemical-mineralogical composition can be ordinary Portland cement of TSEM 1 type which is used in combination with high-active mineral additives and super-plasticizers or in combination with poly-component organic-mineral modifiers of MB type containing all ingredients required for achieving the high strength. Conclusions made on the basis of analysis that for producing concretes of grades up to B 120 materials traditional for building industry can be used made it possible in a short time to organize in Russia the mass production of high-strength concretes.

Keywords: cement, additive, super-plasticizer, organo-mineral modifier, cement stone, phase composition, porosity, high-strength concrete.

For citation: Kapriellov S.S., Sheinfeld A.V., Dondukov V.G. Cements and additives for producing high-strength concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 4–10. (In Russian).

Среди выдающихся технических достижений человечества, резко повлиявших на развитие цивилизации, особое место, не менее заметное, чем, например, двигатель внутреннего сгорания, занимает портландцемент.

Эволюция портландцемента с момента его изобретения, формально признанного в 1824 г. за Джозефом Аспдином, до наших дней происходила в контексте повышения его активности и придания специальных свойств, вовлечения вспомогательных материалов и снижения стоимости.

История применения добавок для бетонов значительно короче, объемы производства несравненно меньше, но значимость сопоставима с цементом. Представить себе современную технологию без добавок, модифицирующих структуру и свойства цементного камня и бетона, невозможно.

И вполне естественно, что эволюция цемента и добавок взаимосвязана с развитием и совершенствованием главного материала, для которого они предназначены, — бетона и технологии его производства.

А в технологии бетона, как известно, постоянно происходят изменения, которые приняв стремительный, можно сказать, экспоненциальный характер в период с 1980-х до конца 1990-х гг., в настоящее время хотя и несколько замедлились, но все-таки продолжают.

Появились новые, модифицированные бетоны, отличающиеся от обычных не только прочностными и

реологическими свойствами, но и низкой проницаемостью и повышенной коррозионной стойкостью [1, 2]. Особое внимание привлекают высокопрочные бетоны прочностью при сжатии от 80 до 120 МПа, в том числе с компенсированной усадкой и самоупрочением, а также сверхвысокопрочные сталефибробетоны и так называемые «активированные порошковые» (Reactive Powder), которые нашли практическое применение и стали актуальным конструкционным материалом.

Соответственно, обозначились пути развития вяжущих для бетонов.

Первый — совершенствование производства традиционного портландцемента с целью повышения его активности (класса по прочности) за счет тонкости помола (увеличения степени дисперсности) и оптимизации химико-минералогического и вещественного состава.

Второй — механохимическая активация обычного портландцемента с целью повышения активности и снижения водопотребности за счет совместного помола цемента с суперпластификаторами, песком или минеральными добавками. Наглядный пример — вяжущее низкой водопотребности (ВНВ).

Третий — получение специальных высокоактивных вяжущих с добавками наномасштабного уровня дисперсности — коллоидным кремнеземом или даже углеродными нанотрубками [3]. Таким вяжущим уже подобран соответствующий термин — «наноцемент».

Отдавая должное механохимической активации и наномодифицированию цементов, признаем, что эти направления в одном случае не всегда эффективны, в другом — носят концептуальный характер и требуют дальнейшей разработки. В настоящее время для приготовления высокопрочных бетонов требуется доступное вяжущее с индустриальными объемами производства. Таким является портландцемент.

Современное представление о цементе сформировалось в середине 1990-х гг., когда выработались общая терминология, классификация и технические требования, впоследствии стандартизированные в статусе Еврокода EN 197-1, а затем и ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия». Напомним, что согласно стандартной классификации, которая основана на идентификации цементов по вещественному составу и классу прочности, к типу I, или ЦЕМ I, относится портландцемент без минеральных добавок (по существу, клинкерный) или с минимальным, не более 5% содержанием минеральных добавок. Другие четыре типа цементов (II, III, IV, V) являются его производными, включают в дополнение к клинкеру разные минеральные добавки природного или техногенного происхождения.

Принципы получения высокопрочного цементного камня

Научным обоснованием производства новых модифицированных бетонов является современное представление о механизме формирования высокопрочной и плотной структуры цементного камня с управляемыми деформативными свойствами.

В отличие от традиционного подхода к получению высокопрочного цементного камня, который базируется на закономерности, выраженной известной формулой Абрамса, и ориентирует на применение высокоактивного вяжущего, минимизацию водовязущего отношения и соответственно пористости затвердевшей структуры камня [4], современное представление основывается на том, что сложные коллоидно-химические процессы, сопутствующие гидратации, должны, кроме того, приводить и к смещению баланса между кристаллогидратами, образующими «скелет» цементного камня, в сторону более прочных и стойких, так называемых вторичных новообразований. А вместе с тем должна быть изменена и дифференциальная пористость цементного камня, т. е. баланс между объемами гелевых, микро- и макропор соответственно смещен в сторону первых.

Для понимания сути таких изменений остановимся на особенностях структуры цементного камня — фазовом составе и пористости.

Фазовый состав. Цементный камень, как известно, представляется полидисперсным материалом, сформированным из прогидратировавшейся гелеобразной массы с включениями крупных кристаллов и волокон разной формы, частиц негидратировавшего цемента, а также пор. Гелеобразная масса, состоящая из гидросиликатов кальция (ГСК) и обозначаемая общей формулой $C-S-H$ и термином «тоберморитовый гель» [5], имеет разную степень закристаллизованности, соответственно мелкокристаллическую чешуйчатую, или слоистую, структуру. Занимая от 50 до 60% объема новообразований прогидратировавшего цемента типа I [6] и являясь основным структурообразующим компонентом цементного камня, гидросиликаты кальция (ГСК) разделяются на низкоосновные — CSH(I) размером кристаллогидратов коллоидного масштаба, (менее 100 нм), и более крупные высокоосновные — CSH (II).

Разница в физических и механических свойствах двух типов ГСК предопределяется соотношением C/S (CaO/SiO_2). Низкоосновные ГСК типа CSH(I) с соотношением C/S не более 1,5 — (0,8–1,5) $CaO \cdot SiO_2 \cdot (0,5–2,5)H_2O$, включающие несколько разновидностей кристаллогидратов, являются самыми прочными и устойчивыми новообразованиями цементного камня. По мнению Тимашева [7], прочность на растяжение относящихся к этому типу ГСК тоберморита, фозагита и ксонотлита достигает 1300–2000 МПа, что обусловлено преобладанием в них сильной ковалентной связи (Si–O). А прочность высокоосновных ГСК типа CSH(II) с соотношением C/S более 1,5 почти вдвое ниже, что связано с преобладанием в них ионной связи (Ca–O).

В этом контексте стоит обратить внимание на то, что прочность других кристаллогидратов в структуре цементного камня, не относящихся к тоберморитовому гелю, например портландита (занимающего около 20–25% объема новообразований [6]) и этtringита, еще ниже.

Пористость цементного камня принято дифференцировать по уровню дисперсности: по размеру — расстоянию между противоположными стенками и по характеру — форме или происхождению.

По одной из известных классификаций [8] поровое пространство можно условно разделить на поры надмолекулярного (1×10^{-3} – 5×10^{-3} мкм), субмикроскопического (более 5×10^{-3} до 1×10^{-1} мкм), микроскопического (более 1×10^{-1} до 4×10 мкм) и макроскопического (более 4×10 до 2×10^3 мкм) уровней.

В надмолекулярный (до 5×10^{-3} мкм) и субмикроскопический (до 1×10^{-1} мкм) уровни вписываются поры тоберморитового геля, преимущественно шелевидной формы [9], связанные с присутствием в твердой фазе ультрадисперсных низкоосновных ГСК типа CSH(I), которые, как указано выше, являются наиболее прочным структурообразующим компонентом цементного камня, а также более крупных и менее прочных высокоосновных CSH(II). Гелевая пористость, являясь следствием коллоидно-химических процессов, происходящих при гидратации цемента, полностью предопределена фазовым составом цементного камня и степенью гидратации цемента.

Ориентировочный объем гелевых пор при полной гидратации цемента (идеальный случай), по Пауэрсу, относительно стабилен — около 28% [9], однако в реальном цементном камне с обычно присутствующим в нем остаточным клинкерным фондом он должен быть меньше.

В микроскопический уровень (до 4×10 мкм) попадают поры разной формы, сформированные грубодисперсными новообразованиями (например, портландитом и этtringитом), капилляры, полости и микродефекты, которые способствуют проницаемости и снижению прочности цементного камня. Этот вид пор обычно идентифицируется как капиллярный. Являясь следствием процессов, происходящих при гидратации цемента, и миграции свободной (несвязанной) воды, капиллярная пористость зависит от наличия в структуре камня крупных кристаллогидратов (фазового состава), водоцементного отношения и степени уплотнения частиц цемента (технологического фактора). Соответственно, объем капиллярных пор нестабилен, может изменяться в широком диапазоне от 5 до 10%.

Макроскопический уровень (до 2×10^3 мкм) характеризуется порами технологического характера — вовлеченным или защемленным воздухом, раковинами и т. п., которые тоже негативно отражаются на прочности структуры цементного камня. Макропористость не связана с процессами гидратации цемента и образованием новых фаз и зависит только от субъективных факторов

(целенаправленное вовлечение или случайное защемление воздуха, недостаточное уплотнение, деформации и т. п.), которые часто носят случайный, несистематический характер и регулируются приемами технологии.

Таким образом, определяются основные задачи модификации структуры цементного камня с целью повышения прочности:

- изменение качества твердой фазы, образующей скелет структуры, путем замещения портландита и высокоосновных ГСК типа CSH(II) более прочными низкоосновными ГСК типа CSH(I);

- изменение геометрии порового пространства путем снижения объема капиллярных и технологических пор.

Указанные задачи решаются разными путями. Один из них – использование в процессе приготовления бетона специальных цементов, гидратация которых приводит к требуемому балансу новообразований. Другой – пуццоланизация обычного цемента в процессе приготовления бетонной смеси добавлением в смесь содержащих аморфный кремнезем дисперсных материалов, например микрокремнезема конденсированного, коллоидного кремнезема, метакаолина, золы-уноса, доменного гранулированного шлака, природных пуццоланов (трепел, опока, туф) или экзотического для наших условий материала – золы от сжигания рисовой шелухи. В том и другом случаях обязательным условием является уплотнение пространства между твердыми частицами в цементной суспензии (плотная упаковка), уменьшение водопотребности суспензии и доли свободной (физически несвязанной, мигрирующей) воды с помощью водоредуцирующих поверхностно-активных веществ. Самым эффективным способом добиться цели в настоящее время является введение в цементную систему ультрадисперсного микрокремнезема совместно с суперпластификаторами.

Требования к цементам и добавкам к нему

Требования к цементам вырабатывались на основании изложенного выше подхода к получению высокопрочной структуры. Не касаясь темы вполне очевидного прямого влияния дисперсности, или удельной поверхности цемента, на кинетику и степень гидратации, остановимся на более важных характеристиках – химико-минералогическом и вещественном составе.

По данным [10, 11], цементы для высокопрочных бетонов должны отличаться следующим:

- суммарное содержание силикатов кальция (C_3S и $\beta-C_2S$) должно быть не менее 80% массы клинкера вместо 50–70% в обычном портландцементе типа I;

- суммарное содержание двух других минералов клинкера – C_3A и C_4AF должно быть не более 20% вместо 25% в обычном портландцементе типа I;

- значение силикатного модуля – $SiO_2/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ должно быть не менее 3 вместо 2,2–2,6 в обычном портландцементе типа I.

Дополним, что содержание в клинкере $\beta-C_2S$ (белита), который гидратируется медленно с низкой кинетикой тепловыделения в ранние сроки твердения, но вносит основной вклад в прирост прочности цементного камня в позднем возрасте, предпочтительно довести до 30%.

Соблюдая вышеуказанные условия, получим вяжущее на низкоалюминатном клинкере с повышенным содержанием белита и с микрокремнеземом, кислой золой-уноса, гранулированным шлаком в качестве активных минеральных добавок. Этим требованиям могут соответствовать цементы типа II, которые вписываются в классификацию по ГОСТ 31108 и обозначаются ЦЕМ II/A-МК, ЦЕМ II/A-3, ЦЕМ II/A-Ш.

Тем не менее заметим, ссылаясь на [11] и других исследователей [12], что наиболее эффективным вяжущим для высокопрочных бетонов представляется белитовый цемент с содержанием в клинкере более 30% $\beta-C_2S$, который имея соответствующий вышеизложенным требованиям химико-минералогический состав и низкую водопотребность, способствует и снижению экзотермии, и приросту прочности в позднем возрасте. Но при всей привлекательности этого цемента, дополняемой еще и пониженной энергоемкостью его производства (температура обжига клинкера примерно на 100°C ниже), он недостаточно распространен и доступен.

Применение специальных цементов выдвигает перед заводами, занятыми серийным производством смесей для обычных бетонов, особое условие: обеспечить раздельное хранение разных цементов (обычного – для обычных бетонов и специального – для высокопрочных). Для небольших типовых заводов с ограниченным количеством складов-силосов это, как правило, затруднительно. А отсутствие такой возможности вынуждает привязывать производство смесей для обычных и высокопрочных бетонов к одному специальному, дорогостоящему цементу, что нерационально.

Поэтому мировая практика массового производства высокопрочных бетонов классов от B80 (C75) до B120 (C100), прочностью на сжатие от 100 до 150 МПа основана, как правило, на применении универсальных низко- и среднеалюминатных (C_3A до 8%) цементов типа I класса по прочности 52,5. А другим ключевым фактором технологии является комплексное применение в качестве добавок, обладающих высокой пуццолановой активностью дисперсных материалов техногенного происхождения, в основном микрокремнезема, а также кислой золы, граншлака, и суперпластификаторов. Добавки вводятся в бетонные смеси раздельно, дозировки их могут варьироваться, что придает гибкость технологии производства бетонов, позволяя даже на одном обычном цементе типа I выпускать смеси с широким диапазоном свойств.

Но, останавливаясь на цементах одного типа и класса по прочности, которые совмещаются с разными минеральными добавками в процессе приготовления бетона, надо иметь в виду, что химико-минералогический состав и дисперсность полученных таким образом комплексных вяжущих могут колебаться в довольно широких пределах. И, учитывая чувствительность суперпластификаторов к содержанию трехвалентного алюмината, шелочей и сульфатов, к вещественному составу и удельной поверхности, приходится считаться с проблемой их совместимости с цементами и минеральными добавками, которая может оцениваться по разным критериям, но чаще по пластифицирующей способности, т. е. по оптимальным дозировкам, обеспечивающим требуемую подвижность смеси.

Совместимость зависит от строения молекул суперпластификатора, которое предопределяет их способность адсорбироваться на частицах цемента конкретной удельной поверхности и химического состава с образованием адсорбционного слоя.

От свойств адсорбционных слоев на поверхности цемента зависит механизм пластифицирующего действия добавок. У нафталинформальдегидных поликонденсатов (НФ) с линейной формой полимерной цепи пластификация основана преимущественно на электростатическом эффекте (проявляется в «тонкой» сольватной оболочке, в увеличении дзета-потенциала поверхности, который способствует взаимному отталкиванию одноназначно заряженных частиц). У поликарбоксилатов (ПК) с объемной формой молекул пластифицирующее действие преимущественно основано на стерическом эффекте (проявляется в «толстой» соль-

ватной оболочке, предотвращающей слипание частиц и способствующей их взаимному отталкиванию) [1].

Структура молекулы наиболее распространенных НФ может изменяться в одномерном пространстве варьированием двух параметров: длины полимерной цепи, т. е. числа полимеризации вполне конкретного соединения, и вида функциональных групп (обычно натриевые или кальциевые сульфогруппы). В отличие от НФ структура молекул ПК может изменяться уже в двух- и трехмерном пространстве не только путем варьирования длины основной полимерной цепи или функциональными группами, но и регулированием длины боковых звеньев, прикрепленных к основной цепи, и поперечным связям. Т. е. вероятность приспособить ПК к качеству цемента путем управления строением молекул выше, что показано специальными исследованиями [13].

На рис. 1 приводятся данные испытаний образцов цементного теста с суперпластификаторами типа НФ и ПК разных марок, отличающихся строением молекул и молекулярной массой.

Применяли цемент марки ЦЕМ I 52,5 с удельной поверхностью $0,36 \text{ м}^2/\text{г}$, микрокремнезем (МК) с удельной поверхностью $18 \text{ м}^2/\text{г}$ и кислотную золу уноса (ЗУ) с удельной поверхностью $0,32 \text{ м}^2/\text{г}$. Контрольные образцы приготовлены из цемента при В/Ц=0,25, остальные – из комплексного вяжущего Ц+МК+ЗУ с соотношением в массовых частях 0,85:0,075:0,075 и В/В=0,25. Дозировки суперпластификаторов назначали в расчете на сухую остаток.

Дозировки, при которых пластифицирующий эффект интенсивно возрастает, обозначим как нижний и верхний пороги эффективности добавок на конкретном

цементе при данном В/Ц. На рисунках они обозначены точками пересечения прямых пунктирных линий с соответствующими кривыми. В зависимости от марки добавок (состава, структуры молекул полимеров) пороги меняются. Пределы, в которых изменяются нижний и верхний пороги эффективности суперпластификаторов одного типа, но разных марок, определяют область их эффективности (рис. 1).

Как видим, разные суперпластификаторы на основе ПК обладают повышенной в сравнении с НФ пластифицирующей способностью, независимо от состава цементного теста область их эффективных дозировок узка. В отличие от них у НФ больший разброс порогов эффективных дозировок, поэтому для обеспечения требуемой пластичности цементной системы их дозировки должны варьироваться в большем диапазоне.

Эти обстоятельства должны учитываться при подборе составов бетонов.

Поликомпонентные органоминеральные модификаторы

По мере того как высокопрочные бетоны становятся востребованы строительством, актуализируется проблема повышения технологичности и снижения стоимости их производства. Здесь стоит отметить, что один из основных компонентов – микрокремнезем, являясь пылевидным материалом с объемной массой $150\text{--}200 \text{ кг}/\text{м}^3$ (в исходном состоянии) или $500\text{--}550 \text{ кг}/\text{м}^3$ (в уплотненном), крайне неудобен для массового применения, так как транспортируется на большие расстояния в мягких контейнерах, требует применения специального оборудования для приема, хранения, дозирования и подачи в

бетоносмеситель. Кроме того, при необходимости вводить в бетонные смеси одновременно с микрокремнеземом другие минеральные добавки возникают трудности с дополнительными силосами и трактами подачи в смесители.

Оригинальное решение найдено в России: создан новый тип добавок для бетонов – органоминеральные модификаторы типа МБ. Это серия поликомпонентных порошкообразных, гранулированных материалов, содержащих микрокремнезем, кислотную золу-унос и суперпластификатор в разных соотношениях. В составе одной из разновидностей модификаторов может содержаться и расширяющий компонент. Каждая гранула порошка представляет собой агрегат из ультрадисперсных частиц микрокремнезема и золы или расширяющего компонента на основе метакрилатов, покрытых затвердевшей дисперсионной пленкой из молекул суперпластификатора, которая образует водорастворимую прослойку между частицами, «склеивая» их между собой [14–15]. Гранулометрический состав порошкообразных продуктов приведен на рис. 2.

Соединение различных по происхождению, физико-химическим свойствам, назначению и растворимости в воде компонентов в едином продукте дает важные преимущества. С одной стороны, повышенная до $700\text{--}800 \text{ кг}/\text{м}^3$ насыпная плотность делает материал и транспортабельным, и технологичным, позволяя пользоваться традиционны-

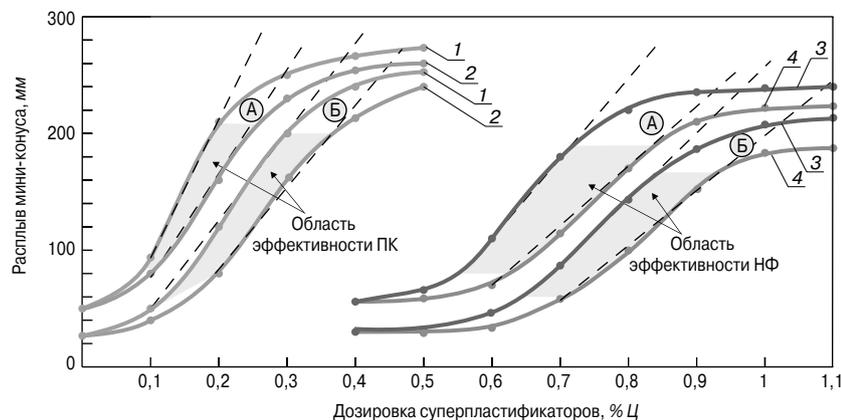


Рис. 1. Влияние суперпластификаторов на основе ПК и НФ на подвижность цементного теста: А – тесто состава Ц; В=1:0,25; Б – тесто состава (Ц+МК+ЗУ); В=(0,85+0,075+0,075):0,25; 1 – ПК марки «Неотек 500 Н»; 2 – ПК марки Sika Viscocrete 5 New; 3 – НФ марки «Полипласт СП-1»; 4 – НФ марки С-3

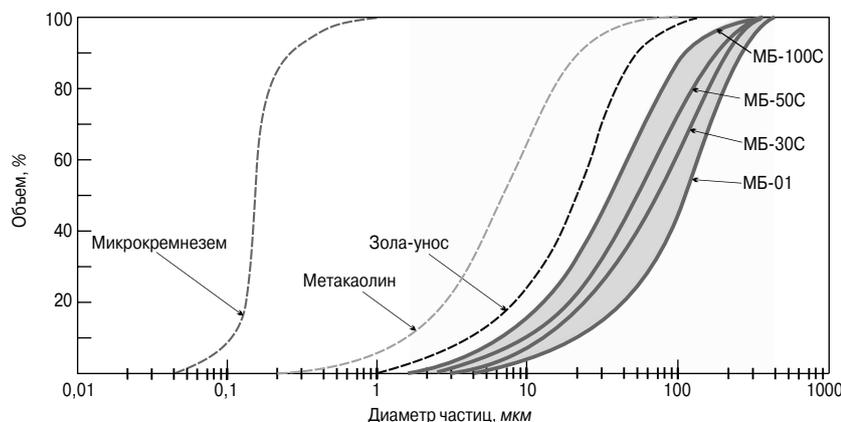


Рис. 2. Гранулометрический состав разных видов МБ и их неорганических компонентов

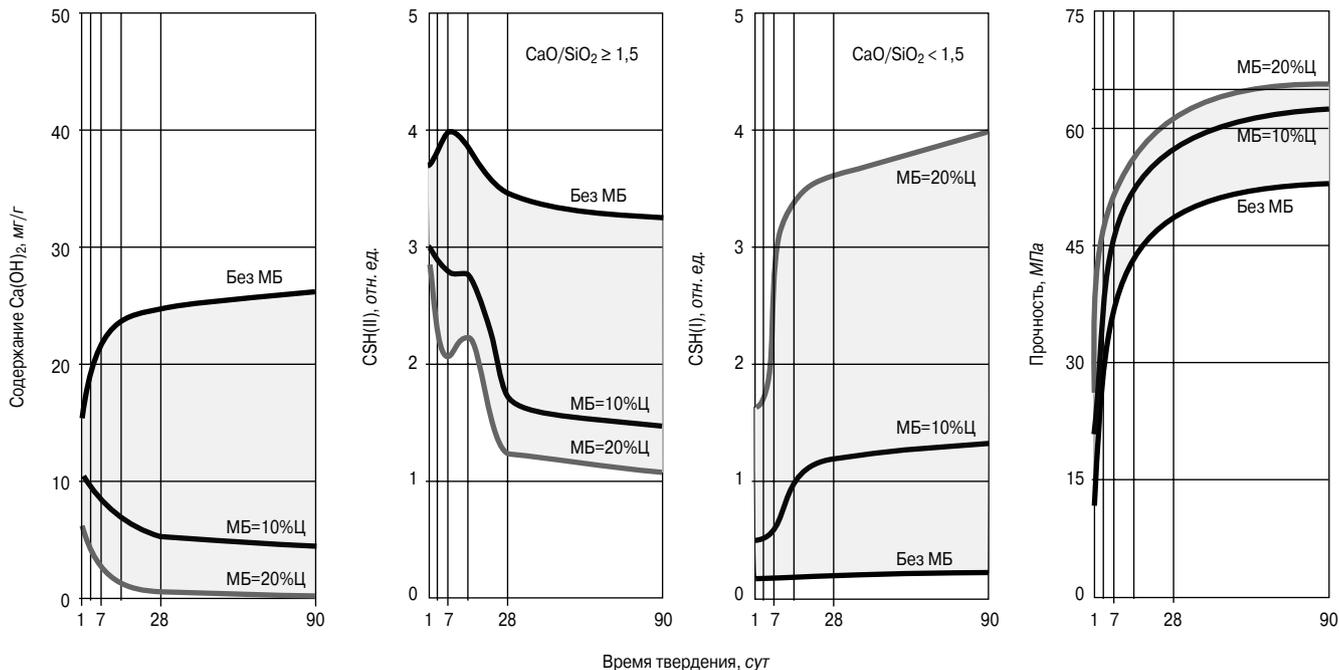


Рис. 3. Баланс гидратных новообразований и прочность цементного камня с модификатором МБ-01. Содержание C_3S в составе портландцемента 48%; $V/(Ц+МБ)=0,3$

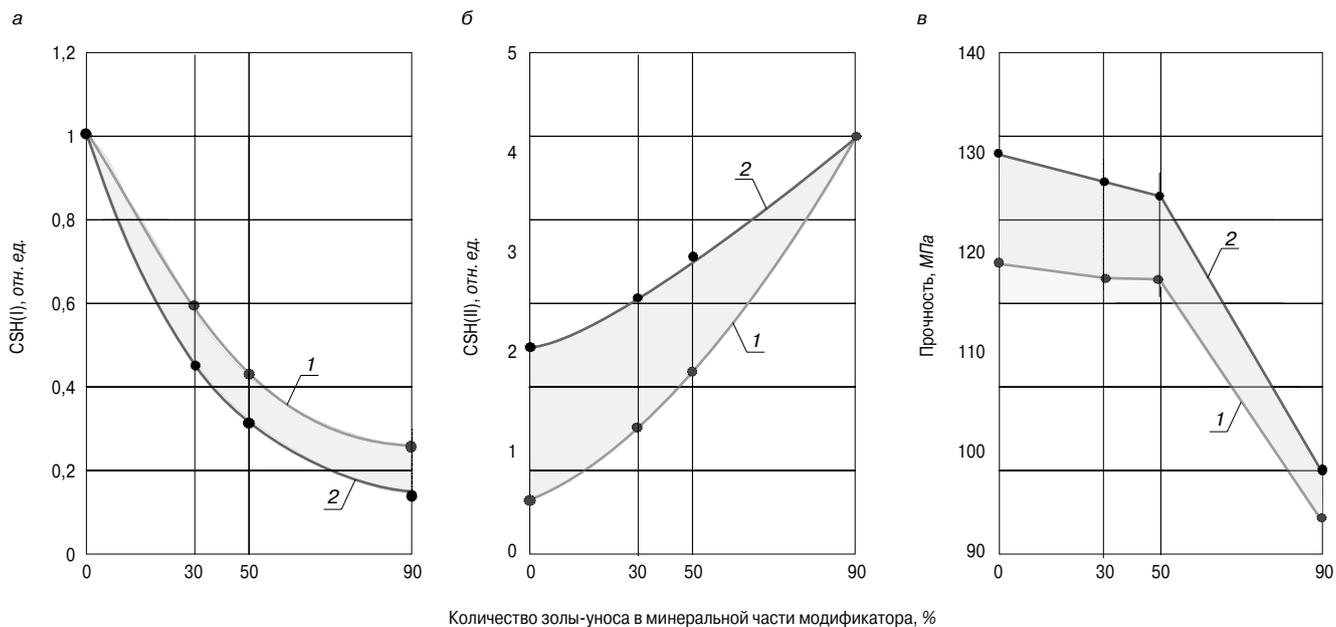


Рис. 4. Влияние дозировки золы в составе МБ на относительное содержание ГСК в цементном камне и прочность мелкозернистого бетона: 1 – $V/(Ц+МБ)=0,18$; 2 – $V/(Ц+МБ)=0,14$; а – содержание $CSH(I)$; б – содержание $CSH(II)$; в – прочность в возрасте 28 сут

ми транспортными средствами и оборудованием, предназначенными для цемента. С другой стороны, сочетание ультрадисперсных и грубодисперсных неорганических материалов разной пуццолановой активности с поверхностно-активным органическим веществом благодаря синергизму механизма их действия делает комплексный продукт более эффективным, чем могло быть раздельное введение в цементную систему тех же ингредиентов [14].

По данным на рис. 3 [14] можно сделать выводы о влиянии поликомпонентных модификаторов на свойства цементного камня.

Испытывались образцы, приготовленные с использованием цемента ЦЕМ I 42,5 и разных дозировок органоминерального модификатора при одинаковом водотвердом отношении – $V/(Ц+МБ)=0,3$. Применял-

ся модификатор марки МБ-01, который включает микрокремезем и суперпластификатор на основе нафталин-формальдегидных поликонденсатов в соотношении по массе 9:1. В контрольном образце без МБ дозировка суперпластификатора составляла 1% от массы цемента.

Как и следовало ожидать, фазовый состав и степень гидратации цемента изменяются в зависимости от дозировки модификатора:

- количество портландита к 90-м суткам твердения в нормальных температурно-влажностных условиях с 26% в контрольном образце сокращается до 5% при дозировке МБ=10% от массы цемента и достигает практически нуля при дозировке МБ=20%;

- количество низкоосновных гидросиликатов типа $CSH(I)$ к 90-м суткам в относительных единицах увели-

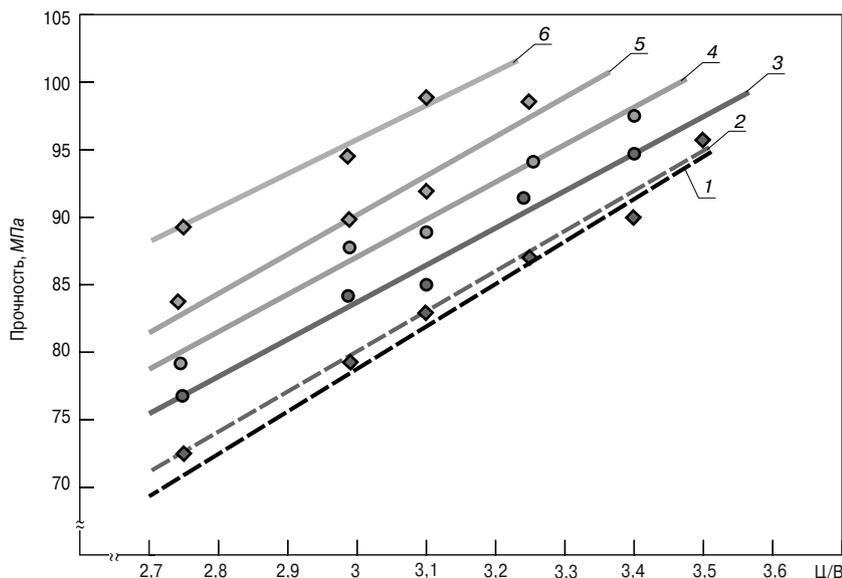


Рис. 5. Влияние цементно-водного отношения на прочность обычного бетона и модифицированного при замещении соответственно от 10 до 30 % цемента на МБ при общем расходе вяжущего (Ц+МБ)=550–560 кг/м³. 1 – $R=0,6R_{ц}(Ц/В-0,5)$; 2 – 0% МБ; 3 – 10% МБ; 4 – 15% МБ; 5 – 20% МБ; 6 – 30% МБ

чивается в несколько раз по мере повышения дозировки МБ, а высокоосновных CSH (II) уменьшается.

Соответственно фазовому составу изменяется дифференциальная пористость: по данным [15], на 4–8% возрастает объем гелевых пор, на такой же объем ориентировочно сокращается доля капиллярных пор.

Вышеуказанные тенденции изменений в фазовом составе принимают затухающий характер по мере замены части микрокремнезема кислой золой-уноса, однако на прочности это сказывается не сразу – только при замещении золой более 50% микрокремнезема (рис. 4).

Согласно ГОСТ Р 56178–2014 модификаторы делятся на марки, которые отличаются соотношением компонентов и соответственно эффективностью. В частности, содержание микрокремнезема может составлять от 20 до 85%, суперпластификатора – 2–15%. Различия в составах и возможность варьировать дозировками модификаторов при производстве бетонов позволяют решать и проблему совместимости добавок с цементами.

Вернемся к классической зависимости прочности бетона от водоцементного отношения.

На рис. 5 приведены результаты эксперимента, проведенного с обычными и модифицированными мелкозернистыми бетонами с прочностью на сжатие от 70 до 100 МПа. Данные испытаний сравнивали с расчетными, полученными по известной формуле Боломея: $R=AR_{ц}(Ц/В-0,5)$. Применяли портландцемент ЦЕМ I 52,5, кварцевый песок с $M_k=2,5$; модификатор марки МБ 10-50С.

В образцах обычного бетона (контрольных) расход цемента был относительно стабильным – 550–560 кг/м³; расход воды составлял 155–200 л/м³; песка – 1510–1610 кг/м³. В модифицированных бетонах расход цемента был переменным: 420–500 кг/м³, так как от 10 до 30% замещалось МБ, но общее количество смешанного вяжущего, под которым будем подразумевать (Ц+МБ), равнялось расходу цемента в контрольных образцах – 550–560 кг/м³; расход воды равнялся 140–180 л/м³; содержание песка – 1520–1615 кг/м³.

Анализ результатов показывает, что зависимость фактической прочности от отношения расхода цемента к воде (Ц/В) у обычного бетона практически совпадает

с расчетной $R=0,6R_{ц}(Ц/В-0,5)$. Другая закономерность наблюдается у модифицированных бетонов. Несмотря на тот же характер, зависимости изменения фактической прочности на рисунке расположены значительно выше расчетной, причем тем выше, чем больше дозировка модификатора. Т. е., из данного эксперимента следует, что фактор Ц/В – основной в процессе формирования классической структуры цементного камня – в случае модифицирования структуры с помощью органоминерального модификатора (а по существу, использования вяжущего, состоящего из портландцементного клинкера, микрокремнезема и кислой золы-уноса) в значительной мере усиливается управляемыми фазовыми превращениями в структуре цементного камня, о которых сказано выше. Отсюда следует, что формула Боломея, в целом объективно отражающая закономерность изменения прочности бетона в зависимости от таких факторов, как цементно-водное отношение и активность цемента, в случаях с модифицированными бетонами, приготовленными на смешанных вяжущих, требует корректировки, которая учитывала бы изменение значения фактора $R_{ц}$.

Ресурсы стройиндустрии для производства высокопрочных бетонов

В России объемы производства тяжелых и мелкозернистых высокопрочных бетонов классов выше В60 за последние 15 лет уже превысили 1500 тыс. м³, из которых около 350 тыс. м³ – бетоны классов В80–В100. Первыми и самыми выразительными объектами внедрения оказались высотные здания на «Москва-Сити», а полученный опыт использовался при строительстве других сооружений.

Массовое производство таких бетонов осуществляется на заводах с традиционными технологическими линиями и с использованием портландцементов типа I активностью не ниже 50 МПа (ЦЕМ I 52,5, ПЦ600-Д0 и в некоторых случаях ЦЕМ I 42,5) совместно с органоминеральными модификаторами марок МБ-50С, МБ-30С, Эмбэлит-100.

Оптимальные расходы цемента для бетонов разных классов зависят от разных факторов. В условиях стройиндустрии Московского региона в среднем они устоялись на уровне следующих значений: для бетонов класса В60 – 350–420 кг/м³; для бетонов В80 – 440–480 кг/м³; для бетонов класса В100 – 480–500 кг/м³. Оптимальные расходы органоминеральных модификаторов или их компонентов при раздельном введении в бетонную смесь составляют от 15 до 25% от массы цемента (70–120 кг/м³).

Оценивая сырьевую базу для расширения объемов высокопрочных бетонов, примем во внимание, что объемы производства цемента в России в последние годы находятся на уровне 60 млн т в год с небольшими (до 10%) отклонениями. Основная доля, не менее 80% указанного объема приходится на цементы типа I.

Что касается микрокремнезема конденсированного, объемы получения которого зависят от объемов и номенклатуры кремнийсодержащих сплавов, выплавляемых металлургическими предприятиями, то ресурс его в настоящее время составляет 80–100 тыс. т в год.

Объемы зол уноса и золошлаковых смесей, улавливаемых системами газоочистки тепловых электростанций при сжигании каменного угля, значительно больше в общем, составляют около 25 млн т в год. Из них около 6 млн т составляют кислые золы-уноса, пригодные для применения в бетонах без предварительного обогащения.

Не считая доменных гранулированных шлаков, доступные объемы которых значительно ниже объемов кислых зол-уноса, можно сделать заключение, что материальные и сырьевые ресурсы на территории России позволяют производить высокопрочные бетоны в количествах не менее 1 млн м³ в год.

Выводы.

На основании анализа механизма формирования высокопрочной структуры цементного камня, заключа-

ющегося в направленном регулировании фазового состава и дифференциальной пористости, определены требования к цементам и добавкам для производства высокопрочных бетонов.

Установлено, что альтернативой цементам повышенной активности со специальным химико-минералогическим составом может быть рядовой портландцемент типа ЦЕМ I, используемый в сочетании с высокоактивными минеральными добавками и суперпластификаторами или в сочетании с поликомпонентными органоминеральными модификаторами типа МБ, содержащими все необходимые для достижения высокой прочности ингредиенты. Это обстоятельство позволило стройиндустрии России в короткий срок и с минимальными затратами наладить массовое производство высокопрочных бетонов.

Список литературы

1. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспективы // *Бетон и железобетон*. 1999. № 6. С. 6–10.
2. Collepari M. The New Concrete. Italy: Grafiche Tintoretto. 2006. 421 p.
3. Balaguru P., Chong K. Nanotechnology and Concrete: Research Opportunities // *Nanotechnology of Concrete. Recent Developments and Future Perspectives*. ACI SP-254. 2008, pp. 15–28.
4. Невилл А.М. Свойства бетона. М.: Стройиздат, 1972. 344 с.
5. Тейлор Х.Ф.У. Гидросиликаты кальция. Химия цемента. М.: Стройиздат, 1969. 166 с.
6. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete. Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill. Third Edition. 684 p.
7. Тимашев В.В. Влияние физической структуры цементного камня на его прочность // *Цемент*. 1979. № 2. С. 6–8.
8. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1989. 188 с.
9. Пауэрс Т.К. Физическая структура портландцементного теста. Химия цемента. М.: Стройиздат, 1969. 319 с.
10. Sarkar V.L., Baalbaki M. The influence of the type of cement on the properties and microstructure of high performance concrete // *Proceedings of 9-th ICCS. New Delhi*. 1993. Vol. 5, pp. 89–94.
11. Odler I. Special inorganic cements. Modern concrete technology series. E&FN Spon. 2000. 395 p.
12. Kato H., Katumero R., Ushiyama H. Properties of high-strength concrete using belite-rich cement and silica fume // *Semento Konkurito Ronbunshu*. 1997. No. 51, pp. 364–369.
13. Schober I., Mader U. Compatibility of Polycarboxilate Superplasticizers with Cements and Cementitious Blends // *Seventh CANMET/ACI Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*. Berlin, Germany. 2003. ACI SP-217, pp. 453–468.
14. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Batrakov V.G. Properties of Concrete with Complex Modifier Based on Silica Fume and Superplasticizer // *Fifth CANMET/ASI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*. Rome. October 7–10. 1997, pp. 123–136.
15. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Влияние состава органоминеральных модификаторов серии МБ на их эффективность // *Бетон и железобетон*. 2001. № 5. С. 11–15.

References

1. Kaprielov S.S., Batrakov V.G., Sheynfeld A.V. Modified concrete of a new generation: reality and prospects. *Beton i Zhelezobeton*. 1999. No. 6, pp. 6–10. (In Russian).
2. Collepari M. The New Concrete. Italy. Grafiche Tintoretto. 2006. 421 p.
3. Balaguru P., Chong K. Nanotechnology and Concrete: Research Opportunities. *Nanotechnology of Concrete. Recent Developments and Future Perspectives*. ACI SP-254. 2008, pp. 15–28.
4. Neville A.M. Svoystva betona [Properties of concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1972. 344 p.
5. Taylor H.F.U. Gidrosilikaty kal'cija. Himiya cementa [Hydrosilicates of calcium. Chemistry of cement]. Moscow: Stroyizdat, 1969. 166 p.
6. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete. Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill. Third Edition. 684 p.
7. Timashev V.V. Influence of the physical structure of cement stone on its strength. *Cement*. 1979. No. 2, pp. 6–8. (In Russian).
8. Ratinov V.B., Rozenberg T.I. Dobavki v beton [Additives to concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1989. 188 p.
9. Powers T.K. Fizicheskaja struktura portlandcementnogo testa. Himiya cementa [Physical structure of portland cement test. chemistry of cement]. Moscow: Stroyizdat, 1969. 319 p.
10. Sarkar V.L., Baalbaki M. The influence of the type of cement on the properties and microstructure of high performance concrete. *Proceedings of 9-th ICCS. New Delhi*. 1993. Vol. 5, pp. 89–94.
11. Odler I. Special inorganic cements. Modern concrete technology series. E&FN Spon. 2000. 395 p.
12. Kato H., Katumero R., Ushiyama H. Properties of high-strength concrete using belite-rich cement and silica fume. *Semento Konkurito Ronbunshu*. 1997. No. 51, pp. 364–369.
13. Schober I., Mader U. Compatibility of Polycarboxilate Superplasticizers with Cements and Cementitious Blends. *Seventh CANMET/ACI Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*. Berlin, Germany. 2003. ACI SP-217, pp. 453–468.
14. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Batrakov V.G. Properties of Concrete with Complex Modifier Based on Silica Fume and Superplasticizer. *Fifth CANMET/ASI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*. Rome. October 7–10. 1997, pp. 123–136.
15. Kaprielov S.S., Sheynfeld A.V. Effect of the composition of organomineral modifiers of the MB series on their efficiency. *Beton i zhelezobeton*. 2001. No. 5, pp. 11–15. (In Russian).

XXIV сессия международного технического комитета ISO/TC 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон» впервые пройдет в Москве в мае 2018 года



XXIV сессия международного технического комитета ISO/TC 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон» состоится в Москве 28–31 мая 2018 г. Подготовка к ее проведению было посвящено совещание, состоявшееся в Минстрое РФ под председательством заместителя министра, председателя ТК 465 Х.Д. Мавлярова.

ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон» международной организации по стандартизации ISO существует с 1949 г., секретариат комитета ведется на базе института ANSI (American National Standard Institute), американского института по бетону. В составе комитета семь подкомитетов, работающих в следующих областях: ПК (SC) 1 «Методы испытания бетона» (секретариат – Израиль), ПК (SC) 3 «Производство бетона и возведение бетонных конструкций» (Великобритания), ПК (SC) 4 «Эксплуатационные требования к конструкционному бетону» (США), ПК (SC) 5 «Правила упрощенного расчета бетонных конструкций» (Колумбия), ПК (SC) 6 «Нетрадиционные армирующие материалы для бетонных конструкций» (Япония), ПК (SC) 7 «Техническое обслуживание и текущий ремонт бетонных конструкций» (Корея), ПК (SC) 8 «Экологический менеджмент бетона и бетонных конструкций» (Япония). Комитетом разработано и опубликовано 45 стандартов. В работе комитета принимают участие 38 стран как постоянные участники и 58 стран в качестве наблюдателей. С 2016 г. Российская Федерация принимает активное участие в работе ТК 71. Эксперты ТК 465 «Строительство» принимают участие в работе всех семи подкомитетов. Ежегодно эксперты рассматривают порядка 20 проектов стандартов (включая новые темы и пересмотры действующих стандартов). Активное участие в работе ТК 71 в России принимают ученые и специалисты НИИЖБ АО «НИЦ Строительство»; возглавляет рабочую группу Л.И. Ёлшина, канд. техн. наук, ученый секретарь ЦДУ РАН.

В 2016 г. на очередной XXII сессии ИСО/ТК в Картахене принято решение о проведении XXIV сессии в Москве в 2018 г. Данное предложение Российской Федерации было поддержано всеми участниками заседания единогласно. В настоящее время программа проведения XXIV сессии ТК 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон» утверждена. Ожидается, что в ее работе примут участие порядка 150 иностранных экспертов из более чем 20 стран мира.

«Сложно говорить о гармонизации вопросов технического нормирования в строительстве, если не обмениваться опытом с другими странами. В нашей стране есть перспективные разработки, заслуживающие внимания мирового, научного сообщества, и мы готовы представить их на заседании международного комитета. Кроме того, разработанные в России или других странах технические требования к конструкциям можно разместить в единой библиотеке, чтобы заказчики могли использовать многократно эти технические решения, что существенно сократит сроки разработки проектной документации», – отметил Х.Д. Мавляров.

В рамках совещания в Минстрое РФ обсуждались вопросы оптимизации состава оргкомитета, программы открытой части сессии, в которой могут принять участие российские ученые и специалисты, культурных мероприятий, призванных продемонстрировать зарубежным коллегам достижения в области бетона и железобетона, претворенных в жизнь. Руководить работой по подготовке заседания будут ФАУ «ФЦС», ТК 465 и специалисты рабочей группы, «зеркальной» ТК 71 ISO, секретариат которой находится в НИИЖБ им. А. А. Гвоздева НИЦ «Строительство».

В состав рабочей группы «Бетон, железобетон и преднапряженный железобетон», в настоящее время входят шесть подкомитетов, которые разрабатывают и пересматривают стандарты, касающиеся производства бетона и бетонных конструкций, эксплуатационных требований к конструкционному бетону, технического обслуживания, ремонта и экологического менеджмента бетонных конструкций.

По мнению российских экспертов, в рамках XXIV сессии международного технического комитета ISO/TC 71 «Бетон, железобетон, преднапряженный железобетон» необходимо обсуждение вопросов долговечности железобетона, усиления и ремонта конструкций, в том числе композитными материалами, технологии новых сверхпрочных тяжелых и сверхлегких бетонов, новых добавок и модификаторов, примененных в уникальных объектах.

Следующее заседание оргкомитета запланировано на январь 2018 г., в ходе которого будет утверждаться программа семинара, организуемого российской стороной, призванного представить зарубежным коллегам состояние науки и отрасли бетона и железобетона в России.



С.Н. ЛЕОНОВИЧ¹, д-р техн. наук, иностранный академик РААСН (sleonovich@mail.ru);
Д.А. ЛИТВИНОВСКИЙ², главный инженер (7200743@gmail.com)

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

² ООО «ИнжСпецСтройПроект» (220114, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Л. Мстиславца, 22, пом. 210)

Вязкость разрушения высокопрочного бетона после воздействия высокой температуры

Воздействие высокой температуры на высокопрочный бетон приводит к проявлению хрупкого разрушения взрывного характера, которое необходимо прогнозировать и регулировать. С этой целью разработана методика на основе механики разрушения и предложены критерии оценки вязкости и хрупкости высокопрочного бетона и сталефибробетона для исключения взрывного разрушения при воздействии высокой температуры. Выполнена экспериментальная многопараметричная оценка остаточных свойств прочностных, деформативных, силовых и энергетических параметров высокопрочного бетона в диапазоне температуры от 100 до 700°C. Предложены критерии возникновения взрывного разрушения высокопрочного бетона для изготавливаемых и эксплуатируемых конструкций в терминах силовых и энергетических параметров механики разрушения при нормальной температуре.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, сталефибробетон, взрывное разрушение, вязкость разрушения, трещиностойкость, энергия разрушения.

Для цитирования: Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Вязкость разрушения высокопрочного бетона после воздействия высокой температуры // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 12–17.

S.N. LEONOVICH¹, Doctor of Sciences (Engineering), Foreign Member of RAACS; D.A. LITVINOVSKIY², Head Engineer (7200743@gmail.com)

¹ Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Avenue, Minsk, 220013, Belarus)

² «InzhSpecStroyProekt» ООО (Rom 210, 22, L. Mstislavca Street, Minsk, 220114, Belarus)

Destruction Viscosity of High-Strength Concrete after High Temperature Impact

The impact of high temperature on high-strength concrete leads to the appearance of brittle fracture of an explosive character which is necessary to predict and regulate. For this purpose, the methodology on the basis of destruction mechanics has been developed, and criteria of the evaluation of viscosity and brittleness of high-strength concrete and steel-fiber concrete has been proposed to exclude the explosive fracture under the high temperature impact. The experimental multi-parametric evaluation of residual properties of strength, deformation, force, and energetic parameters of high-strength concrete has been made in the temperature range of 100–700°C. Criteria of the appearance of explosive destruction of high-strength concrete for produced and operated structures are proposed in terms of force and energetic parameters of fracture mechanics at a normal temperature.

Keywords: high-strength concrete, steel-fiber concrete, explosive fracture, viscosity of destruction, crack resistance, destruction energy.

For citation: Leonovich S.N., Litvinovskiy D.A. Destruction viscosity of high-strength concrete after high temperature impact. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 12–17. (In Russian).

Температурное воздействие зачастую приводит к взрывному разрушению высокопрочного бетона. Несмотря на целый ряд достоинств, высокопрочный бетон имеет существенный недостаток – хрупкое разрушение бетона с эффектом взрыва.

Установлено, что количества испытаний трещиностойкости высокопрочного бетона после воздействия высокой температуры недостаточно, а существующие методики сложны и трудоемки и не имеют комплексных показателей по оценке хрупкости.

На основе выполненного аналитического обзора сформулированы предпосылки методики экспериментальных исследований:

- прочность бетона, подвергнутого высокотемпературному нагреву и затем охлажденного до комнатной температуры, т. е. остаточная прочность не выше прочности нагретого;
- неравновесные испытания дают вполне достоверную оценку трещиностойкости (вязкости разрушения);
- прочность бетона под нагрузкой при воздействии высокой температуры выше ненагруженного.

В экспериментальном исследовании использовались четыре состава модифицированного бетона класса С50/60 (П-4) (табл. 1).

Для определения характеристик высокопрочного бетона изготавливались образцы-кубы размерами 100×100×100 мм и образцы-призмы размерами 100×100×400 мм в количестве не менее 24 шт. на каждый состав.

Скорость нагрева контролировалась термомпарами по толщине образцов и составляла 2°C/мин с последующим изотермическим прогревом в течение 4 ч после достижения заданного уровня нагрева: 100, 200, 300, 400, 500, 600 и 700°C.

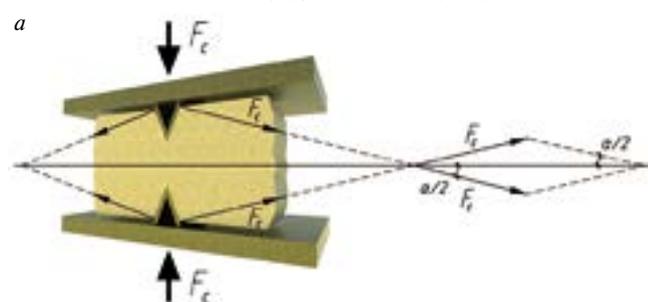
После каждого цикла нагрева образцов и полного остывания проводился неразрушающий контроль мето-

Таблица 1

Бетонная смесь	Расход компонентов, кг/м ³			
	Состав I	Состав II	Состав III	Состав IV
Цемент ПЦ500 Д0	580	520	600	580
Щебень гранитный фракции 5–20 мм	1180	1180	1120	1120
Песок	620	570	620	620
Пластифицирующая добавка «ГП-1»	6,76	11,58	–	5,79
Микрокремнезем	–	60	–	–
Пластифицирующая добавка «С-3»	–	–	17,98	–
Фибра стальная	–	–	–	46,5
Вода	150	150	170	184
Водоцементное отношение	0,25	0,28	0,28	0,31



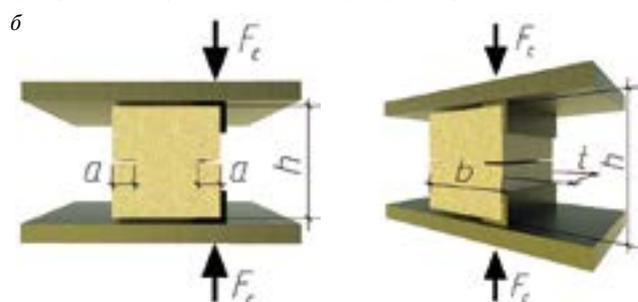
Рис. 1. Испытание методом упругого отскока прибором «ИПМ-1Б» (а) и ультразвуковым импульсным методом прибором «Пультар 1.0» (б)



Патент ВУ 19170 [3]

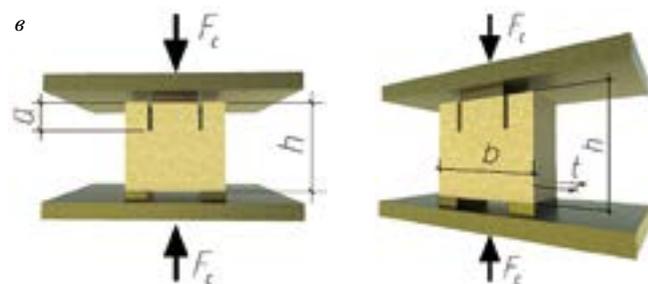
$$K_{IC} = \frac{P_s}{b_s(h_s - 2a_{cr})} \cdot \frac{(\cos \alpha/2 - f \sin \alpha/2)}{(\sin \alpha/2 - f \cos \alpha/2)} \cdot \sqrt{\frac{2\pi k d_{\max}}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

$$l_c = \frac{K_{IC}^2}{f_{cm}} \quad (2)$$



Патент ВУ 16193 [1]
Патент ВУ 16194 [2]

$$K_{IC} = \frac{F_c}{bh^{1/2}} \left[18,3 \left(\frac{a}{h}\right)^{1/2} - 430 \left(\frac{a}{h}\right)^{3/2} + 3445 \left(\frac{a}{h}\right)^{5/2} - 11076 \left(\frac{a}{h}\right)^{7/2} + 12967 \left(\frac{a}{h}\right)^{9/2} \right] \quad (3)$$



Патент RU 2621618 [4]
Патент RU 2621623 [5]

$$K_{IIc} = \frac{P}{2tH} \sqrt{tY(l,b)} \quad (4)$$



K_{IC} K_{IIc}

Характер излома образцов

Рис. 2. Способы экспериментального определения коэффициентов интенсивности напряжений высокопрочного бетона, подтвержденные авторскими патентами на изобретение Республики Беларусь и Российской Федерации, при нормальном отрыве (а, б, в) и поперечном сдвиге (г, д)

дами упругого отскока и ультразвуковым импульсом с расчетом твердости и модуля упругости (рис. 1).

Для оценки вязкости разрушения высокопрочного бетона при воздействии высокой температуры разработана методика для изготавливаемых конструкций на одном бетонном образце, а не на образцах-близнецах, защищенная патентами Республики Беларусь [1–3] и Российской Федерации [4, 5] (рис. 2). Эта методика позволяет по величине усилия, соответствующего старту

магистральной трещины в образце с надрезами, произвести расчет коэффициентов интенсивности напряжений при нормальном отрыве K_{IC} (1), (3) и l_{ch} (2) коэффициентов интенсивности напряжений при поперечном сдвиге K_{IIc} (4).

Изменение прочности высокопрочного бетона при нагреве происходило следующим образом (рис. 3, а) [6]: при температуре нагрева в 100°C прочность снижалась до 93–98%; при нагреве до 300°C прочность восстанавли-

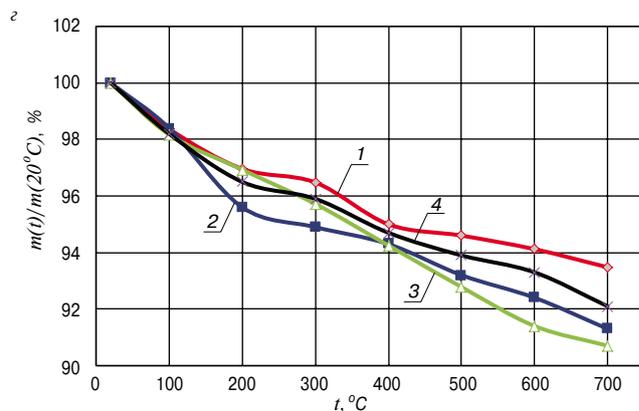
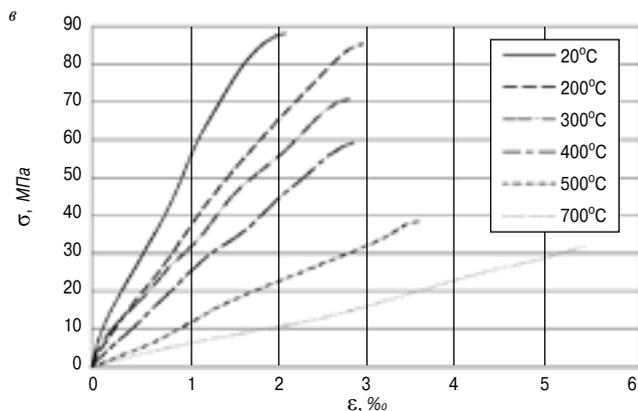
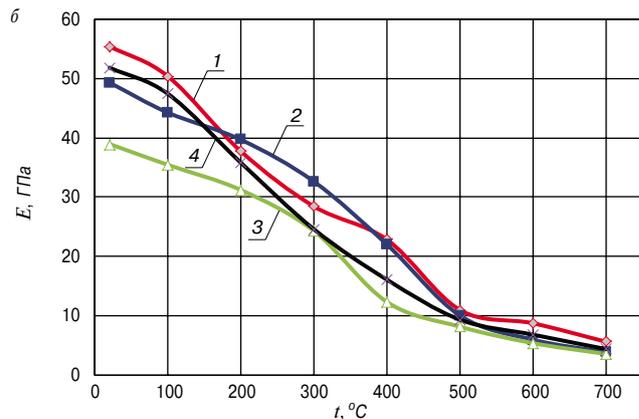
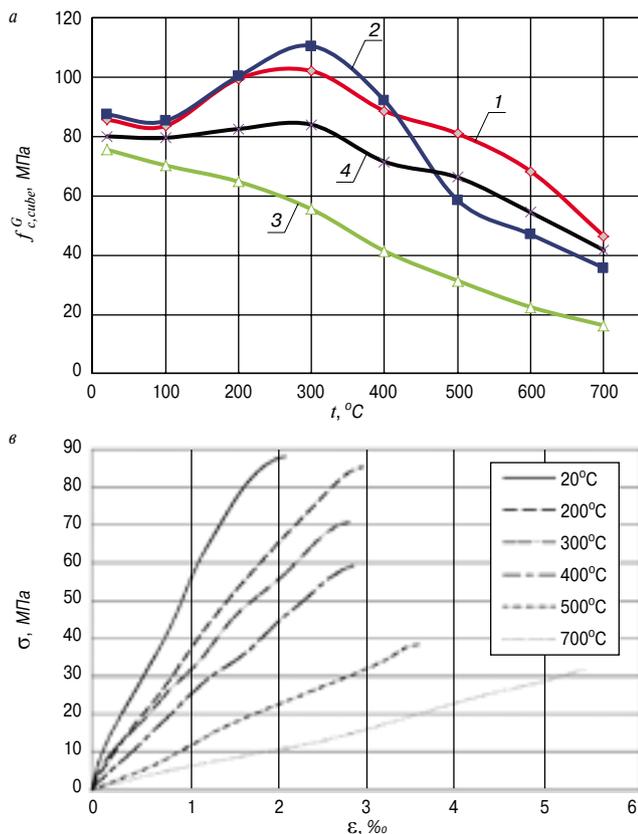


Рис. 3. Изменение прочности на сжатие f_c (а), модуля упругости E (б); диаграмма деформирования бетона серии 1 после нагрева (в), массы образцов после нагрева (з): 1 – серия 1; 2 – серия 2; 3 – серия 3; 4 – серия 4

ливалась до первоначальной и составляла для составов I, II и IV 105–126%; при нагреве от 400 до 700°C прочность резко падала и составляла для составов I, II и IV до 41%; для образцов состава III с начала процесса нагрева отмечалось постоянное уменьшение прочности и составило 22% от первоначальной прочности при 700°C.

Масса образцов уменьшалась с ростом температуры и составляла к 700°C до 90% от первоначальной (рис. 3, з). Процесс потери влаги протекает в три характерных этапа: вначале интенсивная потеря с ростом t до 200°C ввиду испарения капиллярной воды в бетоне; при изменении t между 200 и 400°C скорость испарения значительно ниже ввиду трудного выделения гелевой воды; на третьем этапе (выше 400°C) потеря массы была вызвана разложением цементного камня и заполнителей (высвобождение микрохимически связанной воды).

С постоянным ростом температуры значение модуля упругости линейно уменьшается и при 700°C составляет менее 10% от первоначального значения (рис. 3, б).

Пределные деформации сжатия высокопрочного бетона после нагрева до температуры 200, 400 и 600°C соответственно равны 2,3; 2,9 и 5,3‰ [7]. Модуль деформации при сжатии уменьшается при температуре 200°C на 20–30%; при 400°C – на 40–70%; при 600°C – на 70–90%.

Установлено, что значительное снижение деформативных свойств бетона происходит в интервале температуры 600–650°C, что объясняется распадом гидроксида кальция цементного камня [8].

Масса образцов m уменьшалась с ростом температуры (700°C) до 90% от первоначальной (рис. 3, з) в три характерных этапа: интенсивная потеря с ростом t до 200°C ввиду испарения капиллярной воды в бетоне; при изменении t в интервале 200–400°C происходит потеря массы по причине испарения гелевой воды, причем интенсивность испарения снижалась (гелевая вода встречает сопротивление при выделении из пор геля из-за их

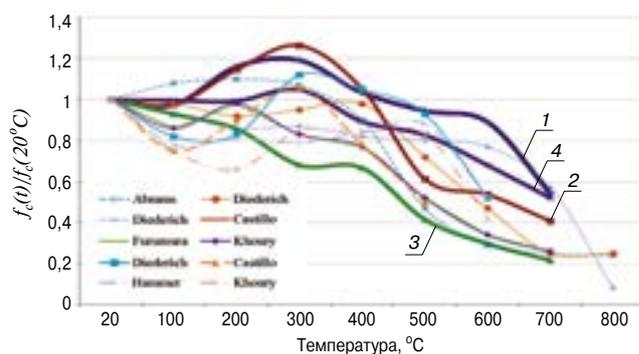


Рис. 4. Сравнительный анализ авторских данных изменения относительной прочности бетона при сжатии после нагрева и наиболее авторитетных зарубежных исследований: 1 – серия 1; 2 – серия 2; 3 – серия 3; 4 – серия 4

меньшего размера); при t выше 400°C потеря массы была вызвана разложением цементного камня и заполнителей (высвобождение химически связанной воды).

Принципиально важно, что результаты приведенных экспериментов совпадают с данными ведущих зарубежных ученых и институтов в области исследований высокопрочного бетона при высокотемпературном нагреве (рис. 4). Поэтому обоснованным является заключение, что комплекс исследований хрупкости высокопрочного бетона при воздействии высокой температуры методами механики разрушения на образцах серий 1–4, выполненный авторами, достаточно представительен для распространения рекомендаций на широкий спектр высокопрочных бетонов.

Анализ результатов, приведенных на рис. 5, показал, что коэффициенты интенсивности напряжений при нормальном отрыве и поперечном сдвиге для серий 1 и 4 начинают снижаться в начале нагрева, а для серий 2

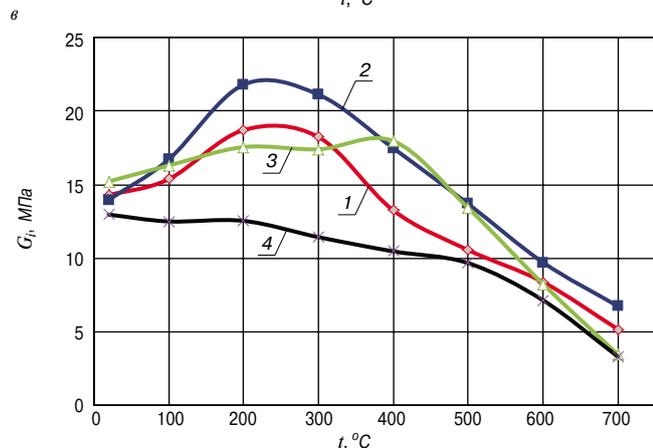
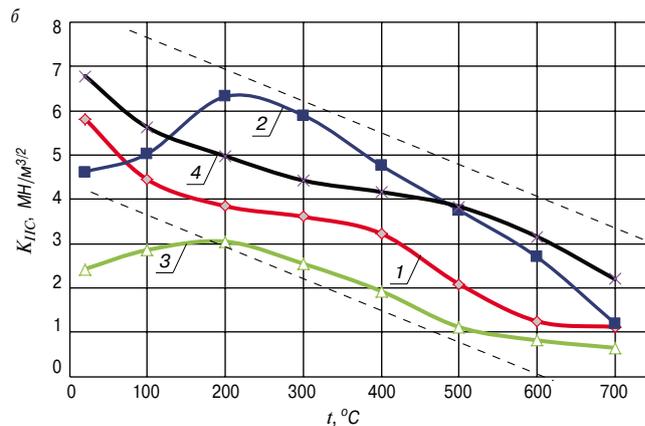
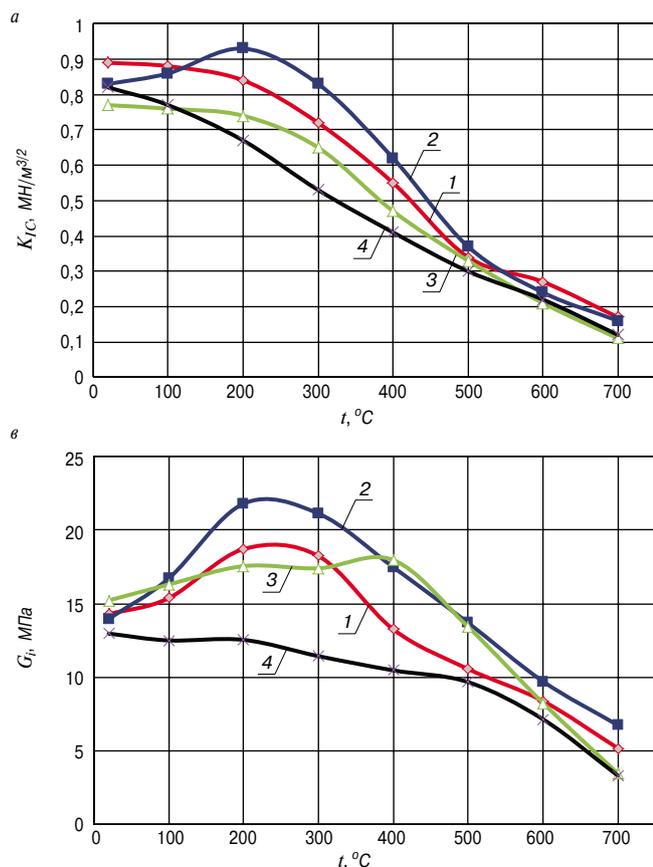


Рис. 5. Изменение коэффициентов интенсивности напряжений при нормальном отрыве K_{IC} (а), поперечном сдвиге K_{IIC} (б), удельных энергозатратах разрушения G_i (в)

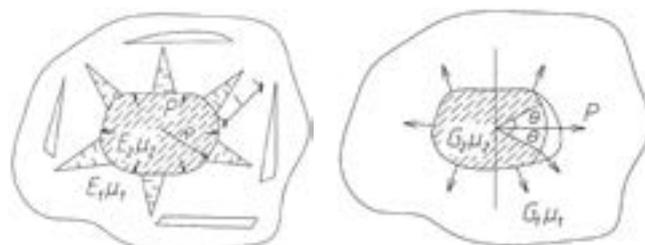


Рис. 6. Радиальные трещины возле заполнителя при нагреве

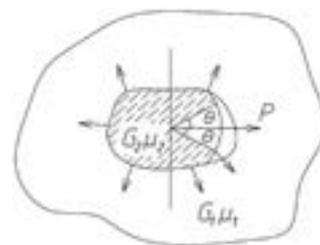


Рис. 7. Контактные трещины на границе зерно заполнителя – матрицы цементно-песчаного раствора при нагреве

и 3 – увеличиваться до температуры 200°C. Таким образом, введение микрокремнезема и С-3 приводит к повышению сопротивления образованию и развитию трещин при нагреве [9].

При температуре 100–150°C происходит химическое взаимодействие высвобождающейся воды с цементом, благодаря чему имеет место ускоренное схватывание последнего.

При температуре свыше 300°C вода из межзернового пространства постепенно проникает через оболочку новообразований к негидратированной части цементного зерна. Появляющиеся новообразования большего объема по сравнению с исходными материалами давят изнутри на оболочку, приводя к ее разрушению. Это приводит к формированию трещиноватой структуры, поэтому такой бетон характеризуется низкими прочностными свойствами и долговечностью.

Рабочая гипотеза локального возрастания прочности, коэффициента интенсивности напряжения при нормальном отрыве и энергии разрушения состоит в процессе самопаривания бетона (по А.Ф. Милованову, В.М. Прядко), в результате чего происходит уплотнение и гидратация цементного камня вследствие удаления воды из геля двухвалентного силиката и усиленной кристаллизации гидроксида кальция. Вероятно, влияющими факторами будут вид и тонкость помола добавки [10].

Феномен хрупкого разрушения логично рассмотреть с позиции следующих деструктивных процессов:

1. Разрушающее поровое давление. Разрушение происходит при накоплении пара в порах от нагретого бетона, где влияющими факторами являются проницаемость бетона, влагосодержание и скорость нагрева.

2. Растрескивание от термического нагрева. Разрушение происходит от термического воздействия, когда температурный градиент в бетоне создает сжимающее напряжение у поверхности бетона и растягивающее в

более холодном участке элемента, где влияющими факторами являются расширение заполнителя, скорость нагрева и прочность бетона при растяжении.

3. Совместное действие порового давления и термического нагрева. Хрупкое разрушение происходит при комбинации порового давления и термического нагрева у поверхности с образованием внутренних трещин, их развитием параллельно поверхности при высоких растягивающих напряжениях. Это сопровождается внезапным высвобождением энергии и сильным разрушением в зоне нагретой поверхности.

Механика разрушения в терминах коэффициентов интенсивности напряжений позволяет численно исследовать хрупкое разрушение, представляющее собой процесс, при котором происходила усадка бетона одновременно с расширением заполнителя. Решена задача образования радиальных трещин (нормального отрыва), возникновение которых связано с разницей модулей упругости и коэффициентов линейного расширения зерен заполнителя и цементно-песчаного раствора (рис. 6). Вклад радиальных и тангенциальных растягивающих напряжений в бетоне при нагреве оценен с использованием аналитических решений А. Перлмана и Дж. Си.

Коэффициент интенсивности напряжений определяется из выражения:

$$K_{I,t} = p \sqrt{\pi l} \frac{[1 - \alpha(r)] f(l/R)(M - R)^2}{(M - R)^2 - r^2} (1 + g), \quad (5)$$

где p – давление, МПа; π – математическая константа, равная 3,14; l – длина радиальной трещины, м;

$$\alpha(r) = 2(1 - \mu_1)r / (r^2 + (1 - 2\mu_1)(M - R)^2 + [(M - R)^2 - r^2](1 - \mu_2)(M - R)E_1 / [(1 + \mu_1)(M - R - l)E_2]);$$

$f(l/R) = 2,26 - (l/R) \cdot 0,15$; M – расстояние между зернами, м; R – средний радиус зерна заполнителя, м; μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона цементного камня и заполни-

Таблица 2

K_{IC} , МН/м ^{3/2}	G_p , Н/м	l_c , м
>0,8	>14	≥0,03

Причинами хрупкого разрушения в высокопрочном бетоне при нагреве являются его влагосодержание, состав и структура, напряженно-деформированное состояние, вызванное давлением пара в замкнутых порах бетона, а также скорость нагрева.

В нормативных документах для анализа хрупкости бетонов обычной прочности в настоящее время используют формулу В.В. Жукова для расчета хрупкого разрушения F :

$$F = \frac{\alpha_F \alpha_{br} \beta}{K_{IC} \lambda_{\kappa}} \cdot \frac{E \rho_0 W_3}{n_p}, \quad (8)$$

где α_F – коэффициент пропорциональности, $1,16 \cdot 10^{-2}$ Вт·м^{5/2}·кг⁻¹; α_{br} – коэффициент температурной деформации расширения бетона, °С⁻¹; β – коэффициент изменения модуля упругости бетона при нагреве; K_{IC} – критический коэффициент интенсивности напряжения, МН/м^{3/2}; λ_{κ} – коэффициент теплопроводности бетона, Вт/(м·°С); E – модуль упругости бетона при нормальных условиях, МПа; ρ_0 – плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³; W_3 – объемная эксплуатационная влажность бетона, м³/м³; n_p – общая пористость бетона, %.

При $F \leq 4$ в бетоне хрупкое разрушение не происходит. При $F > 6$ происходит хрупкое разрушение, интервал критерия от 4 до 6 является потенциально опасным. Параметры формулы (9) определяются для температуры бетона 200–300°С.

Критерий хрупкости F на основе текущих (для температуры 20, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700°С) значений K_{IC} , E , ρ_0 , W_3 , n_p , полученных авторами экспериментально, графически представлен на рис. 8.

На основе анализа экспериментальных исследований предложены критерии хрупкости для высокопрочного бетона при высокой температуре и рекомендованы их пороговые значения (табл. 2), которые определяются по разработанной методике для бетона при $t = 20$ °С.

Для эксплуатируемых конструкций разработана специальная методика на основе испытания бетона методом упругого отскока прибором «ИПМ-1Б» (рис. 1, а). Он внедрен в научно-исследовательской лаборатории «Промышленное и гражданское строительство» БНТУ совместно с Лабораторией контактно-динамических методов контроля Института прикладной физики НАН Беларуси (внесен в реестр средств измерений Республики Беларусь).

Критерии хрупкости для высокопрочного бетона при высокой температуре для эксплуатируемых кон-

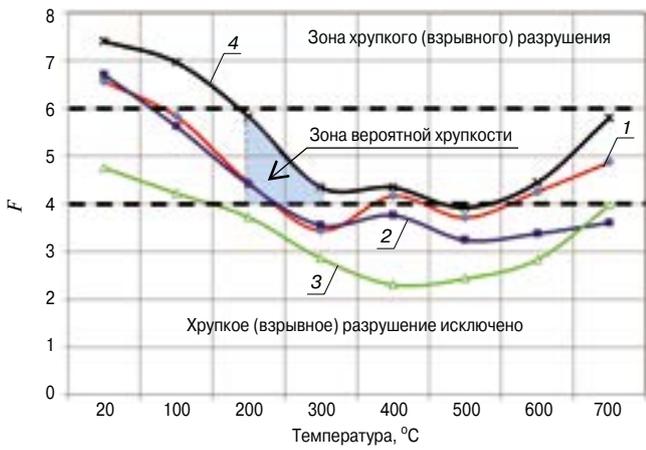


Рис. 8. Расчетные значения критерия хрупкости F при нагреве (формула 8)

тебя соответственно; $r = l + R$; $g = (1,7 + 14\alpha_0)l / (M - 2R)$; $\alpha_0 = G_1 / G_2$; G_1 – модуль сдвига матрицы, МПа; G_2 – модуль сдвига заполнителя, МПа.

В контактной трещине на границе крупного заполнителя и цементно-песчаного раствора при нагреве (рис. 7) K_I и K_{II} рассчитываются по формулам:

$$K_{I,r} = 2p(1-\alpha)^{-1} \sqrt{\pi R \sin \theta} \{ G_1(1+\chi_2)[G_1(1+\chi_2) + G_2(1+\chi_1)] \varepsilon^{\beta(\theta+\pi)} / \{ (G_1+G_2\chi_1)[G_2(1+\chi_1)+2G_1(1+\chi_2)] - G_2(1+\chi_1)(G_2+G_1\chi_2)(\cos \theta - 2\beta \sin \theta) \varepsilon^{-2\beta\theta} \}; \quad (6)$$

$$K_{I,r} = 2pR^\beta (1+\alpha)^{-1} \sqrt{\pi R \sin \theta} \{ G_1(1+\chi_2)[G_1(1+\chi_2) + G_2(1+\chi_1)(1-2\beta) \varepsilon^{\beta(\theta+\pi)} \varepsilon^{-\beta \ln 2 \sin \theta}] / \{ (G_1+G_2\chi_1)[G_2(1+\chi_1) + 2G_1(1+\chi_2)] - G_2(1+\chi_1)(G_2+G_1\chi_2)(\cos \theta - 2\beta \sin \theta) \varepsilon^{-2\beta\theta} \}; \quad (7)$$

где $\alpha = (G_2 + G_1\chi_2) / (G_1 + G_2\chi_1)$; $\chi_1 = (3 - \mu_1) / (1 + \mu_1)$;

$$\chi_2 = (3 - \mu_2) / (1 + \mu_2); \quad \beta = (1/2\pi) \ln \alpha.$$

Бетон с микрокремнеземом более плотный, и закупоривание пара в порах и высокое давление пара, соизмеримое с прочностью при растяжении, вызывают раскрекивание.

Хрупкое разрушение является взрывным, сложно прогнозируемым, носит катастрофический характер при температуре свыше 300°С, оголяет защитный слой железобетонных конструкций, вследствие чего прямое воздействие высокой температуры на арматуру ускоряет процесс деструкции.

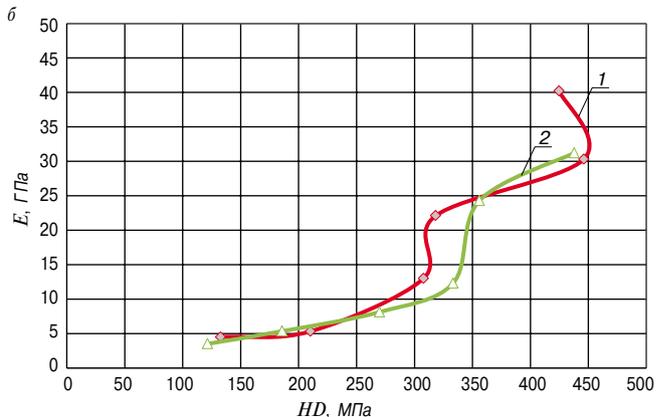
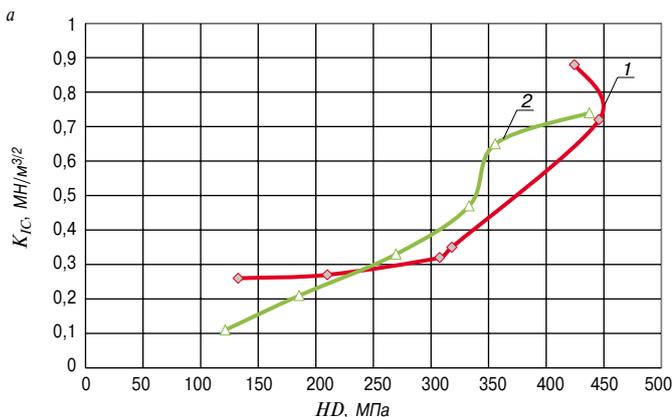


Рис. 9. Зависимость поверхностной твердости HD от коэффициента интенсивности напряжения при нормальном отрыве K_{IC} (а) и от динамического модуля упругости E_d (б)

струкций определяются на основе зависимости E_d и K_{IC} от поверхностной твердости HD (рис. 9).

На основании полученных экспериментальных данных предложено значение поверхностной твердости (при $t=20^\circ\text{C}$) высокопрочного бетона $HD>450$ МПа, при нагреве которого не будет происходить хрупкое разрушение.

Выводы.

1. Предложены критерии возникновения взрывного разрушения высокопрочного бетона (для изготавливаемых конструкций) в терминах силовых и энергетических параметров механики разрушения, значения которых соответствуют $K_{IC}>0,8$ МН/м^{3/2}; $G_i>14$ Н/м; $l_c\geq 0,03$ м, при нормальной температуре имеющие физический смысл и научно обоснованные методики.
2. Выполнена экспериментальная многопараметрическая оценка прочностных, деформативных свойств, силовых и энергетических характеристик высокопрочного бетона в диапазоне температуры от 100 до 700^oC.
3. Разработаны методы экспериментального определения коэффициентов интенсивности напряжения при нормальном отрыве и поперечном сдвиге высокопрочного бетона, подвергнутого воздействию высоких температур, подтвержденные патентами на изобретение Республики Беларусь и Российской Федерации.
4. Для эксплуатируемых конструкций разработана и апробирована методика неразрушающего контроля, позволяющая определить поверхностную твердость бетона HD , а через нее по экспериментальным зависимостям рассчитать требуемые пороговые значения K_{IC} .

Список литературы

1. Патент ВУ 16193. *Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона* / Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Заявл. 30.03.2010. Опубл. 30.08.2012.
2. Патент ВУ 16194. *Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона* / Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Заявл. 30.03.2010. Опубл. 30.08.2012.
3. Патент ВУ 19170. *Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона* / Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Опубл. 30.06.2015.
4. Патент RU 2621618. *Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона* / Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Ким Л.В. Опубл. 06.06.2017.
5. Патент RU 2621623. *Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона* / Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Ким Л.В. Опубл. 06.06.2017.
6. Литвиновский Д.А., Зверев В.Ф., Леонович С.Н. Исследования механических свойств высококачественного бетона в условиях высокотемпературного нагрева // *Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства: Сб. науч.-техн. ст. (материалы науч.-метод. семинара)*. Минск. 29 мая 2012 г. Ч. 2. С. 84–91.
7. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Аналитические зависимости прочностных, деформативных, силовых и энергетических параметров высокопрочного бетона при нагреве // *Вестник Белорусского национального технического университета*. 2011. № 4. С. 30–34.
8. Литвиновский Д.А. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при воздействии высоких температур. В кн.: Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях: В 2 ч. Минск, 2016. Ч. 1. Гл. 1. С. 12–160.
9. Леонович С.Н., Зверев В.Ф., Литвиновский Д.А. Критерии хрупкого разрушения высокопрочного бе-

тона. *Механика разрушения строительных материалов и конструкций: Материалы VIII Академических чтений РААСН*. Казань. 2014. С. 169–173.

10. Литвиновский, Д.А., Леонович С.Н. Критерии хрупкости высокопрочного конструкционного бетона при воздействии высоких температур: конструкции изготавливаемые и эксплуатируемые. Технология строительства и реконструкции: Сб. трудов БНТУ. Минск, 2017. С. 293–301.

References

1. Patent BY 16193. *Sposob opredeleniya kriticheskogo koefitsienta intensivnosti napryazheniya vysokoprochnogo betona* [The method of determining the critical stress intensity factor of high strength concrete]. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A. Declared 30.03.2010. Published 30.08.2012. (In Russian).
2. Patent BY 16194. *Sposob opredeleniya kriticheskogo koefitsienta intensivnosti napryazheniya vysokoprochnogo betona* [The method of determining the critical stress intensity factor of high strength concrete]. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A. Declared 30.03.2010. Published 30.08.2012. (In Russian).
3. Patent BY 19170. *Sposob opredeleniya kriticheskogo koefitsienta intensivnosti napryazheniya vysokoprochnogo betona* [The method of determining the critical stress intensity factor of high strength concrete]. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A. Published 30.06.2015. (In Russian).
4. Patent RU 2621618. *Sposob opredeleniya kriticheskogo koefitsienta intensivnosti napryazheniya vysokoprochnogo betona* [The method of determining the critical stress intensity factor of high strength concrete]. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A., Kim L.V. Published 06.06.2017. (In Russian).
5. Patent RU 2621623. *Sposob opredeleniya kriticheskogo koefitsienta intensivnosti napryazheniya vysokoprochnogo betona* [The method of determining the critical stress intensity factor of high strength concrete]. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A., Kim L.V. Published 06.06.2017. (In Russian).
6. Litvinovsky D.A., Zverev V.F., Leonovich S.N. Studies of mechanical properties of high-quality concrete in conditions of high-temperature heating. *Problems of implementation of design standards and European Union standards in construction: collection of scientific works.-tech. article (scientific and method. seminar)*. Minsk. 29 may 2012. Part 2, pp. 84–91. (In Russian).
7. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A. Analytical dependences of strength, deformation, force and energy parameters of heated high-strength concrete. *Vestnik Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. No. 4, pp. 30–34. (In Russian).
8. Litvinovsky D.A. Prochnost', treshchinostoykost' i dolgovechnost' konstruksionnogo betona pri vozddeistvii vysokikh temperatur. V kn. Prochnost', treshchinostoykost' i dolgovechnost' konstruksionnogo betona pri temperaturnykh i korrozionnykh vozddeistviyakh: v 2 ch [Strength, crack resistance and durability of structural concrete at high temperatures. In book Strength, crack resistance and durability of structural concrete under temperature and corrosive effects. In 2 parts]. Minsk. 2016. Part 1. Ch. 1, pp. 12–160. (In Russian).
9. Leonovich S.N., Zverev V.F., Litvinovsky D.A. Criteria of brittle fracture of high-strength concrete. *Fracture Mechanics of materials and structures: proceedings of the VIII Academic readings RAACS*. Kazan. 2014, pp. 169–173. (In Russian).
10. Litvinovsky D.A., Leonovich S.N. Criteria of brittle strength of structural concrete at high temperatures: design manufactured and operated. Technology of construction and reconstruction: a collection of works BNTU. Minsk. 2017, pp. 293–301. (In Russian).

Б.В. ГУСЕВ¹, д-р техн. наук, академик РИА, член-корреспондент РАН;
А.И. ЗВЕЗДОВ², д-р техн. наук, академик РИА (Smirnova@cstroy.ru)

¹ Российский университет транспорта (МИИТ) (127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9)

² АО НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., 6)

Теоретические и экспериментальные исследования статистических вопросов прочности бетонов

Бетоны являются многокомпонентными системами, в которых формируются элементы внутренней структуры. Эти элементы (кластеры) расположены вдоль и поперек направления действия разрушающей силы, и для решения статистической задачи они представляются в виде структур по схемам и «цепи», и «каната». В статье получены формулы для оценки среднего значения прочности и среднего квадратичного отклонения величины прочности для структурных элементов, а также как статистические величины, определяющие свойства большого массива (объема) образца или сооружения. Получены формулы для определения прочности и коэффициента вариации прочности для любой сложной системы, представляющей различные сочетания схем «цепи» и «каната» при любом произвольном распределении прочности элементов как случайных величин. Выполнена проверка теоретических гипотез экспериментальными результатами.

Ключевые слова: статистическая прочность, среднее значение (математическое ожидание) прочности, коэффициенты вариации прочности, структурный элемент, составной образец (массив), схемы «цепи» и «каната», экспериментальные исследования.

Для цитирования: Гусев Б.В., Звездов А.И. Теоретические и экспериментальные исследования статистических вопросов прочности бетонов // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 18–21.

B.V. GUSEV¹, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of Russian Academy of Engineering, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, A.I. ZVEZDOV², Doctor of Sciences (Engineering), Academician of Russian Academy of Engineering, (Smirnova@cstroy.ru)

¹ Russian University of Transport (MIIT) (9, bldg. 9, Obrazcova Street, 127994, Moscow, Russian Federation)

² JSC Research Center of Construction (6, 2nd Institut'skaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

Theoretical and Experimental Studies of Statistical Issues of Concrete Strength

Concretes are multi-component systems where elements of the internal structure are formed. These elements (clusters) are situated along and across the direction of action of a destructive force and to solve the statistical task they are represented in the form of structures according to both schemes of «a chain» and «a rope». The article presents the formulas for assessing the average value of strength and average square deviation of the strength value for structural elements as well as statistical values defining properties of a large mass (volume) of a sample or structure. Formulas for defining the strength and coefficient of strength variation for any complex system which are various combinations of the «chain» and «rope» schemes at any general distribution of the strength of elements as random values have been obtained. Check of theoretical hypotheses was carried out by experimental results.

Keywords: statistical strength, average value (expectation value) of strength, coefficients of strength variation, structural element, composite sample (massif), «chain» and «rope» schemes, experimental studies.

For citation: Gusev B.V., Zvezdov A.I. Theoretical and experimental studies of statistical issues of concrete strength. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 18–21. (In Russian).

Бетоны являются многокомпонентной системой, свойство которой зависит от прочности и однородности крупного заполнителя, цементного камня, их соотношения и целого ряда взаимозависимых и независимых факторов [1–9]. Наряду с феноменологическими представлениями о прочности бетона [10–13] большое внимание следует уделять статистическим вопросам прочности [14–16].

В статье представлено аналитическое и экспериментальное исследование прочности бетонов и коэффициенты вариации прочности в зависимости от количества составляющих его структурных элементов и однородности их свойств.

Рассмотрим действие нагрузки на несколько элементов, расположенных один на другом. При разрушении хотя бы одного из них вся система разрушается. Таким образом, предельная нагрузка при таком соединении блоков определяется минимальной прочностью одного из них. В статистических теориях прочности подобное последовательное расположение элементов соответствует представлению о работе «цепи».

При параллельном соединении элементов действующая нагрузка распределяется между ними. При разрушении одного элемента нагрузка перераспределяется на остальные и в среднем прочность такого рас-

положения оказывается значительно выше, чем при последовательном соединении. Задача параллельного расположения элементов сводится к задаче о прочности «каната».

В аналитической части исследования используются следующие основные предположения. Структурная прочность бетона может быть представлена некоторыми элементами, соединенными по схеме «цепи». Пусть n структурных элементов соединены в «цепь».

Очевидно, в этом случае прочность системы S будет равна:

$$S = \min(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где x_i – прочность i -го структурного элемента; n – число структурных элементов.

Определим вероятностные характеристики прочности. Как видно, функция распределения вероятности S в случае «цепи» соответствует распределению первой порядковой статистики n -мерной выборки из генеральной совокупности случайной величины с функцией распределения, равной функции распределения прочности одного структурного элемента, которую мы обозначим $F_3(x)$. Тогда функция распределения прочности S будет равна [4]:

$$F(S) = 1 - [1 - F_{\exists}(S)]^n. \quad (2)$$

Считая, что $F_{\exists}(x)$ имеет плотность распределения $f_{\exists}(x)$, для плотности распределения прочности, ее математического ожидания дисперсии получим выражения:

$$f(S) = n[1 - F_{\exists}(S)]^{n-1} f_{\exists}(x); \quad (3)$$

$$M_S = n \int_{-\infty}^{\infty} S [1 - F_{\exists}(S)]^{n-1} f_{\exists}(x) dS; \quad (4)$$

$$D_S = n \int (S - M_S)^2 [1 - F_{\exists}(S)]^{n-1} f_{\exists}(x) dS. \quad (5)$$

При больших n имеют место некоторые асимптотические соотношения. Так, если ввести преобразование:

$$\eta = nF(S), \quad (6)$$

то асимптотическая плотность η при $n \rightarrow \infty$ имеет вид:

$$f_{\eta} = \frac{e^{-\eta}}{\Gamma(1)}, \quad (7)$$

где $\Gamma(1)$ – гамма-функция.

Более конкретные результаты могут быть получены в предположении какого-либо определенного закона распределения прочности отдельного структурного элемента, например нормального. Пусть:

$$f_{\exists}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\exists}}} - \varepsilon^{-1/2} \left(\frac{x-a_{\exists}}{\sigma_{\exists}}\right)^2, \quad (8)$$

где a_{\exists} , σ_{\exists} – математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение прочности отдельного структурного элемента.

Подставив (8) в (3)–(5), после несложных преобразований получим:

$$M_S = a_{\exists}(1 + n\gamma_{\exists} l_1);$$

$$D_S = \sigma_{\exists}^2 \frac{2n(l_1^2 - l_1)}{\gamma_{\exists}} + n(l_2 - nl_1^2). \quad (9)$$

Коэффициент вариации соответственно равен:

$$\gamma_S = \sqrt{\frac{l_0 + 2\gamma_{\exists} l_1 + \gamma_{\exists}^2 l_2}{n(l_0 + \gamma_{\exists} l_1)^2}} - 1. \quad (10)$$

В формулах (9) и (10):

$$\gamma_{\exists} = \frac{\sigma_{\exists}}{a_{\exists}};$$

$$l_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{t^2}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \left| \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{v^2}{2}} dV \right|^{n-1} dt. \quad (11)$$

Применяя l_0 по частям, можно показать, что:

$$l_0 = \frac{1}{n}. \quad (12)$$

Интегралы l_1 и l_2 связаны с первым и вторым моментами нормальной выборки и могут быть определены при помощи соответствующих таблиц или вычислены стандартными методами [5, 16].

В случае нормального закона и больших n имеют место асимптотические соотношения для M_S , D_S , γ_S [8]:

$$M_S = a_{\exists} + \sigma_{\exists} \left| \sqrt{2\lg n} - \frac{\lg \lg n + \lg 4\pi - 2C}{2\sqrt{2\lg n}} + \theta\left(\frac{1}{\lg n}\right) \right|; \quad (13)$$

$$D_S = \frac{\sigma_{\exists}^2}{2\lg n} \frac{\pi^2}{6} + \theta\left(\frac{1}{\lg^2 n}\right); \quad (14)$$

$$\gamma_S = \frac{\sqrt{\frac{\sigma_{\exists}^2}{2\lg n} \frac{\pi^2}{6} + \theta\left(\frac{1}{\lg^2 n}\right)}}{a_{\exists} + \sigma_{\exists} \left| \sqrt{2\lg n} - \frac{\lg \lg n + \lg 4\pi - 2C}{2\sqrt{2\lg n}} + \theta\left(\frac{1}{\lg n}\right) \right|}, \quad (15)$$

где C – постоянная Эйлера, $C = 0,5772$.

Формула (15) позволяет исследовать поведение коэффициентов вариации γ_S при увеличении числа структурных элементов. Рассмотрим вначале случай, когда с увеличением n $f_{\exists}(x)$ не изменяется, т. е. происходит простое увеличение числа однородных элементов, входящих в схему «цепи».

Тогда в формуле (15) величины a_{\exists} и σ_{\exists} при изменении n будут оставаться постоянными. Нетрудно видеть, что в этом случае при $n \rightarrow \infty$ $\gamma_S \rightarrow 0$, т. е. изменчивость прочности уменьшается при увеличении числа структурных элементов.

Возможен также другой случай, когда с увеличением числа структурных элементов изменяются и вероятностные свойства их прочности. С целью исследования этого случая запишем формулу (15) в другом виде, для чего разделим числитель и знаменатель на a_{\exists} . Получим:

$$\gamma_S = \frac{\sqrt{\frac{\gamma_{\exists}^2}{2\lg n} \frac{\pi^2}{6} + \theta\left(\frac{1}{\lg^2 n}\right)}}{1 + \gamma_{\exists} \left| \sqrt{2\lg n} - \frac{\lg \lg n + \lg 4\pi - 2C}{2\sqrt{2\lg n}} + \theta\left(\frac{1}{\lg n}\right) \right|}. \quad (16)$$

Из формулы (16) следует, что независимо от поведения γ_{\exists} при $n \rightarrow \infty$ $S \rightarrow 0$ для случая «цепи» и нормального закона распределения прочности структурных элементов увеличение числа последних приводит к уменьшению изменчивости прочности систем независимо от характера изменения вероятностных параметров прочности структурных элементов. Можно отметить также слабое изменение M_S при росте n и постоянном γ_{\exists} . Это следует из весьма медленного изменения величины $n l_1$ при увеличении n .

Перейдем к исследованию схемы «каната». Пусть, как и ранее, x_1, x_2, \dots, x_n – прочности структурных элементов, соединенных по схеме «каната». Предположим, что величины x_i уже упорядочены в порядке возрастания:

$$x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots x_n.$$

Тогда, очевидно, прочность всей системы определяется как:

$$S = \max\{nx_1, (n-1)x_2, \dots x_n\}. \quad (17)$$

Нахождение функции распределения в этом случае весьма сложно, поэтому воспользуемся некоторыми упрощениями. Так, для прочности S , определяемой по формуле (17), имеют место оценки:

$$nx_1 \leq S \leq \sum_{i=1}^n x_i. \quad (18)$$

Очевидно, что неравенства (18) выполняются с вероятностью равной единице. Допустим, что характер поведения γ_{\exists} такой же, как и у коэффициентов вариации нижней и верхней оценок в (18). Такое предположение вполне допустимо с точки зрения физического существа прочности рассматриваемой схемы. Коэффициент вариации нижней оценки равен коэффициенту вариации x_1 , т. е. первой порядковой статистики, и был рассмотрен выше в схеме «цепи». Коэффициент вариации верхней оценки равен:

$$\gamma\left(\sum_{i=1}^n x_i\right) = \frac{\gamma_{\exists}}{\sqrt{n}}. \quad (19)$$

Математическое ожидание и дисперсия будут равны:

Схема структурных элементов, состав	Число структурных элементов в составном образце	Точечная оценка мат. ожидания прочности, МПа	Теоретическое значение мат. ожидания прочности, МПа	Точечная оценка коэффициента вариации	Теоретическое значение коэффициента вариации	Число экспериментов
«Цепь», состав 1:5 (гипс:песок)	1	1,71	1,71	0,25	0,25	10
	2	1,38	1,46	0,20	0,23	14
	3	1,18	1,34	0,19	0,219	11
«Канат», состав 1:5 (гипс:песок)	4	1,44	1,48	0,145	0,125	5
	6	2,04	2,22	0,127	0,102	7
	8	3,33	3,33	0,075	0,083	4

$$M(\sum_{i=1}^n x_i) = n a_{\exists}, \quad D(\sum_{i=1}^n x_i) = n \sigma_{\exists}^2. \quad (20)$$

Как видно, правая часть (19) при $n \rightarrow \infty$ стремится к нулю, если при этом γ_{\exists} постоянно или увеличивается медленнее, чем \sqrt{n} . Таким образом, в случае схемы «каната» можно считать, что с учетом последнего условия увеличение количества структурных элементов приводит к уменьшению изменчивости прочности системы.

В заключение рассмотрения аналитической части вопроса приведем некоторые соображения относительно поведения коэффициента вариации прочности более сложных систем. Такие системы можно образовывать, комбинируя различные сочетания схем «цепи» и «каната». Так, многие системы можно представить в виде схемы «цепи», где каждый структурный элемент является в свою очередь системой более простых элементов, соединенных по схеме «каната». Если для прочности таких «канатов» принять верхнюю оценку (18), то с увеличением числа структурных элементов законы распределения прочности «канатов» будут стремиться к нормальным. В этом случае для рассматриваемой сложной схемы будут справедливы выводы, полученные для схемы «цепи».

Таким образом, свойство уменьшения изменчивости прочности бетона при увеличении числа структурных элементов можно считать общей закономерностью.

Для указанной выше сложной системы, рассматриваемой как «цепь» с элементами в виде «канатов», можно получить формулу для коэффициента вариации. Пусть в каждом «канате» имеется n структурных элементов и m таких «канатов» соединены в «цепь». При нормальном законе прочности структурных элементов, объединяя формулы (9), (10) и (19), (20), получим:

$$M_S = m a_{\exists} (1 + m \frac{\gamma_{\exists}}{\sqrt{n}} l_1); \quad (21)$$

$$\gamma_S = \sqrt{\frac{l_0 + 2 \frac{\gamma_{\exists}}{\sqrt{n}} l_1 + \frac{\gamma_{\exists}^2}{n} l_2}{m(l_0 + \frac{\gamma_{\exists}}{\sqrt{n}} l_1)^2} - 1}; \quad (22)$$

$$D_S = m \sigma_{\exists}^2 \frac{2m\sqrt{n}(l_1^2 - l_1)}{\gamma_{\exists}} + m(l_2 - m l_1^2). \quad (23)$$

Формулы (21)–(23) будут давать хорошее приближение в большинстве случаев и при произвольном законе распределения прочности структурных элементов в силу центральной предельной теоремы [15].

При экспериментальном исследовании анализировалась прочность составных систем из структурных элементов в виде кубиков размером $2 \times 2 \times 2$ см, отформованных из гипсопесчаной смеси различного состава. Прочность образцов-кубиков испытывалась в условиях одноосного сжатия. По результатам испытаний 90 об-

разцов состава 1:1 был сделан вывод о приемлемости нормального закона для распределения прочности структурных элементов.

Из таких же кубиков составов 1:5 складывали составные образцы по схеме «цепи» и «каната» и испытывали в условиях одноосного сжатия. Результаты экспериментов и расчетов по формулам (9, 10) и (21, 22) представлены в табл. 1.

Таким образом, испытывая на прочность структурные элементы и вычисляя коэффициент вариации их прочности, можно определять прочность сложных систем (массивов, составных образцов) и коэффициенты вариации прочности при различных соотношениях числа структурных элементов по схеме «цепи» и «каната» в составном образце.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ, 2002. 500 с.
2. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С. Новые модифицированные бетоны. М.: Типография «Парадиз», 2010. 238 с.
3. Гусев Б.В., Ин Иен-лян С., Кузнецова Т.В. Цементы и бетоны – тенденции развития. М.: Научный мир, 2012. 136 с.
4. Яковлев Г.И., Федорова Г.Д., Полянских И.С. Высокопрочный бетон с дисперсными добавками // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 2. С. 35–42.
5. Калашников В.И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Ч. 1. Изменение составов и прочности бетонов // *Строительные материалы*. 2016. № 1–2. С. 97–103.
6. Фаликман В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 31–34.
7. Гусев Б.В. Перспективные технологии при производстве сборного железобетона. Ижевск, 2015. 205 с.
8. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Прогнозирование долговечности бетона при выщелачивании. М.: Научный мир, 2014. 109 с.
9. Гусев Б. В., Файвусович А. С. Построение инженерной методики прогнозирования деградации железобетонных конструкций в условиях атмосферной коррозии // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 10. С. 28–38.
10. Структура, прочность и деформация бетонов / Под ред. А.Е. Десова. М.: Стройиздат, 1966. 231 с.
11. Состав, структура и свойства цементных бетонов. Под ред. Г.И. Горчакова. М.: Стройиздат, 1976. 146 с.
12. Ахвердов И.Н., Смольский А.Е., Скочеляс В.В. Моделирование напряженного состояния бетона и железобетона. Минск: Наука, 1973. 271 с.
13. Кузнецова Т.В., Кудряшев И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. М.: Высшая школа, 1989. 384 с.

14. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.: Стройиздат, 1971. 252 с.
15. Волков Л.И., Рудаков В.Б. Статистический контроль иерархических систем. М.: СИП РИА, 2002. 355 с.
16. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 415 с.

References

1. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona [Technology of concrete]. Moscow: ASV. 2002. 500 p.
2. Kapriyelov S.S., Sheynfeld A.V., Kardumyan G.S. Noveye modifitsirovannye betony [The new modified concrete]. Moscow: Tipografiya «Paradiz». 2010. 238 p.
3. Gusev B.V., Ying Iyen-liang S., Kuznetsova T.V. Semynty i betony – tendentsii razvitiya [Cements and concrete – development tendencies]. Moscow: Nauchnyi mir, 2012. 136 p.
4. Yakovlev G.I., Fedorova G.D., Polyanskikh I.S. High-strength concrete with disperse additives. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 2, pp. 35–42. (In Russian).
5. Kalashnikov V.I. Evolution of development of structures and change of durability of concrete. Concrete of the present and future. P. 1. Change of structures and durability of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 1–2, pp. 97–103. (In Russian).
6. Falikman V.R. Nanomaterialy and nanotechnologies in modern concrete. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 31–34. (In Russian).
7. Gusev B.V. Perspective technologies by production of precast concrete [Perspektivnye tekhnologii pri proizvodstve sbornogo zhelezobetona]. Izhevsk. 2015. 205 p.
8. Gusev B.V., Fayvusovich A.S. Forecasting of durability of concrete when leaching [Prognozirovanie dolgovech-

- nosti betona pri vyshchelachivanii]. Moscow: Nauchnyi mir, 2014. 109 p.
9. Gusev B.V., Fayvusovich A.S. Creation of an engineering technique of forecasting of degradation of reinforced concrete designs in the conditions of atmospheric corrosion. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 10, pp. 28–38. (In Russian).
10. Struktura, prochnost' i deformatsiya betonov. Pod red. A.E. Desova [Structure, durability and deformation of concrete. Under the editorship of A.E. Desov]. Moscow: Stroyizdat. 1966. 231 p.
11. Sostav, struktura i svoystva tsementnykh betonov. Pod red. G.I. Gorchakova [Structure, structure and properties of cement concrete. Under the editorship of G.I. Gorchakov]. Moscow: Stroyizdat. 1976. 146 p.
12. Akhverdov I.N., Smolsky A.E., Skochelyas V.V. Modelirovanie napryazhennogo sostoyaniya betona i zhelezobetona [Modeling of stress of concrete and reinforced concrete]. Minsk: Nauka. 1973. 271 p.
13. Kuznetsova T.V., Kudryashev I.V., Timashev V.V. Fizicheskaya khimiya vyazhushchikh materialov [Physical chemistry of the knitting materials]. Moscow: Vysshaya shkola. 1989. 384 p.
14. Bolotin V.V. Primenenie metodov teorii veroyatnosti i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzhenii [Application of methods of probability theory and the theory of reliability in calculations of constructions]. Moscow: Stroyizdat. 1971. 252 p.
15. Wolves L.I., Rudakov V.B. Statisticheskii kontrol' ierarkhicheskikh sistem [Statistical control of hierarchical systems]. Moscow: SIP RIA. 2002. 355 p.
16. Bolshev L.N., Smirnov N.V. Tablitsy matematicheskoi statistiki [Tables of mathematical statistics]. Moscow: Nauka. 1983. 415 p.

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



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

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

Основные темы конгресса

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

Официальные языки конференции – немецкий, английский

Подробности вы найдете на сайте: www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

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

Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов.

Часть 2. Реологические характеристики бетонных смесей и прочность самоуплотняющихся бетонов

Выполнена оценка влияния водоудерживающих добавок на реологические характеристики самоуплотняющихся смесей и физико-механические свойства СУБ. Для тяжелых и мелкозернистых бетонных смесей на цементе ПЦ500 ДО Н с комплексом добавок суперпластификатор+стабилизатор при условии обеспечения равноподвижности через определенный промежуток времени отмечен эффект увеличения растекаемости. Такой характер действия водоудерживающей добавки увеличивает сохраняемость – способность смеси к самоуплотнению – в два раза. При введении комплекса суперпластификатор+стабилизатор в легкобетонную самоуплотняющуюся смесь эффект увеличения растекаемости отсутствует и происходит снижение средней плотности смеси. Анализ кривых изменения текучести бетонных смесей показывает на неоднозначное влияние водоудерживающих добавок и свидетельствует о необходимости экспериментальной проверки их взаимодействия с цементом конкретного вида. Кинетика изменения предельных напряжений сдвига самоуплотняющихся смесей водоудерживающими добавками подтверждает механизм действия стабилизаторов, который заключается в снижении скорости гидратации цемента и увеличении сохраняемости смесей. В ходе исследований установлен высокий водоудерживающий эффект стабилизаторов, приводящий к росту водопотребности бетонных смесей и снижению прочности бетона. При поставке потребителю СУБ с комплексом добавок суперпластификатор+водоудерживающая добавка следует представлять кривую изменения текучести смеси во времени.

Ключевые слова: самоуплотняющиеся бетоны, суперпластификатор, водоудерживающая добавка, комплексная добавка, реологические характеристики, эффект увеличения растекаемости смесей, предельные напряжения сдвига.

Для цитирования: Касторных Л.И., Деточенко И.А., Аринина Е.С. Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов. Часть 2. Реологические характеристики бетонных смесей и прочность самоуплотняющихся бетонов // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 22–27.

L.I. KASTORNYKH, Candidate of Science (Engineering) (likas9@mail.ru), I.A. DETOCHENKO, Master student, E.S. ARININA, Master student
Don State Technical University (1, Gagarina Square, Rostov-on-Don, 344010, Russian Federation)

Effect of Water-Retaining Additives on Some Properties of Self-Compacting Concretes. Part 2. Rheological Characteristics of Concrete Mixes and Strength of Self-Compacting Concretes

Estimation of the effect of water-retaining additives on the rheological characteristics of self-compacting mixes and physical-chemical properties of self-compacting concretes (SCC) is made. The effect of increasing spreadability is noted after certain period of time for heavy and fine concrete mixes on the cement PTS500 DO N with the complex of additives of superplasticizer+stabilizer under the condition of providing the equal mobility. Such nature of the action of water-retaining additive improves the keeping – ability of the mix to self-compaction – by two times. When introducing the complex of superplasticizer-stabilizer in the light concrete self-compacting mix, the effect of increasing spreadability is absent and the reduction in the average density of the mix occurs. The analysis of curves of change in the flowability of concrete mixes shows the ambiguous effect of water-retaining additives and testifies the necessity of additional experimental verification of their interaction with the cement of a concrete type. The kinetics of the change in shear yield stress of self-compacting mixes with water-retaining additives confirms the mechanism of action of stabilizers which is reducing the velocity of cement hydration and increasing the keeping of mixes. In the course of studies, the high water-retaining effect of stabilizers which leads to the growth of water consumption of concrete mixes and reduction in the strength of concrete is established. When supplying SCC with the complex of additives, superplasticizer+water-retaining additive, it is necessary to present the curve of change in flowability of the mix in time.

Keywords: self-compacting concretes, superplasticizer, water-retaining additive, complex additive, rheological characteristics, effect of increasing of mixes spreadability, limiting shear stresses.

For citation: L.I. Kastornykh, I.A. Detochenko, E.S. Arinina. Effect of water-retaining additives on some properties of self-compacting concretes. Part 2. Rheological characteristics of concrete mixes and strength of self-compacting concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 22–27. (In Russian).

Самоуплотняющиеся бетоны (СУБ), широко используемые в мировой строительной практике [1, 2], в нашей стране пока не находят широкого применения. Причиной этого являются отставание нормативной базы, высокая стоимость и отсутствие научного сопровождения.

В новом национальном стандарте ГОСТ Р 57345-2016/EN 206-1:2013 «Бетон. Общие технические условия», введенном в действие в июле 2017 г. и являющемся переводом немецкого стандарта, приводится следующее определение: СУБ – это бетон, который вследствие собствен-

ного веса течет и сам уплотняется, а также заполняет опалубку с арматурой, каналами, выемками и т. д. и при этом сохраняет свою однородность. По мнению авторов настоящей статьи, в переводе не учтены традиции российской школы бетонovedения, предусматривающей изучение трех агрегатных состояний бетона: бетонная смесь, свежесуспензированный бетон и затвердевший бетон. Поэтому определение, приведенное в ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования», наиболее приемлемо: СУБ – бетон, изготовленный

из бетонной смеси, способной уплотняться под действием собственного веса.

Для исследования свойств бетонных смесей кроме технологических (удобоукладываемость, сохраняемость) важную роль играют реологические характеристики (вязкость, предельное напряжение сдвига, коэффициент внутреннего трения). Вопросам изучения реологических свойств цементных систем и самоуплотняющихся смесей посвящены многочисленные работы как отечественных [3–6], так и зарубежных исследователей [7–9].



Рис. 1. Прибор для определения предельного напряжения сдвига самоуплотняющихся бетонных смесей

На первом этапе работы [10] установлено, что в зависимости от величины предельных напряжений сдвига цементных суспензий следует назначать дозировку суперпластификатора и водоудерживающих добавок для цемента конкретного вида.

Водоудерживающие добавки по классификации ГОСТ 2421–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия» по механизму действия относятся к стабилизирующим и должны снижать расслаиваемость смесей по показателям водо- и раствороотделения в два раза и более.

Для бетонных и растворных смесей общестроительного назначения в качестве стабилизаторов используются неорганические, например бентонитовая глина, и органические поверхностно-активные материалы. Для

самоуплотняющихся смесей разработаны эффективные стабилизаторы на основе крахмала, водного раствора высокомолекулярного синтетического полимера, а также комплексной смеси микронаполнителя и синтетических полимеров. Эти добавки относятся к новому поколению химических модификаторов, способных целенаправленно изменять текучесть смесей, сохраняя при этом их высокую однородность и агрегативную устойчивость. Поэтому стабилизаторы, позволяющие получать СУБ даже при отсутствии в их составе тонкодисперсных минеральных наполнителей, называют модификаторами вязкости (СТО 70386662-306–2013 «Добавки на основе эфиров поликарбонилатов для изготовления вибрационных и самоуплотняющихся бетонов»).

На втором этапе исследований для самоуплотняющихся бетонных смесей с водоудерживающими добавками в качестве исследуемых реологических характеристик выбраны вязкость T_{500} и предельное напряжение сдвига (предел текучести) τ_0 .

Вязкость бетонной смеси T_{500} установлена одновременно с определением расплыва как время растекания смеси до достижения диаметра 500 мм. Растекаемость смесей определена по диаметру расплыва смеси по методике EN 12350.5–2000.

Для определения предельных напряжений сдвига бетонных смесей использован простейший прибор, аналогичный мини-вискозиметру Суттарда и состоящий из полого цилиндра (диаметром 100 мм, высотой 200 мм) с насадкой и стеклянного основания с разметкой (рис. 1).

Расчет предельных напряжений сдвига бетонных смесей τ_0 , Па, выполнен так же, как для цементных суспензий [10]:

$$\tau_0 = \frac{hd^2}{kD^2} \rho, \quad (1)$$

где h, d – высота и диаметр цилиндра, м; ρ – средняя плотность бетонной смеси, кг/м³; $k = 2$; D – диаметр расплыва бетонной смеси, м.

Авторы статьи [11], исследуя совместное влияние суперпластифицирующих и стабилизирующих добавок на свойства СУБ, при проектировании его состава предложили использовать коэффициент оптимального соотношения дозировок пластификатора и стабилизатора K_{opt} :

Таблица 1

Состав	Расход добавки на 1 м ³ смеси, кг		Диаметр расплыва, см	Вязкость смеси T_{500} , с	Предельное напряжение сдвига, Па	В/Ц	Объем цементного теста, л	Средняя плотность смеси, кг/м ³
	VC24HE	S.4R						
1А	6,84	–	64	6	16,7	0,49	372	2420
2А	6,6	2,24	63	7	16,5	0,61	411	2390
3А	6,8	2,3	43	–	42,2	0,48	365	2395
4А	6,8	–	66	4	13,7	0,48	367	2400

Таблица 2

Состав	Расход добавки на 1 м ³ смеси, кг						Диаметр расплыва, см	Осадка конуса, см	Вязкость смеси T_{500} , с	Предельное напряжение сдвига, Па	В/Ц	Объем цементного теста, л	Средняя плотность смеси, кг/м ³
	VC 24HE	S.4R	FK-63	S.M21	MG ACE430	MM100							
1С	7,05	–	–	–	–	–	66	–	12	16	0,42	348	2440
2С	4,4	0,9	–	–	–	–	63	–	9	13,6	0,57	399	2390
3С	4,4	0,9	–	–	–	–	55	–	7	25,3	0,58	394	2350
4С	6,7	2,2	–	–	–	–	–	22	–	–	0,57	396	2390
5С	–	–	4,3	1,22	–	–	–	23	–	–	0,63	409	2315
6С	–	–	–	–	4,6	–	64	–	9	18,4	0,46	359	2405
7С	–	–	–	–	4,5	0,9	64	–	8	16,3	0,47	359	2370

$$K_{онт} = D_{пласт} / D_{стаб} \quad (2)$$

где $D_{пласт}$, $D_{стаб}$ – дозировка пластификатора и стабилизатора, соответственно, % от массы цемента.

В [11] установлено, что для достижения высокой растекаемости бетонной смеси требуется увеличение и расхода пластификатора, и дозировки стабилизатора.

Для оценки влияния водоудерживающих добавок на реологические и физико-механические свойства тяжелых СУБ были приготовлены смеси с различными цементами и химическими добавками. Подробная характеристика материалов представлена в [10]. Для сравнения и оценки результатов исследований условиями сопоставимости приняты: номинальный расход цемента 450 кг/м³; соотношение масс мелкого и крупного заполнителей П/Щ = 0,7; величина коэффициента $K_{онт}$ в интервале от 3 до 5.

В табл. 1 приведены показатели конструктивности и реологические характеристики СУБ на цементе ПЦ500-Д0-Н с добавками марки Sika (суперпластификатор VC 24HE, стабилизатор S.4R); в табл. 2 – на цементе ССПЦ500-Д20 с добавками марки Sika, марки MC Bauchemie (гиперпластификатор FK-63, стабилизатор S.M21) и марки BASF (суперпластификатор MG ACE430, модификатор вязкости MM100). В ходе исследований определены сохраняемость и кинетика изменения предельных напряжений сдвига самоуплотняющихся бетонных смесей класса SF-1 ($D = 55-65$ см).

После определения сохраняемости смесей из них были изготовлены образцы-кубы для оценки прочности бетона. Влияние вида цемента на характер изменения растекаемости и сохраняемость самоуплотняющихся смесей во времени графически представлено на рис. 2.

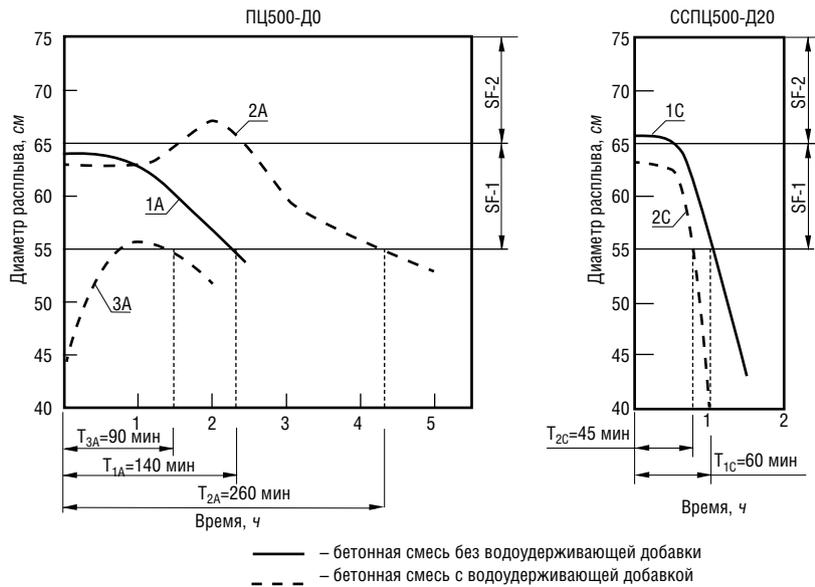


Рис. 2. Влияние вида цемента на характер растекаемости и сохраняемость самоуплотняющихся смесей

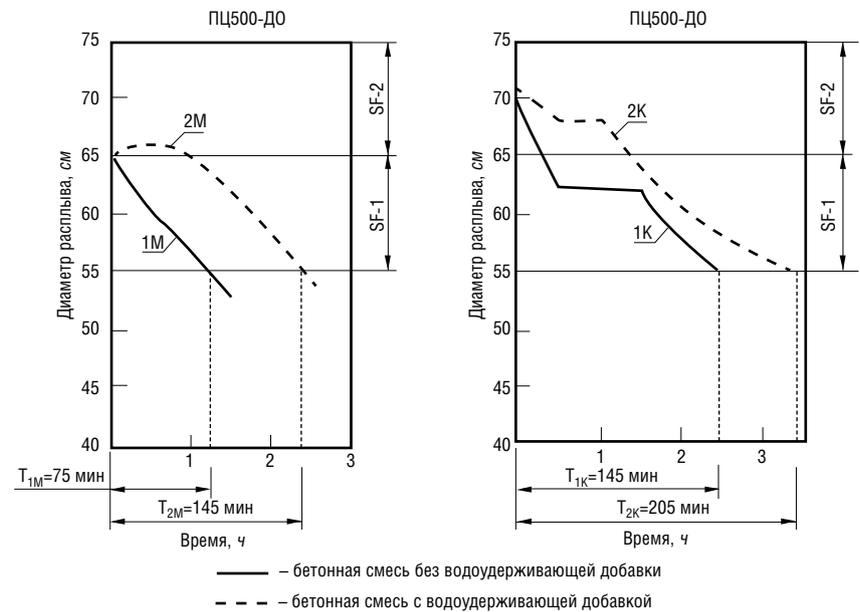


Рис. 3. Изменение растекаемости во времени мелкозернистых (1М, 2М) и керамзитобетонных (1К, 2К) самоуплотняющихся смесей

Таблица 3

Состав	Расход материала на 1 м ³ смеси, кг						Диаметр распыла, см	Вязкость смеси T_{500} , с	Предельное напряжение сдвига, Па	В/Ц	Средняя плотность смеси, кг/м ³
	Цемент	Вода	Песок природный кварцевый	Песок из отсева	MG ACE430	MM100					
1М	507	264	1014	507	7,6	–	66	2	15,1	0,52	2300
2М	499	285	998	499	6,7	1,5	65	2	15,0	0,57	2290

Таблица 4

Состав	Расход материала на 1 м ³ смеси, кг									Диаметр распыла, см	Вязкость смеси T_{500} , с	В/Ц	Средняя плотность смеси, кг/м ³
	Цемент	Вода	Керамзитовая смесь фр. 0–5 мм	Керамзит фр. 5–10 мм	Песок кварцевый	Зола-уноса	VC 20HE	S.M21	Фибра полипропиленовая 12 мм				
1К	392	241	153	358	409	69	9,2	–	0,5	70	9	0,61	1630
2К	368	221	144	336	384	65	8,6	2,1	0,5	71	6	0,6	1530

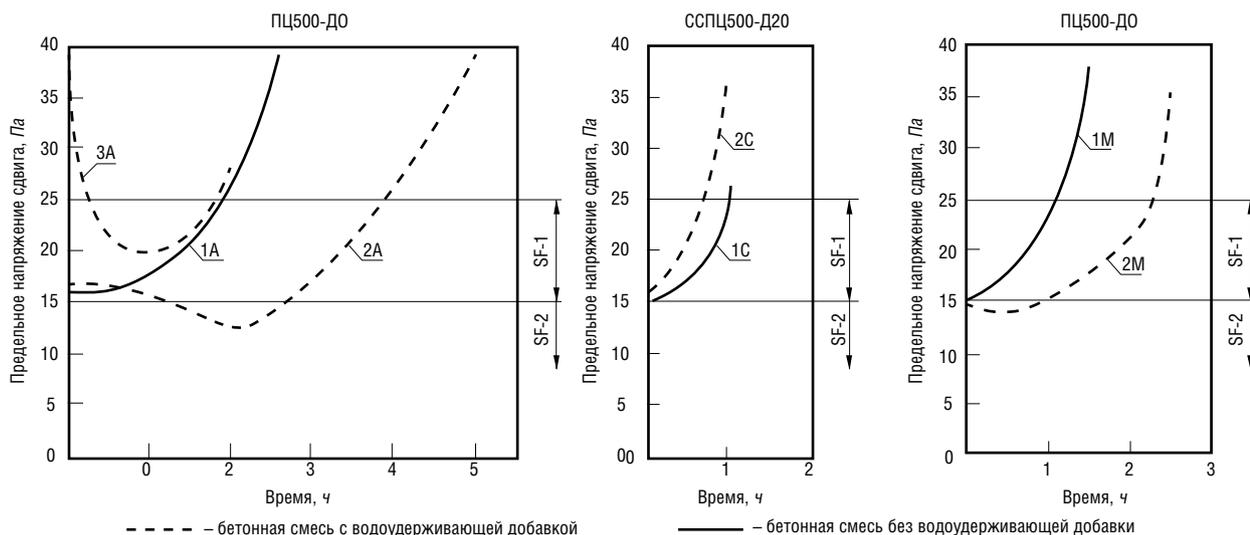


Рис. 4. Влияние вида цемента на изменение предельных напряжений сдвига самоуплотняющихся смесей

Для смесей на цементе ПЦ500-Д0-Н с комплексом добавок VC 24HE+S.4R через определенный промежуток времени отмечен эффект увеличения растекаемости. При условии обеспечения равноподвижности смесей (состав 2А) этот эффект проявился через 120 мин, а при одинаковом водоцементном отношении (состав 3А) — через 60 мин. Установлено, что при введении водоудерживающей добавки водопотребность смеси увеличивается на 20%. С течением времени «лишние» молекулы воды, первоначально удерживаемые молекулами стабилизатора, перераспределяются в структуре смеси и через 2 ч увеличивают ее текучесть до максимальной величины. Такой характер действия водоудерживающей добавки обеспечивает способность смеси к самоуплотнению

в два раза дольше, чем у смеси без стабилизатора.

Для всех смесей, приготовленных с использованием цементов, модифицированных минеральными добавками, ССПЦ500-Д20, характерно резкое загустевание и быстрая потеря текучести (составы 1С – 7С). Бетонные смеси с высокой дозированной стабилизатором S.4R (состав 4С) и с комплексом добавок FK-63+S. M21 (состав 5С) не растекались даже при увеличении расхода воды. Такое поведение смесей подтверждает выводы о плохой совместимости цемента, содержащего минеральную кремнеземистую добавку, с комплексом суперпластификатор+стабилизатор. По мнению Несветаева Г.В. [5], для получения самоуплотняющихся смесей класса SF-1 величина

предельного напряжения сдвига цементного теста с добавками не должна превышать 10 Па. На начальном этапе исследований было установлено, что τ_0 цементных композиций на основе цемента ССПЦ500-Д20 и комплекса добавок: VC 24HE+S.4R, VC 20HE+S.4R превышают допустимое значение [10].

Изменение растекаемости во времени мелкозернистых и керамзитобетонных самоуплотняющихся смесей на цементе ПЦ500-Д0 Н представлено на рис. 3.

Показатели конструктивности и реологические характеристики мелкозернистых смесей (МСУБ) приведены в табл. 3, а легкобетонных смесей (ЛСУБ) — в табл. 4.

Для мелкозернистой смеси с водоудерживающей добавкой ММ100

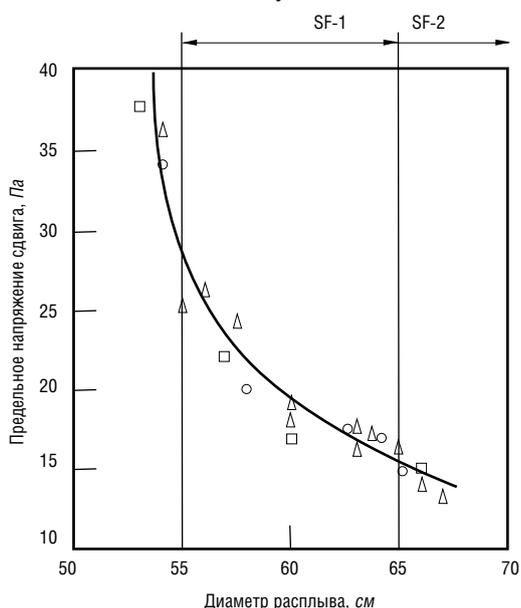


Рис. 5. Зависимость предельных напряжений сдвига от растекаемости смесей. Бетонные смеси на основе: Δ – ПЦ500-Д0 и добавок Sika; \square – ССПЦ500-Д20 и добавок Sika; \circ – ССПЦ500-Д20 и добавок BASF

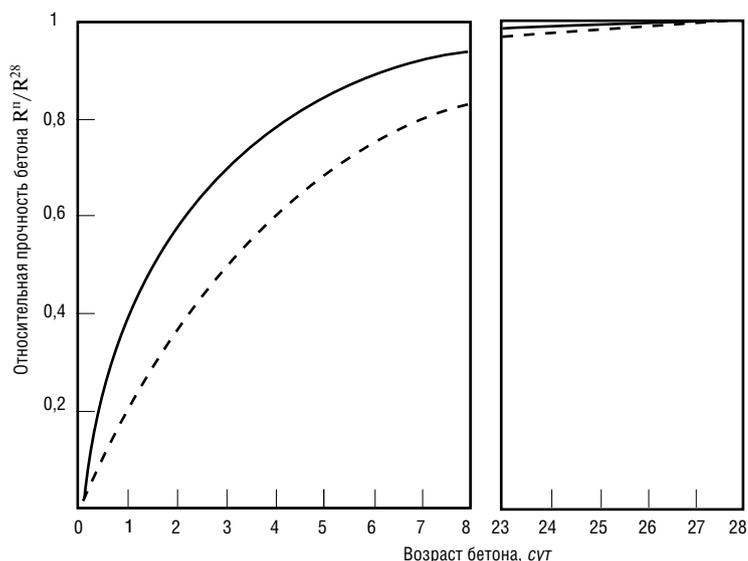


Рис. 6. Кинетика набора прочности тяжелого СУБ
 — — бетон без водоудерживающих добавок: составы 1А, 4А, 1С, 6С
 - - - бетон с водоудерживающими добавками: составы 2А, 2С, 3С, 7С
 R^t – прочность бетона в возрасте t ;
 R^{28} – прочность бетона в возрасте 28 сут;

(состав 2М) также отмечен эффект увеличения растекаемости. При повышении водопотребности на 10% смесь достигла максимальной текучести через 30 мин и сохраняла способность к самоуплотнению в течение 145 мин.

Оценка характера растекаемости и сохраняемости свойств выполнена для керамзитобетонных самоуплотняющихся смесей с добавками VC 20HE и S.M21 при номинальном расходе цемента 375 кг/м³ (составы 1К, 2К). Установлено, что при введении в легкобетонную смесь комплекса суперпластификатор+стабилизатор эффект увеличения растекаемости отсутствует, а происходит снижение средней плотности смеси (состав 2К). Это объясняется тем, что стабилизатор, изменяя свойства поверхности частиц твердой фазы и удерживая молекулы воды в пленочном состоянии, препятствует их проникновению в поры и капилляры керамзитового заполнителя. Таким образом, в отличие от тяжелых СУБ использование водоудерживающей добавки в легкобетонной смеси обеспечило снижение водопотребности смеси на 10%. При этом способность смеси к самоуплотнению, несмотря на снижение расхода воды, сохранялась на 60 мин дольше, чем у смеси без стабилизатора.

Анализ кривых изменения текучести бетонных смесей показывает на неоднозначное влияние водоудерживающих добавок и свидетельствует о необходимости экспериментальной проверки их взаимодействия с цементом конкретного вида.

Предельное напряжение сдвига цементного теста и бетонной сме-

си, относящихся к структурированным системам, характеризует величину внутренних напряжений в упругопластичном материале, при которых он полностью разрушается и приобретает свойства вязкой жидкости. Кинетика изменения предельных напряжений сдвига исследованных самоуплотняющихся смесей подтверждает механизм действия водоудерживающих добавок, который заключается в снижении скорости гидратации цемента и увеличении сохраняемости смесей (рис. 4). Это доказывает существенное влияние водоудерживающих добавок на процессы начального структурообразования бетонных смесей. По мнению авторов, для обеспечения растекаемости и получения самоуплотняющихся смесей класса SF-1 величина предельного напряжения сдвига бетонной смеси не должна превышать 25 Па, а класса SF-2 – 15 Па (рис. 5).

Для всех исследованных составов (табл. 1–4) установлен высокий водоудерживающий эффект стабилизаторов, приводящий к росту водопотребности бетонных смесей и снижению прочности бетона.

Кинетика набора прочности тяжелых, мелкозернистых и керамзитобетонных СУБ, представленная на рис. 6 и 7, свидетельствует о замедляющем механизме действия водоудерживающих добавок, который является следствием повышения водопотребности смесей и проявляется в торможении процессов гидратации цемента и твердения бетона.

Отмеченный механизм действия следует учитывать при проектировании составов СУБ, содержащих су-

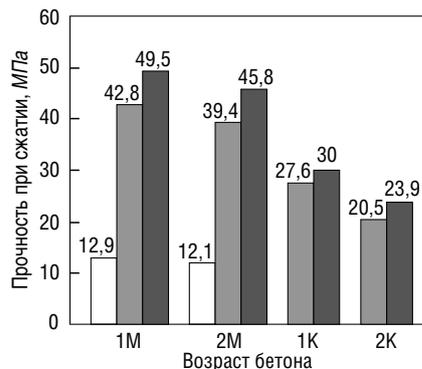


Рис. 7. Прочность мелкозернистого (1М, 2М) и керамзитобетонного (1К, 2К) СУБ: □ – 1 сут; ■ – 2 сут; ▒ – 3 сут

перпластификатор и водоудерживающую добавку.

В проектном возрасте бетоны, содержащие стабилизатор, показали падение прочности на 10–20%, что является следствием увеличения водоцементного отношения.

Заключение

Для определения режимов твердения уложенной бетонной смеси и бетона ГОСТ 7473–2010 «Смеси бетонные. Технические условия» (п. 8.3) рекомендует представлять экспериментальную кривую набора прочности бетона. По аналогии при поставке потребителю СУБ с комплексом добавок суперпластификатор+стабилизатор следует рекомендовать производителям в сопроводительной документации представлять кривую изменения текучести смеси во времени. Эффект увеличения растекаемости смесей с водоудерживающими добавками через определенный промежуток времени может существенно повлиять на условия их доставки.

Список литературы

1. Collepardi M. Innovative concretes for civil engineering structures: SCC, HPC and RPC // *Proceedings of the workshop on new technologies and materials in civil engineering*. Milan, Italy. 2003, pp. 1–8.
2. Domone P.L. Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies // *Cement and Concrete Composites*. 2006. Vol. 28, pp. 197–208.
3. Калашников В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов. Часть 3. От высокопрочных и особо высокопрочных бетонов будущего к суперпластифицированным бетонам общего назначения настоящего // *Технологии бетонов*. 2008. № 1. С. 22–26.
4. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н., Хетагуров Б.А. Самоуплотняющиеся бетоны: некоторые факторы, определяющие текучесть смеси // *Строительные материалы*. 2009. № 3. С. 54–57.
5. Несветаев Г.В. Некоторые вопросы применения добавок для бетонов // *Бетон и железобетон*. 2011. № 2. С. 78–80.
6. Касторных Л.И., Скиба В.П., Елсуфьев А.Е. Об эффективности использования модификатора вязкости в самоуплотняющихся бетонах // *Инженерный вестник Дона*. 2017. № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4346/.

References

1. Collepardi M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC. *Proceedings of the workshop on new technologies and materials in civil engineering*. Milan, Italy. 2003, pp. 1–8.
2. Domone P.L. Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies. *Cement and Concrete Composites*. 2006. Vol. 28, pp. 197–208.
3. Kalashnikov V.I. Via rational rheology – the future of concrete. Part 3. From above security and high-strength concretes of the future to super-plasticized concrete General purpose of the present. *Tehnologii betonov*. 2008. No. 1, pp. 22–26. (In Russian).
4. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N., Khetagurov B.A. Self-compacting concrete: some of the factors that determine the fluidity of the mix. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 3, pp. 54–57. (In Russian).
5. Nesvetaev G.V. Some of the application of admixtures for concrete. *Beton i zhelezobeton*. 2011. No. 2, pp. 78–80. (In Russian).
6. Kastornyh L.I., Skiba V.P., Elsufov A.E. The effectiveness of the use of the viscosity modifier in self-compacting concrete. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2017. No. 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4346/. (In Russian).

7. Wallevik O.H., Nielsson I. Rheology – a scientific approach to develop self-compacting concrete // *The 3rd International Compacting on Self-compacting Concrete*. Bagnaux, France. 2003, pp. 23–31.
8. Phan T.H., Chaouche M., Moranville M. Influence of organic admixtures on the rheological behavior of cement pastes // *Cement and Concrete Research*. 2006. Vol. 36. No. 1, pp. 1807–1813.
9. Łazniewska-Piekarczyk B. The influence of selected new generation admixtures on the workability, air-voids parameters and frost-resistance of self-compacting concrete // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 31, pp. 310–319.
10. Касторных Л.И., Рауткин А.В., Раев А.С. Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов. Часть I. Реологические характеристики цементных композиций // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 34–38.
11. Мозгалева К.М., Головнев С.Г. Самоуплотняющиеся бетоны: возможности применения и свойства // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2011. № 4. С. 70–74.
7. Wallevik O.H., Nielsson I. Rheology – a scientific approach to develop self-compacting concrete. *The 3rd International Compacting on Self-compacting Concrete*. Bagnaux, France. 2003, pp. 23–31.
8. Phan T.H., Chaouche M., Moranville M. Influence of organic admixtures on the rheological behavior of cement pastes. *Cement and Concrete Research*. 2006. Vol. 36. No. 10, pp. 1807–1813.
9. Łazniewska-Piekarczyk B. The influence of selected new generation admixtures on the workability, air-voids parameters and frost-resistance of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 31, pp. 310–319.
10. Kastornykh L.I., Rautkin A.V., Raev A.S. Effect of water-retaining admixtures on some properties of self-compacting concrete. Part I. Rheological characteristics of cement compositions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 34–38. (In Russian).
11. Mozgalev K.M., Golovnev S.G. Self-compacting concrete: possibilities of application and properties. *Akademicheskii vestnik UralNIIProjekt RAABS*. 2011. No. 4, pp. 70–74. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ

В Ярославле построили жилой дом с использованием новой технологии 3D-печати

Строительная 3D-печать – неоднозначное, но быстро развивающееся направление строительной технологии. В создании 3D-принтеров для укладки строительных смесей соревнуются инженеры многих стран мира. Технология включает следующие этапы: создание на компьютере трехмерной модели объекта, деление модели на слои в поперечном сечении, послойную экструзию смеси на основе цемента в соответствии с моделью, отверждение материала до завершения формирования объекта.

В специальную программу загружается файл модели, а специально автоматизированное устройство, называемое принтером, укладывает строительный раствор – в результате получается готовый элемент заданной формы и размера. Главным преимуществом данной технологии является то, что «напечатать» можно элемент любой конфигурации, сложной формы, что существенно расширяет дизайнерские возможности и скорость строительства.

Реализация проекта дома в Ярославской области стартовала в 2015 г. Общая площадь строения составила 298,5 м². Стены, декоративные элементы, башню «напечатали» на строительном 3D-принтере на территории завода, готовые конструкции доставили к месту строительства и собрали на фундаменте. Затем строители смонтировали крышу, провели внутреннюю отделку и подключили строение к коммуникациям.

Для печати жилого дома был использован строительный принтер S-6044 производства «АМТ-СПЕЦАВИА» – модель портального типа с рабочим полем 3,5×3,6×1 м. Печать производится слоями высотой 10 мм и шириной от 30 до 50 мм. Скорость печати стен до 15 м²/ч.

Сооружение полностью соответствует правилам и нормам индивидуального жилищного строительства (ИЖС). Для него сделан проект, получено разрешение на строительство, оформлен паспорт БТИ. В конце октября 2017 г. дом поставлен на кадастровый учет.



I Международные научно-технические «Гвоздевские чтения»

26 октября 2017 г. в Москве, в конференц-зале НИИЖБ им. А.А. Гвоздева прошли I Международные научно-технические «Гвоздевские чтения», приуроченные к 120-летию профессора Алексея Алексеевича Гвоздева и 90-летию НИИЖБ. В работе приняли участие специалисты в области бетона и железобетона, сотрудники научно-исследовательских, учебных, проектных и производственных организаций России, зарубежные коллеги.



В настоящее время доминирующее положение железобетона по отношению к другим строительным материалам определяет его ключевую роль в развитии всей строительной индустрии. А строительство, по определению лауреата Нобелевской премии в области экономики (США) В.В. Леонтьева, – это «скелет», на который опираются все остальные отрасли экономики.

Директор НИИЖБ д-р техн. наук **А.Н. Давидюк** в докладе, посвященном 90-летию института, отметил, что в мире для строительных нужд, и главным образом для изготовления бетона, ежегодно расходуется более 2,5 млрд т цемента. Общемировое производство бетона составляет 1 т на одного жителя Земли. В XX в. только в Российском строительстве было применено более 10 млрд м³ бетона и железобетона.

По данным Европейской ассоциации по бетону ERMCO, мировые объемы производства строительных материалов составляют, млн т: бетон – 21000; дерево – 4000; цемент – 3500; сталь – 1400; пластмассы и резина – 300; гипс – 250; известь – 130; стекло – 120. Очевидно, что объем применения бетона и железобетона более чем вдвое превышает объемы применения всех остальных строительных материалов, вместе взятых.

Далее Алексей Николаевич подробно остановился на достойной истории знаменитого института НИИЖБ, который носит имя прославленного ученого А.А. Гвоздева.

Отсчет истории НИИЖБ ведет с 1927 г., когда был создан первый в стране научно-исследовательский институт в строительной отрасли – Государственный институт сооружений – ГИС, реорганизованный вскоре во Всесоюзный государственный научно-экспериментальный институт гражданских, промышленных и инженерных сооружений (ВИС), а затем в Центральный научно-исследовательский институт промышленных сооружений (ЦНИПС). Крупнейшим строительным подразделением в ЦНИПС был сектор бетона, железобетонных и каменных конструкций в составе трех лабораторий. В общем объеме научных работ ЦНИПС тематика сектора по бетону и железобетону занимала более 40%. Коллектив сектора составил впоследствии кадровую основу образованного в 1956 г. самостоятельного научно-исследовательского института бетона и железобетона.

Огромное практическое значение имеют такие работы ученых НИИЖБ, как разработка и внедрение методов зимнего бетонирования (из общего объема в 100 млн м³ монолитного бетона и железобетона в 1980-х гг. почти половину составил бетон, укладываемый зимой; доля зимнего бетонирования в настоящее время возрастает в связи с преимущественным развитием монолитного способа ведения работ) и сборного строительства (институтом были разработаны большинство норм по изготовлению и применению сборных конструкций, переход от монолитных конструкций к сборным снижал трудоемкость возведения объектов до 50%, а сроки строительства сокращались в несколько раз, особенно в зимний период).

На фоне нарастающих объемов производства и применения бетона и железобетона разрабатывались нормативные и рекомендательные документы: основные ГОСТы, СНиПы и пособия к ним. Объем нормотворческой дея-

тельности НИИЖБ за время своего существования сопоставим с результатами аналогичной деятельности ряда международных организаций по железобетону: с 1967 г. по настоящее время было разработано около 400 документов в статусе строительных норм и правил, пособий, руководств и стандартов организации по проектированию, изготовлению и испытаниям бетонных и железобетонных конструкций, а также в области технологий производства бетонов и арматуры.

В настоящее время перспективным направлением работы ученых НИИЖБ являются бетоны на расширяющихся цементах. Это особенно важно для подземных конструкций, протяженных конструкций. Благодаря особенностям структуры такие бетоны являются водонепроницаемыми, обладают высокой морозостойкостью и устойчивостью к воздействию агрессивных сред, что существенно снижает эксплуатационные затраты.

Разрабатываются новые виды арматуры и приемы армирования железобетонных конструкций, которые отличаются меньшей металлоемкостью и большей долговечностью благодаря повышенной трещиностойкости.

В НИИЖБ им А.А. Гвоздева разработана технология и создано опытно-промышленное производство базальтопластиковой арматуры; разработаны также высокопрочные цементные композиции, армированные базальтовыми волокнами, для защиты железобетонных конструкций от коррозии и ремонтно-восстановительных работ в дорожном и транспортном строительстве.

В 2017 г. исполнилось 120 лет со дня рождения Алексея Алексеевича Гвоздева, выдающегося ученого XX в. в области строительной механики, теории пластин и оболочек, создания современной теории железобетона и методов расчета строительных конструкций по предельным состояниям. С именем А.А. Гвоздева неразрывно связано развитие железобетона в нашей стране, создание норм проектирования, разработка и исследование основных направлений развития сборного и монолитного железобетона и их сочетаний.

Марио Альберто Чиорино (Mario Alberto Chiorino), почетный профессор Туринской научной академии (Turin Academy of Sciences, Turin, Italy), с большой теплотой поделился воспоминаниями о сотрудничестве с А.А. Гвоздевым, применении и развитии его работ в своих теоретических и практических реализациях. Интересно отметить, что общение между советским и итальянским учеными происходило на французском языке.

По теме ползучести бетона было представлено несколько докладов (М.А. Чиорино, Х. Мюллер, Б.С. Крылов и др.). Остроту обсуждаемым вопросам придало эмоциональное выступление д-ра техн. наук **Р.С. Санжаровского**.

Научные основы оценки риска и обеспечения безопасности железобетонных конструкций, зданий и сооружений при комбинированных особым воздействиях представил д-р техн. наук **А.Г. Тамразян**, зав. кафедрой железобетонных и каменных конструкций МГСУ.

Развитию норм проектирования железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий в России посвятил доклад канд. техн. наук **Б.С. Соколов**, зав. лабораторией тонкостенных и пространственных





Алексей Алексеевич Гвоздев родился 9 мая 1897 г. в с. Богучарово Тульской губернии в семье потомственного дворянина. Высшее образование получил в Московском институте инженеров путей сообщения, который окончил в 1922 г.

Трудовую деятельность А.А. Гвоздев начал еще во время учебы в институте строительным техником на Северной железной дороге, несколько лет занимался практической работой: восстанавливал мосты, разрушенные в годы Первой мировой и Гражданской войн, и проектировал.

Знаковым событием в жизни А.А. Гвоздева явилась организация в 1927 г. Государственного научно-исследовательского института по строительству, где он возглавил отдел расчета конструкций. Мирные исследования лаборатории по проблемам железобетона были прерваны Великой Отечественной войной. А.А. Гвоздев был призван в Красную Армию, занимался исследованиями воздействия взрывной волны на железобетонные сооружения. Под его руководством были разработаны Нормы проектирования и строительства железобетонных оборонительных сооружений и Нормы проектирования железобетонных конструкций для военного времени, им решались вопросы восстановления поврежденных сооружений в послевоенное время.

А.А. Гвоздев доказал фундаментальные теоремы о нижней и верхней границах несущей способности метода предельного равновесия, показал, что он применим к расчету конструкций, претерпевающих значительные пластические деформации, и неприменим к случаям хрупкого разрушения. За разработку основных положений и доказательство двух фундаментальных теорем метода предельного равновесия А.А. Гвоздеву в 1967 г. была присуждена Бельгийским инженерным обществом медаль Густава Тразенстора, которой награждаются выдающиеся ученые мира.

А.А. Гвоздев – создатель российской школы по нелинейной механике железобетона, им подготовлено более 100 кандидатов и 10 докторов технических наук, его работы получили широкую известность в нашей стране и за рубежом, высоко отмечены научным признанием и наградами.

А.А. Гвоздев – организатор первой в СССР лаборатории железобетонных конструкций, затем центральной лаборатории теории железобетона, и бессменным ее руководителем в течении почти 60 лет. Лаборатория сыграла важнейшую роль в развитии теории железобетона, методов расчета и проектирования железобетонных конструкций.

Алексей Алексеевич Гвоздев был действительным членом Академии строительства и архитектуры – предшественницы современной Академии архитектуры и строительных наук (РААСН), членом ведущих научных советов, постоянным членом ЕКБ и других научных отечественных и зарубежных организаций.

Научная и общественная деятельность А.А. Гвоздева известна, его школа имеет многочисленных последователей. Но настоящим событием для профессионального сообщества бетонщиков, особенно молодого поколения, можно считать необыкновенно искренний и душевный рассказ академика РАН, профессора, д-ра биол. наук, заведующего отделом молекулярной генетики клетки Института молекулярной генетики РАН **В.А. Гвоздева** – сына Алексея Алексеевича. Он рассказал не о знаменитом ученом, а об отце, семейных традициях, взаимоотношениях между родителями и детьми, увлечениях Алексея Алексеевича.

конструкций НИИЖБ. Он отметил значительный вклад А.А. Гвоздева в развитие этого научного направления, проследил историю развития российских норм проектирования железобетонных пространственных конструкций и их современное состояние.

Исторический экскурс формирования современной отечественной нормативной базы в области бетона и железобетона представил канд. техн. наук **С.А. Зенин**, зав. лабораторией теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ.

В условиях глобализации наука и нормотворчество не могут полноценно развиваться в замкнутом информационном пространстве отдельных стран. Только обобщенный опыт ученых и специалистов может обеспечить реальный прорыв в области строительства, повысить его эффективность, надежность, безопасность и экологичность. О роли профессиональных международных организаций в развитии работ в области бетона и железобетона рассказал д-р материаловедения **В.Р. Фаликман**, зав. сектором НИИЖБ. Он напомнил, что когда-то наши ученые не только активно работали в таких профессиональных ассоциациях, их комиссиях, комитетах и рабочих группах, но и возглавляли их. В настоящее время эти позиции утрачены.

Вячеслав Рувимович привел примеры международного сотрудничества по решению вопросов, имеющих значение для всех стран, например европейской кооперации в науке и технологии по самозалечиванию бетонных конструкций при трещинообразовании.

Критичность изоляции российской науки усугубляется откровенно устаревшей в большинстве центров исследовательской базой, почти

полным отсутствием целевого финансирования и исчезновением инженерных площадок для отработки инновационных решений, проблемами подготовки, привлечения и закрепления молодых специалистов и, наконец, слабым информационным обеспечением отрасли. Даже РФБ перестала выписывать основные издания по строительным специальностям, доступ в Интернете для большинства специалистов ограничен из-за дорогостоящих платных ресурсов и языкового барьера.

Основная задача некоммерческих организаций в области строительства – стимулирование научных исследований, синтез научных результатов и практического опыта, разработка рекомендаций и аналитических документов по актуальным направлениям строительной науки, подготовка «дорожных карт», распространение накопленных знаний путем публикаций, издания руководящих документов, проведения международных конгрессов и симпозиумов, тесное сотрудничество с другими международными профессиональными объединениями и организациями по стандартизации.

По окончании работы первых «Гвоздевских чтений» его участники высказали пожелание сделать мероприятие регулярным.



В.Г. ХОЗИН, д-р техн. наук (khozin.vadim@yandex.ru), А.Р. ГИЗДАТУЛЛИН, инженер (antonchiks@mail.ru)
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

Совместимость полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях

Исследовано сцепление стеклопластиковой арматуры промышленно выпускаемых профилей с цементным бетоном при воздействии ряда технологических и эксплуатационных факторов. Установлено существенное различие в характере разрушения обоих материалов в зоне их контакта, зависящее от типа поверхностного профиля арматуры, класса бетона и агрессивности внешней среды. Лучшие результаты по прочности сцепления получены для полимеркомпозитной арматуры (ПКА) с «вдавленным» винтовым профилем и опесчаненным. Испытания бетонных балок с разной схемой армирования позволили обнаружить «эффект малых диаметров», состоящий в повышенной жесткости и несущей способности балок с меньшим диаметром ПКА в сечении, обусловленной более полным включением их в работу при нагружении. Даны технологические рекомендации по производству ПКА и рекомендации по конструированию изгибаемых изделий и их расчету.

Ключевые слова: полимеркомпозитная арматура, цементный бетон, сцепление, агрессивная среда, армированные балки, жесткость при изгибе.

Для цитирования: Хозин В.Г., Гиздатуллин А.Р. Совместимость полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 30–38.

V.G. KHOZIN, Doctor of Sciences (Engineering) (khozin@kgasu.ru), A.R. GIZDATULLIN, Engineer (antonchiks@mail.ru)
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

Compatibility of Polymer-Composite Reinforcement with Cement Concrete in Structures

The adhesion of fiberglass reinforcement of industrially produced profiles with cement concrete under the impact of some technological and operational factors has been studied. A significant difference in the fracture characteristics of both materials in the zone of their contact, which depends on the type of surface profile of the reinforcement, concrete grade and the aggressiveness of the external environment, has been established. The best results concerning the adhesion strength were obtained for the polymer-composite reinforcement (PCR) with "sunken" screw and "sandy" profiles. The tests of concrete beams with difference scheme of reinforcement made it possible to discover an "effect of small diameters" which expresses in the increased rigidity and bearing capacity of beams with a smaller diameter of PCR in cross-section due to more complete inclusion of them in operation under loading. Technological recommendations on production of PCR and recommendations on design of flexural products and their calculation are made.

Keywords: polymer-composite reinforcement, cement concrete, adhesion, aggressive environment, reinforced beams, flexural rigidity.

For citation: Khozin V.G., Gizdatullin A.R. Compatibility of polymer-composite reinforcement with cement concrete in structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 30–38. (In Russian).

В последние десять – двенадцать лет на строительном рынке все большее внимание привлекает полимеркомпозитная арматура, изготовленная из базальтовых, стеклянных или углеродных волокон и полимерных связующих на основе эпоксидных смол. Арматурные стержни производятся методом пултрузии – протяжки ровинга, пропитанного жидким связующим, через фильеру круглого сечения с одновременной обмоткой сформованного стержня с натягом по спирали тонким жгутом или (и) покрытием кварцевым песком. Образуется так называемый «вдавленный» профиль или опесчаненный. Второй метод – нидлтрязия – бесфильерный, при котором формирование круглого стержня из собранных в пучок пропитанных прядей ровинга осуществляется винтовой обмоткой одной-двумя такими же прядями при непрерывной протяжке стержня с заданной скоростью. Высокая производительность технологических линий, малая металло- и энергоёмкость оборудования, небольшие производственные площади обеспечили быстрое распространение в России малых предприятий по выпуску ПКА и насыщение ею рынка строительных материалов. Однако лозунг производителей и продавцов ПКА – «Замени металл!» – оказался неосуществимым и необоснованным по ряду причин.

Главным преимуществом ПКА перед стальной являются высокая коррозионная стойкость, обеспеченная стойкостью полимерного связующего (в основном эпоксидного),кратно более высокая прочность на растяжение и низкая плотность (1900 кг/м³). Однако мо-

дуль упругости у стекло- и базальтопластиковой арматуры в 4–5 раз меньше, чем у стальной, и это является главным препятствием для ее широкого применения в несущих, в первую очередь изгибаемых бетонных конструкциях, для которых арматура в основном и предназначена. По причине недостаточности исследований длительной прочности, ползучести и сцепления с бетоном фактически отсутствует полноценная отечественная нормативная база для проектирования несущих бетонных конструкций, армированных ПКА, и опыт их эксплуатации.

На ПКА был разработан и принят межгосударственный стандарт ГОСТ 31938–2012 «Общие технические условия», в котором дана классификация арматуры по типу волокна (стеклянное, базальтовое, углеродное, арамидное, комбинированное), методы испытаний и минимально допустимые значения физико-механических свойств. По показателям последних, зависящих от типа волокна, наименьшие (и одинаковые) значения имеют стеклопластиковая и базальтопластиковая типы арматуры. Наибольшие, особенно прочность на растяжение и модуль упругости, имеет арматура на углеродном волокне. Позже был разработан второй вариант одноименного ГОСТа: приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 декабря 2015 г. № 2198-ст и № 2197-ст введены в качестве национальных стандартов РФ ГОСТ 32492–2015 «Методы определения физико-механических характеристик» и ГОСТ 32487–2015 «Методы определения характеристик стойкости к агрессивным средам».

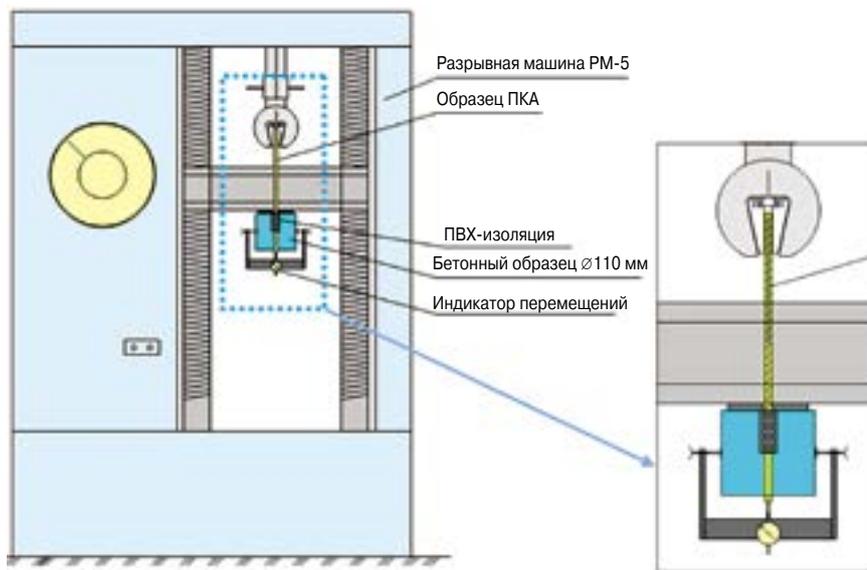


Рис. 1. Схема испытательной установки

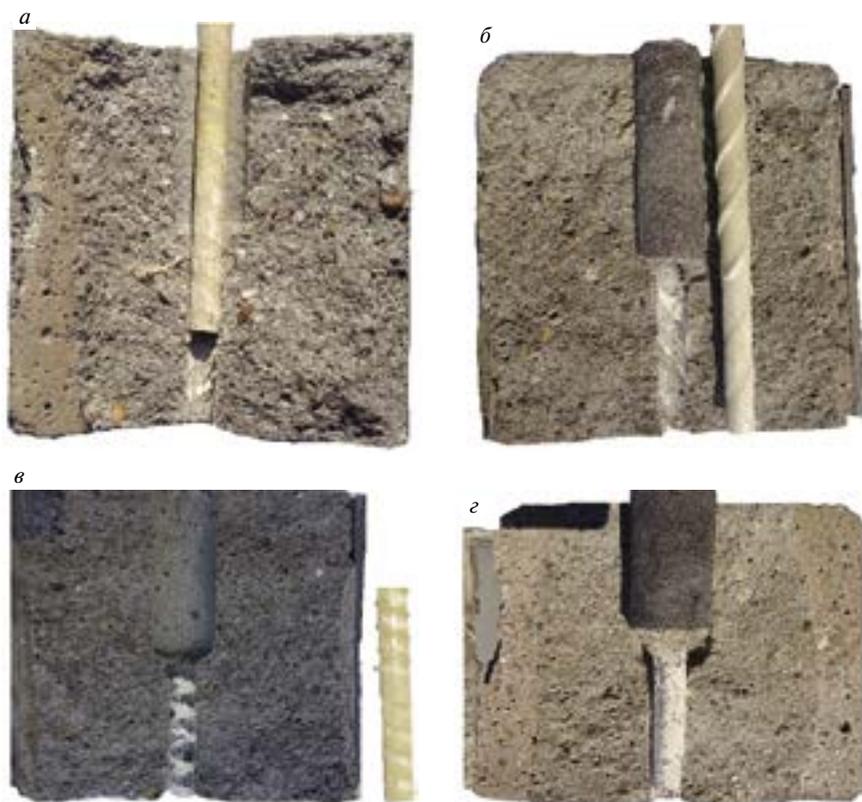


Рис. 2. Картина вырыва ПКА из бетона: а – № 1; б – № 2; в – № 3; г – № 4

Следует заметить, что перечисленные нормативные документы отнюдь не безупречны в двух важнейших положениях: методе определения номинального диаметра арматуры и назначении вида агрессивной (щелочной) среды. По стандарту за номинальный диаметр арматуры принимается диаметр равновеликого по объему круглого гладкого стержня, определяемому методом гидростатического взвешивания, что неверно как для опесчаненного профиля (кварцевый или корундовый песок имеет большую, чем у полимеркомпозитного стержня, плотность и, главное, не вносит вклад в прочность последнего на растяжение), так и для арматуры с навитой на основной стержень обмоткой, по сути, при-

клеенной под разным углом к его оси выступающим винтовым профилем, неспособным воспринимать в той же мере растягивающие напряжения.

Предложенный метод для испытания устойчивости ПКА к щелочам, когда ведется выдержка в концентрированном растворе едких щелочей ($\text{KOH} + \text{NaOH}$) при 60°C в течение 30 сут, не является верным. Параметры по степени агрессивности совершенно не соответствуют реальным условиям работы арматуры в цементном бетоне – растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – слабого основания – в капиллярах цементного камня и потому могут явиться необоснованным барьером на пути внедрения ПКА в бетонное строительство.

Общеизвестно, что целостность, несущая способность и надежность армированной бетонной конструкции определяются прочным сцеплением цементного бетона с поверхностью арматурного стержня на весь период эксплуатации. Именно это является критерием совместной работы двух материалов в конструкции: сплошного бетонного камня и пронизывающего его арматурного каркаса из высокопрочных стержней. Однако до сих пор нет систематизированных данных о совместной работе ПКА с бетоном в различных условиях эксплуатации, в связи с чем сложно, а порой невозможно прогнозировать вероятность наступления предельного состояния конструкции и заложить соответствующие коэффициенты запаса при назначении длин анкеровки стержней в бетоне и их расположение в сечении.

По этой причине, несмотря на то что история исследований и применения ПКА в нашей стране началась еще в 60–70-х гг. прошлого века, а в США серийное производство стеклопластиковой арматуры начато в 70-х гг., она и в настоящее время не получила серьезного применения в несущих конструкциях, т. е. не заменила сталь и опыт ее использования в мире сводится к единичным опытным конструкциям например к армированию настилов мостов, монолитных бетонных полов и т. п. Следует отметить, что книга Н.П. Фролова «Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетоны» [1] была издана в 1980 г. и в ней были обобщены результаты исследований автора с 50-х гг. XX в.

Целью настоящей работы являлось исследование совместной работы полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном для оценки ее реальных возможностей применения в изгибаемых конструкциях и разработка практических рекомендаций. Для этого решались следующие задачи:

– исследование сцепления ПКА с различным типом поверхностного профиля с бетоном при моделировании

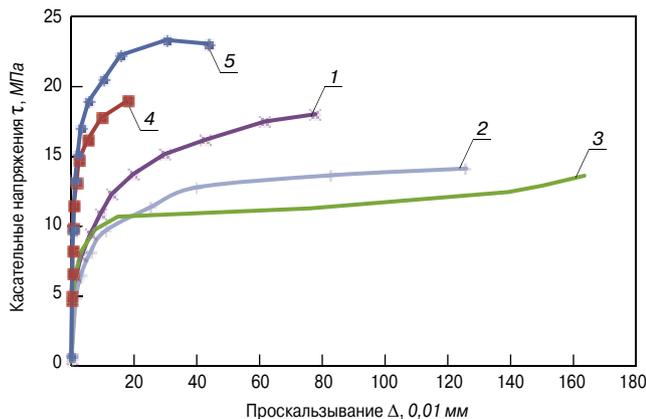


Рис. 3. Диаграммы средних значений « τ - Δ » для контрольных образцов (бетон В25): 1 – ПКА № 1 вдавленная навивка; 2 – ПКА № 2 навивка; 3 – ПКА № 3 навивка; 4 – ПКА № 4 опесчаненные; 5 – стальная арматура

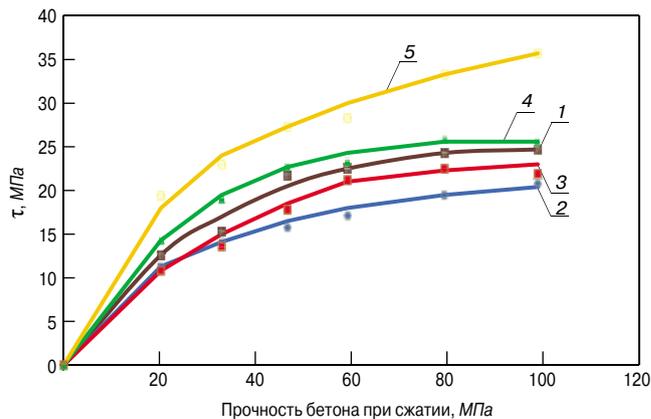


Рис. 4. Влияние прочности бетона на его сцепление с ПКА: 1 – ПКА № 1 вдавленная навивка; 2 – ПКА № 2 навивка; 3 – ПКА № 3 навивка; 4 – ПКА № 4 опесчаненные; 5 – стальная арматура

технологических и эксплуатационных факторов: тепловлажностной обработки бетона (ТВО), повышенной и отрицательной температуры и ее попеременного воздействия, циклического водонасыщения, действия агрессивных сред (воды и щелочей);

- оценка влияния класса бетона по прочности на его сцепление с ПКА (в сравнении со стальной);

- выявление характера и картины разрушения бетона и поверхности арматуры в контактной зоне, выбор оптимального профиля ПКА по величине ее сцепления с бетоном;

- исследование характера распределения напряжений сцепления по длине заделки стержней методами математического моделирования;

- установление влияния удельной поверхности стержней ПКА в растянутой зоне на жесткость изгибаемых бетонных балок;

- разработка практических рекомендаций по производству ПКА и ее применению в бетонных конструкциях.

Исследование сцепления ПКА с бетоном выполнялось методом прямого вырыва в соответствии с методикой ГОСТ 31938–2012 на разрывной машине Р-5 со скоростью перемещения активной траверсы 10 мм/мин. Величина деформаций проскальзывания (выдергивания из бетонного образца) определялась часовым индикатором с точностью 0,01 мм, установленным на ненагруженном конце стержня (рис. 1). Длина сопряжения образцов ПКА с бетоном составляла 50 мм, что позволяло определить касательные напряжения при вырыве, близкие к средним.

Для исследований использовались промышленные образцы стеклопластиковой арматуры с номинальным диаметром 8 мм на основе эпоксидного связующего – смолы типа ЭД-20, отверждаемой изометилтетрагидрофталевым ангидритом (изо-МТГФА), по технологии пултрузии и нидлтрзии. Диаметр стекловолокна 24–27 мкм, их число в ровинге – 4000, количество ровингов в ПКА диаметром 8 мм – 15 шт.

Характеристика образцов представлена в табл. 1.

Образцы бетона с установленным стержнем ПКА согласно рис. 1 формовались в полиэтиленовых формах внутренним диаметром 100 мм и высотой 100 мм.

Бетонная смесь изготавливалась в лабораторном смесителе ЛС-ЦБ-10. Образцы тяжелого бетона имели класс по прочности при сжатии В25 (М350), за исключением серии испытаний № 7, в которой марка бетона

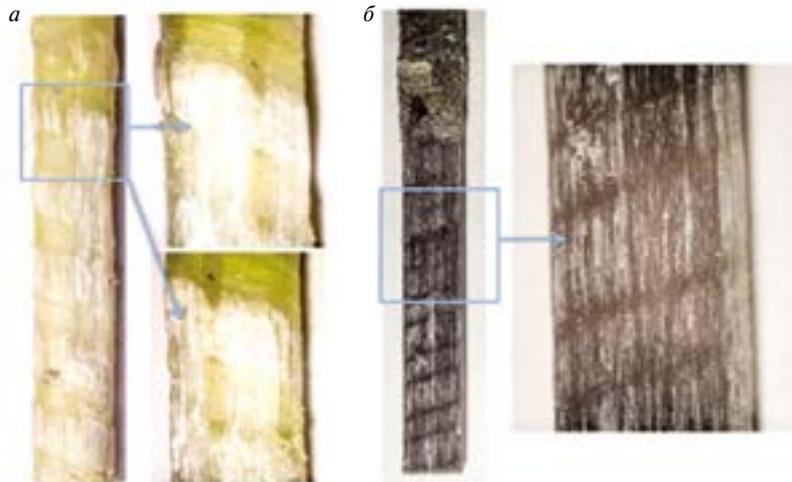


Рис. 5. Характер повреждения образцов при испытании на вырыв из бетона В60: а – ПКА № 1 (τ_{\max} =24,3 МПа); б – ПКА № 4 (τ_{\max} =25,9 МПа)

менялась: М250, М450, М600, М800, М1000. Для марок М800 и М1000 применялся высокопрочный песчаный бетон специального состава. Количество испытанных образцов каждого класса бетона – шесть штук.

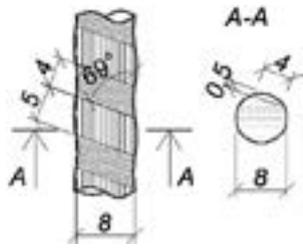
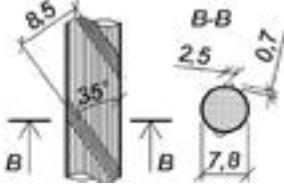
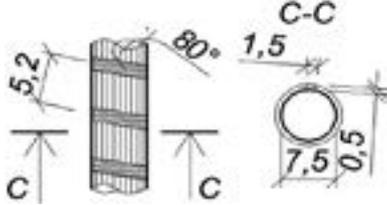
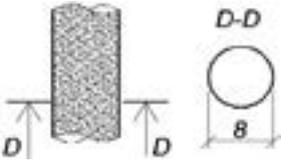
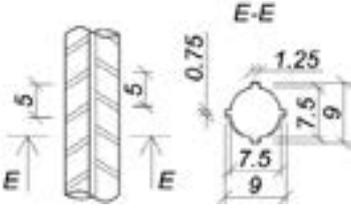
Результаты испытаний контрольных образцов всех типов, твердеющих и испытанных в нормальных условиях, представлены фотографиями бетона и арматуры в зоне вырыва на рис. 2 и в виде усредненных диаграмм τ - Δ (касательные напряжения – деформации проскальзывания образца в бетоне) на рис. 3.

По рис. 2 можно заключить, что в случае ПКА № 1 с вдавленной навивкой наблюдается частичное разрушение бетона в винтовых углублениях стержня и частичный срез эпоксидного покрытия на винтовых выступах стержня.

Образцы ПКА № 2 и № 3 при выдергивании из бетона оставляют наклеенную винтовую навивку в теле бетонного образца, т. е. срезаются по площади склейки и выдергивается «голый» стержень. Стержни ПКА № 4 (опесчаненные) выдергиваются с частичным разрушением бетона (точнее, цементного камня) в контактной зоне, частично со срезов песчаной посыпки. Стальной стержень вырывается со срезов бетона между выступами периодического профиля.

Представленные картины вырыва образцов арматуры из бетона характеризуются усредненными диаграммами τ - Δ при вырыве (рис. 3). Наибольшее сопротивление вырыву оказывает стальная арматура (тип № 5), затем опесчаненная (№ 4), далее ПКА с вдавленной на-

Таблица 1

№ проф.	D номинал. (по сердечнику), мм, тип профиля ПКА	Содержание волокна, мас. %	Геометрия стержня	Образец
1	8 (8) Вдавленный профиль	82		
2	8 (7.8-8) Спирально наклеенная навивка	84,5		
3	8 (7.5) Спирально наклеенная навивка	79,87		
4	8 (8) Покрытие песком («опесчаненное»)	76,36		
5	8 Периодический профиль	—		

вивкой (№ 1). Сопротивление вырыву образцов с наклеенной навивкой (№ 2 и 3) наименьшее, что свидетельствует об их низкой эффективности, несмотря на внешнее сходство со стальной периодичной. Ближе всех других к поведению стальной арматуры находится ПКА № 4 (опесчаненная) и затем № 1. По величине прочности сцепления с бетоном в нормальных условиях опесчаненная арматура имеет явное преимущество перед другими типами ПКА.

Влияние температуры и агрессивных сред на прочность сцепления неоднозначно для разных видов ПКА. Нагрев до +80°C приводит к снижению прочности сцепления во всех случаях, но в разной степени, от 9–13% для ПКА № 4 до 48–53% для ПКА № 2–3. При охлаждении образцов до -40°C у всех образцов прочность сцепления возрастает на 21–36%, что объясняется известной закономерной чувствительностью всех органических полимеров к температуре. К остальным внешним факторам: насыщению водой, ТВО, выдержке в щелочном растворе, попеременным температур-

ным воздействиям наиболее стойкой оказалась ПКА № 1 с вдавленным профилем. Все остальные типы ПКА: № 2, 3, 4 испытаний на стойкость в едкой щелочи не выдержали.

Во всех случаях при испытаниях образцов ПКА № 2 и № 3 вырыв из бетона сопровождался срезом навивки и оголением сердечника, что свидетельствует о недостаточной прочности клеевого слоя и основной роли адгезии и трения в обеспечении сцепления данных типов ПКА.

Для образцов стальной арматуры существенных изменений величин сцепления относительно контрольных не установлено, кроме его снижения при +80°C на 11–15%, обусловленного уменьшением прочности самого бетона. Характер разрушения образцов – срез бетона между витками профиля.

По результатам испытаний на вырыв ПКА из бетона разной прочности установлено, что независимо от вида поверхностного профиля прочность сцепления с бетоном увеличивается с ростом его прочности.

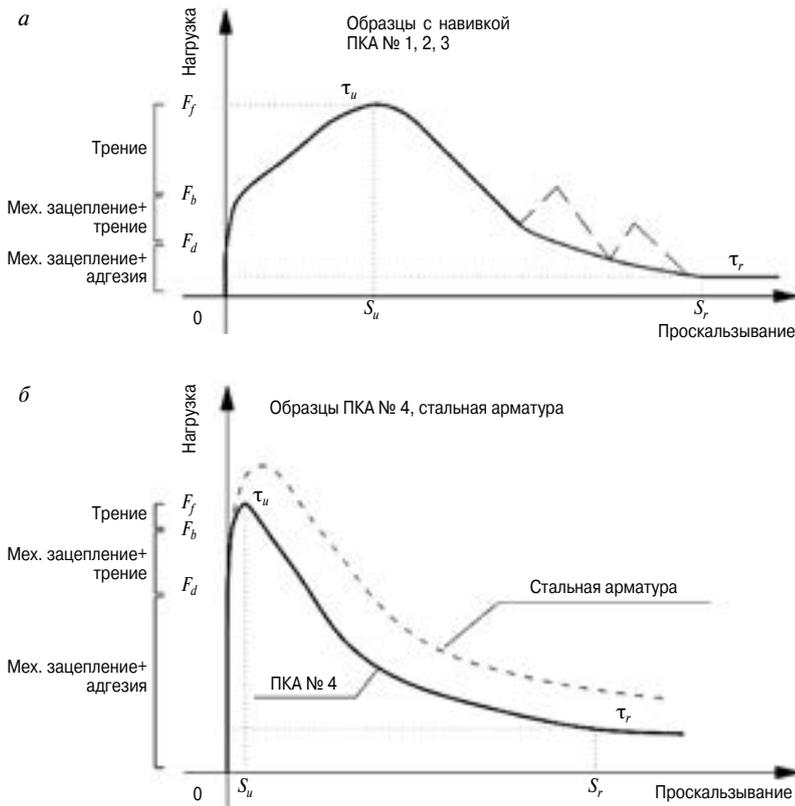


Рис. 6. Схема изменения напряжений при вырыве: а – образцов ПКА № 1, 2, 3; б – образцов ПКА № 4 и стальной арматуры

Однако данный рост существенно замедляется или прекращается при достижении определенных значений прочности бетона, различных для каждого типа ПКА: № 1 – 46 МПа; № 2 – 59 МПа; № 3 – 59 МПа; № 4 – 46 МПа. Это объясняется тем, что прочность сцепления композитной арматуры лимитируется в отличие от стальной прочностью самого композитного материала, и в частности адгезией эпоксидного покрытия к волокну.

Влияние прочности бетона на его сцепление с ПКА видно из кривых на рис. 4.

На рис. 5 представлен характер повреждения образцов ПКА № 1; 4 при испытании вырывом из бетона В60.

Как известно [2–4], сцепление арматуры с бетоном представляет собой непрерывную связь по поверхности контакта между арматурой и бетоном. Ранее [5, 6]

было установлено, что сцепление композитной арматуры с бетоном обеспечивает благодаря действию трех факторов:

- адгезии цементного камня к поверхности ПКА (F_d);
- механического зацепления поверхностного рельефа арматуры за бетон (F_b);
- трения (F_f).

На начальном этапе приложения нагрузки работает адгезионная составляющая и механическое зацепление, а с началом проскальзывания первая «обнуляется» (в исследованиях авторов за критерий потери адгезии принято проскальзывание ненагруженного конца ПКА, равное 0,1 мм); сопротивление вырыву осуществляется за счет трения и механического зацепления профиля.

Адгезия цементного камня к поверхности ПКА (F_d) возникает в период схватывания и твердения бетона и определяется химическими и физическими процессами, которые приводят к появлению на контактной поверхности цементный камень – эпоксидный полимер межмолекулярных (физических) связей. Адгезия нарушается при сравнительно небольших напряжениях и деформациях сдвига стержня относительно бетона. Эти связи межмолекулярные и обуславливают высокую чувствительность полимера к температуре и жидким агрессивным средам.

Механическое зацепление арматуры в бетоне (F_b) обусловлено выступающими элементами ее профиля, витками и песчаной посыпкой.

Механическое зацепление для ПКА № 1 и № 4 (с деформированным профилем и опесчаненных) зависит как от прочности бетона, так и от прочности эпоксидного покрытия на срез. Для типов ПКА № 2 и 3 с навивкой величина механического зацепления постоянна и зависит только от качества склейки навивки с сердечником.

Трение (F_f) между поверхностью ПКА и бетоном можно разделить на статическое и динамическое. В паре арматура – бетон статическое трение обусловлено адгезией, поэтому целесообразно учитывать только динамическое трение скольжения, реализующееся после нарушения адгезионного сцепления в момент начала проскальзывания арматуры в бетоне.

Напряжение сцепления τ определяется как сумма трех вышеуказанных факторов:

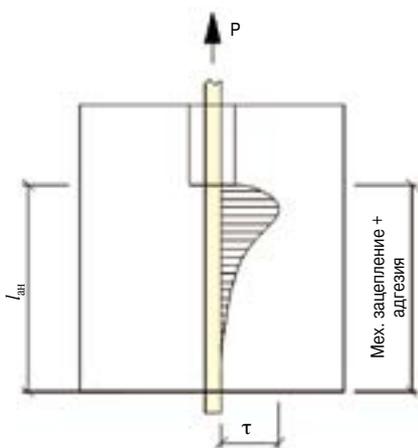


Рис. 7. Распределение касательных напряжений на первой стадии

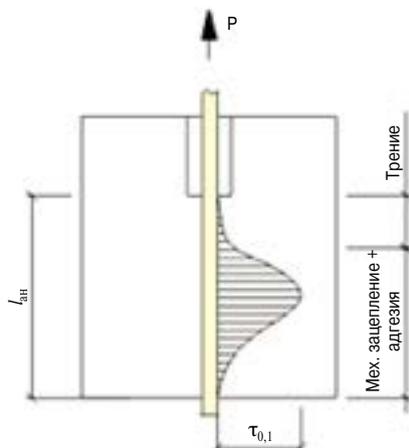


Рис. 8. Распределение касательных напряжений на второй стадии

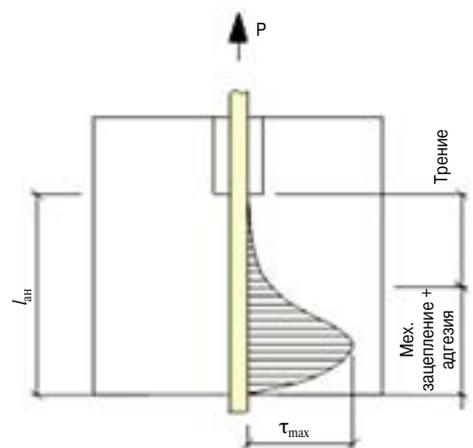


Рис. 9. Распределение касательных напряжений на третьей стадии

Таблица 2

Тип армирования	Диаметр арматуры (d), мм	Количество стержней	Площадь арматуры (A), мм ²	Удельная поверхность сцепления (C=n·π·d·10 мм), мм ²	Коэффициент α (C/A·10)
1	2	12	37,7	75,39	20
2	4+2 (доп.)	4	37,73	43,98	11,7
3	5	2	39,27	31,42	8
4	7	1	38,48	21,99	5,7

Таблица 3

№ п/п	Тип армирования	При f= 1/300 = 4,57 мм		При f= 1/150 = 9,13 мм	
		Нагрузка, кг	Напряжения в арматуре σ _s , МПа	Нагрузка, кг	Напряжения в арматуре σ _s , МПа
1	12×2 мм	1375	588,4	1650	707,5
2	3×4 мм+ 1×2 мм	1300	555,5	1720	737,3
3	2×5 мм	1220	500,6	1550	635,9
4	1×7 мм	930	388,6	1350	565,8

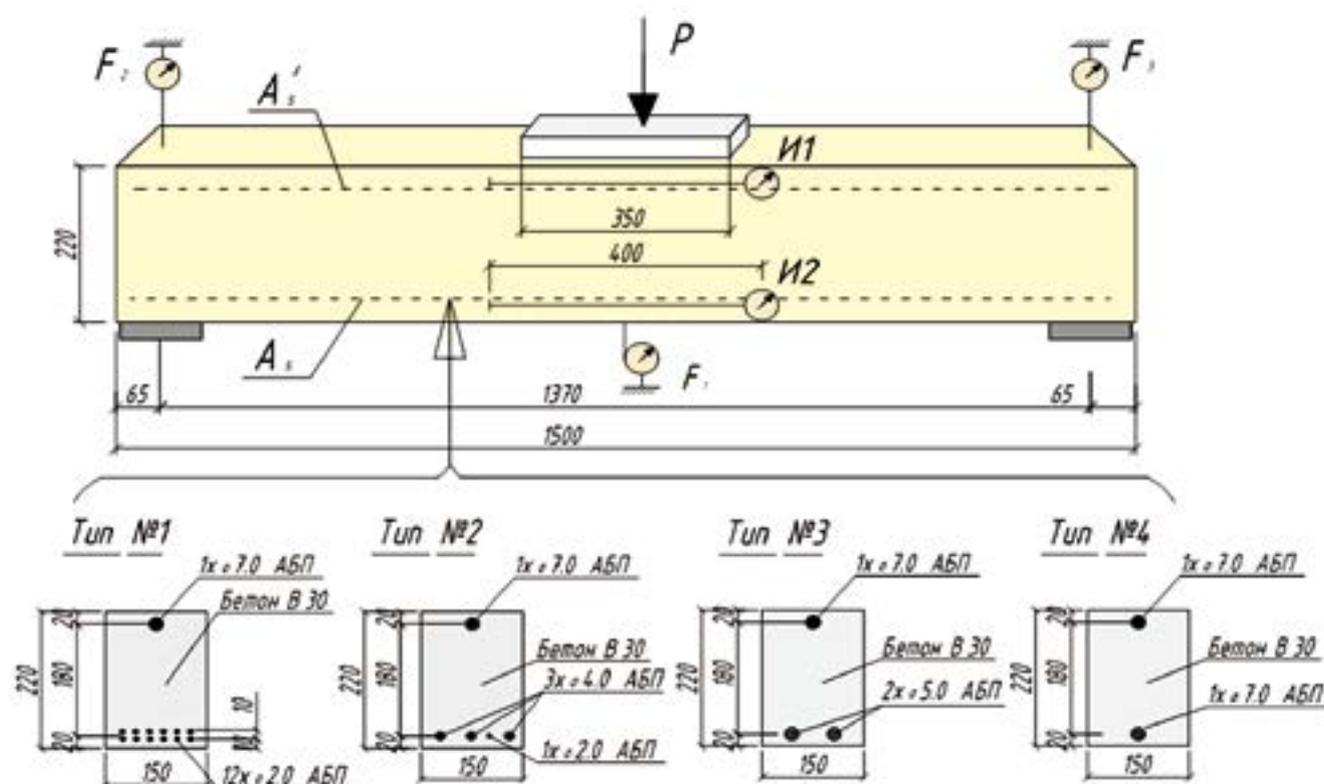


Рис. 10. Схема испытания и типы армирования балок

$$F_p = F_d + F_b + F_f$$

Соответственно, изменения значений касательных напряжений, установленные в ходе испытаний, объясняются изменением одного из значений F_d , F_b , F_f .

Обобщая вышеизложенное, вклад каждого из факторов на всех этапах работы при вырыве образцов ПКА из бетона можно описать кривыми, приведенными на рис. 6, подобными экспериментальным диаграммам «τ-Δ».

Из рис. 6, б следует, что поведение ПКА № 4 (с песчаным покрытием) подобно поведению при вырыве стальной арматуры.

По результатам численного моделирования в ПК ANSYS установлено, что распределение касательных напряжений по длине сопряжения ПКА с бетоном в

процессе нагружения неравномерно и может быть условно разделено на три стадии:

1-я стадия – упругая, при которой деформации нагруженного стержня пропорциональны прикладываемому усилию и в основном обратимы. При этом напряжения в стержне по мере удаления от загруженного конца быстро снижаются (рис. 7). На данном этапе сцепление обусловлено адгезией и механическим зацеплением.

2-я стадия – частично упругая, в которой линейность и обратимость деформаций нарушаются, но смещение свободного (ненагруженного) конца арматуры еще не происходит (рис. 8). Пик максимальных значений напряжений сцепления по мере увеличения прикладываемых усилий перемещается в сторону ненагруженного конца стержня.

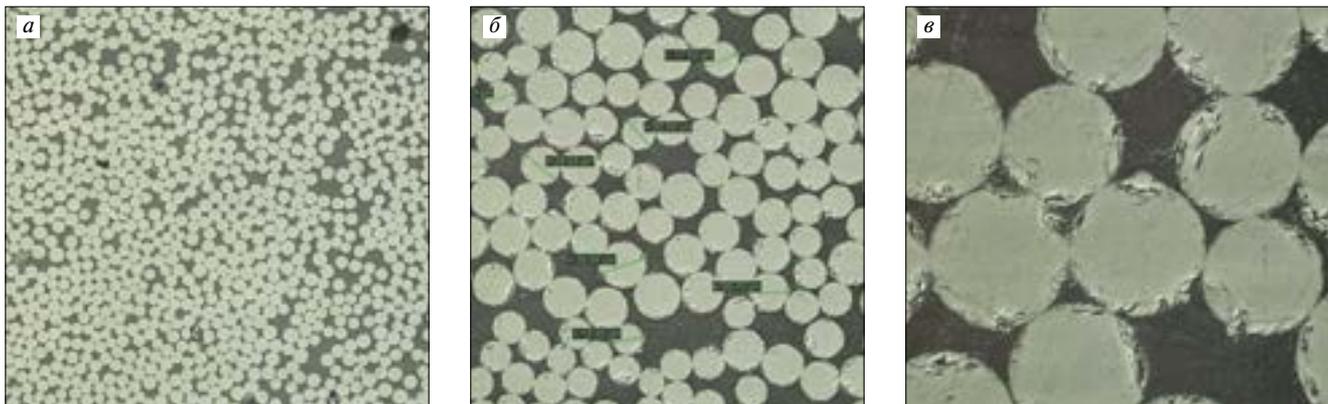


Рис. 11. Микрофотографии фрагмента поперечного среза арматурного стержня диаметром 8 мм (ПКА № 4 – опесчаненный профиль). Увеличение: а – 100×; б – 300×; в – 1000×

3-я стадия – *проскальзывание*, когда стержень перемещается относительно бетона по всей длине анкеровки. Максимальные значения сил сцепления перемещаются к ненагруженному торцу образца. Бетон контактного слоя в начале заделки уже разрушен, но разрушенные частицы еще обеспечивают трение и расклинивающие напряжения (рис. 9)

Как известно, любая арматура находит главное применение в изгибаемых бетонных конструкциях, где она устанавливается в растянутой зоне сечения, обеспечивая прочность, трещиностойкость и жесткость изделия. При этом последние два критерия определяются модулем упругости арматуры, а он у ПКА, как известно, низок по сравнению со стальной: 40–50 ГПа против 200 ГПа. Поэтому 2-й этап исследований был посвящен испытанию бетонных балок, армированных разными вариантами размещения ПКА № 4 в сечении конструкции.

Бетонные балки сечением 150×220 мм, длиной 1,5 м. Армирование производилось стержнями ПКА № 4 диаметром 7, 5, 4, 2 мм с обеспечением постоянной суммарной площади сечения $A_s = n \cdot \pi \cdot d^2 / 4$, что достигалось изменением числа стержней в сечении. При этом площадь поверхности контакта ПКА с бетоном $s = n \cdot \pi \cdot d \cdot l$ была переменной. Схема испытания и типы армирования балок приведены на рис. 10.

Теоретической предпосылкой этого эксперимента является известный структурно-механический эффект анизотропии волокнистых полимерных композитов, классическим представителем которых является полимеркомпозитная арматура с одноосно ориентированными высокопрочными волокнами, связанными в монолит полимерной матрицей. На рис. 11 представлены микрофотографии поперечного сечения ПКА № 4, на которых виден характер упаковки стеклянных волокон, связанных эпоксидным полимером.

Ранее Н.П. Фролов [1] установил, что эпюра нормальных напряжений в сечении при растяжении ПКА нелинейна (рис. 12) ввиду передачи растягивающих усилий от наружных слоев (волокон) к внутренним через податливые прослойки полимера, модуль упругости которого в десятки раз ниже, чем у волокна (в нашем случае $E_3 = 2,4$ ГПа против $E = 72,5$ ГПа у стекловолокна).

Поэтому разрушение стержня ПКА начинается с разрыва наиболее напряженных волокон, расположенных по периметру его сечения, а далее последовательно перераспределяется на внутренние слои. Происходящее смещение волокон относительно друг друга вдоль оси стержня происходит без нарушения их сцепления с полимерной матрицей вплоть до разрушения. Эта особенность ПКА присуща и другим издели-

ям из волокнистых полимерных композитов, в частности оболочкам [7, 8].

Учитывая большую зависимость прочности ПКА от диаметра (при неизменном модуле упругости), можно рассчитывать на более полное использование прочности малых диаметров, имеющих к тому же большую суммарную поверхность стержней при равной площади поперечного сечения. А это увеличивает объем адгезивно связанного бетона, вовлеченного в работу арматуры и сдерживающего ее деформацию.

В табл. 2 представлены количественные параметры армирования бетонных балок с разными вариантами размещения в их сечении стержней ПКА разных диаметров при соблюдении равной суммарной площади их поперечного сечения А.

Из табл. 2 следует, что удельная поверхность сцепления с бетоном S – наибольшая при армировании двенадцатью стержнями ПКА, как и безразмерный коэффициент α , равный отношению удельной поверхности стержней к суммарной площади их поперечного сечения.

Деформативность балок оценивалась по значениям прогибов, достигаемых при контрольных нагрузках 1000, 1500 и 2000 кг. Так, при контрольной нагрузке 1000 кг прогибы балок первого типа армирования (12×2 мм) находились в интервале 1,82–2,65 мм, у балок второго типа выше в среднем на 70%, у балок третьего типа выше на 89%, а у балок четвертого типа выше на 138%. Аналогичная тенденция, хоть и в меньшем выражении, прослеживается и при нагрузках 1500, 2000 кг.

Как следует из данных табл. 3, с увеличением параметров S и α , характеризующих величину удельной поверхности сцепления бетона со стержнями ПКА, увеличивается изгибная жесткость балок при фиксированной нагрузке и их несущая способность при одинаковом прогибе.

Механизм эффекта малых диаметров ПКА в бетонных балках заключается как в полном включении в работу стержней малых диаметров, так и в вовлечении в процесс их деформирования адгезионно связанных прилегающих слоев бетонной матрицы. Аналогом второго фактора – вовлечения матрицы в процесс деформирования – является известная в полимерных композитах [9] картина взаимодействия волокна с полимерной матрицей (рис. 13).

Установлено, что характер разрушения балок при нагружении зависит от степени распределения арматуры в сечении: в первом случае (12×2 мм) $\alpha = 20$, балка разрушается классически – по нормальному сечению с разрывом рабочей арматуры; в остальных случаях происходит разрушение бетона по наклонным сечениям без разрыва ПКА.

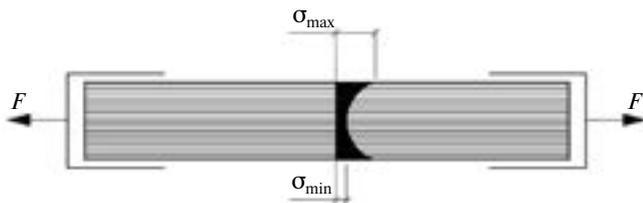


Рис. 12. Распределение нормальных напряжений по сечению ПКА при растяжении

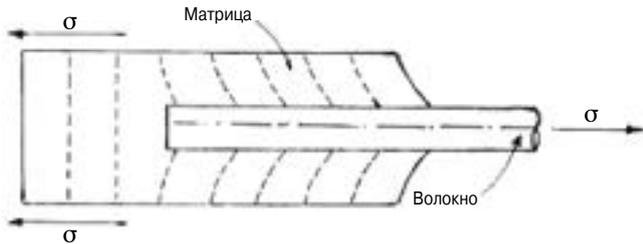


Рис. 13. Картина распределения деформаций в матрице, окружающей волокно, к которому прилагается растягивающее усилие [9]

На основании полученных данных можно сформулировать следующие рекомендации при изготовлении, испытании и применении полимеркомпозитной арматуры в бетонных изгибаемых конструкциях:

1. Рекомендовать для армирования изгибаемых конструкций арматуру с опесчанной поверхностью (ПКА № 4), имеющую наибольшие значения сцепления с бетоном. Для получения опесчанной арматуры с высокой щелочестойкостью целесообразно применять песок из щелочестойких материалов (карбонатных и прочих), а в качестве отвердителя эпоксидных смол использовать ароматические амины, эффективность которых была показана ранее [10].

2. Не рекомендовать для армирования бетонных конструкций, где требуются высокие параметры сцепления, полимеркомпозитную арматуру типов 2 и 3 с наклеенной навивкой, образующей винтовой профиль, поскольку он срезается при вырыве, не позволяя полностью реализовать прочность основного стержня.

3. Целесообразно в ГОСТ 32487–2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик стойкости к агрессивным средам» в п. 5.3.2 заменить рекомендуемый состав щелочного раствора ($\text{NaOH} + \text{KOH}$) на насыщенный раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или (что еще ближе к реальным условиям эксплуатации арматуры в цементном бетоне) на цементную вытяжку – водный раствор продуктов гидратации портландцемента, полученный из цементной суспензии с $\text{pH} \geq 12$.

4. С целью повышения модуля упругости арматуры целесообразно перейти на гибридный волокнистый наполнитель с использованием наряду со стеклянным и базальтовым высокомодульного углеродного волокна, распределенного с градиентом его концентрации к центру от периферии поперечного сечения стержня.

5. Учитывая высокую стойкость ПКА к коррозии, целесообразно снижать величину защитного слоя бетона до минимального значения, обеспечивающего со-

Список литературы

1. Фролов Н. П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1980. 104 с.
2. Мулин Н. М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1975. 233 с.
3. Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном. М.: Стройиздат, 1981. 184 с.

вместную работу арматуры с бетоном, но не менее 20 мм.

6. Для более полного использования прочностного потенциала полимеркомпозитной арматуры и повышения жесткости бетонных балок, армированных ею, рекомендуется применять более мелкие диаметры ПКА с сохранением суммарной площади сечения арматуры.

С целью проверки предложенных рекомендаций на предприятии ООО «Казанский ДСК» были изготовлены и испытаны образцы дорожных плит-аналогов плитам 2П30.18-30 по ГОСТ 21924.2–84* «Плиты железобетонные с ненапрягаемой арматурой для покрытий городских дорог». Плиты были выполнены в двух вариантах:

- с армированием ПКА, эквивалентной по прочности на растяжение стальной, и сохранением количества и раскладки стержней, как в ГОСТ 21924.2–84*;
- с уменьшением диаметров продольных рабочих стержней, но сохранением суммарной площади рабочей арматуры.

Испытания показали, что при замене стальной арматуры на равнопрочную ПКА дорожные плиты соответствуют предъявляемым ГОСТ 21924.0–84 требованиям по прочности и трещиностойкости. Проскальзывание арматуры отсутствует, что свидетельствует о достаточности сцепления ПКА при уменьшении ее диаметра по сравнению со стальной арматурой.

Установлено, что плиты со вторым типом армирования, в которых применялись стержни меньших диаметров при сохранении их суммарной площади сечения, имеют повышенную жесткость относительно плит со стандартным армированием:

- при контрольной нагрузке 4 т прогибы сократились на 25,6%;
- при контрольной нагрузке 8 т прогибы сократились на 26,9%.

Совместно с ООО «КомАр» были изготовлены и испытаны две серии бетонных балок, армированных полимеркомпозитной и стальной арматурой. Балки со стальной арматурой изготовлены в соответствии с типовой серией 1.038.1-1 выпуск 1, балки с композитной арматурой изготовлены по аналогии с сохранением геометрических размеров и прочности бетона балок, но с разным количеством и разными диаметрами арматуры в растянутой зоне.

Результаты испытаний подтвердили, что использование в растянутой зоне изгибаемых балок арматурных стержней меньших диаметров приводит к увеличению жесткости балок, особенно на начальном этапе нагружения, что является следствием более полного использования высокой прочности ПКА.

Характер разрушения балок также существенным образом различается в зависимости от процента армирования. В отличие от балок № 1, 2, когда фиксируется разрушение всех балок по наклонным сечениям из-за среза и частичного смятия бетона в сжатой зоне, в балках типов № 3, 4, 5 ввиду пониженного процента армирования растянутой зоны достижение предельного состояния в арматуре происходит до достижения предельных значений в сжатом бетоне. Развитие наклонных трещин при этом отсутствует.

References

1. Frolov N.P. Stekloplastikovaya armatura i stekloplastbetonnye konstruksii [Glass-fiber plastic rebars and glass-fiber plastic concrete structures]. Moscow: Stroyizdat. 1980. 104 p.
2. Mulin N.M. Sterzhnevaya armatura zhelezobetonnykh konstruksiy [Bar reinforcement for concrete structures]. Moscow: Stroyizdat. 1975. 233 p. (In Russian).

4. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. М.: Воентехлит, 2000. 256 с.
5. Baena M. Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test // *An International Journal «Composites Part B: Engineering»*. 2009, pp. 784–797.
6. Wai How Soong, J. Raghavan, Sami H. Rizkalla. Fundamental mechanisms of bonding of glass fiber reinforced polymer reinforcement to concrete // *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. Iss. 6, pp. 2813–2821.
7. Турусов Р.А., Берлин А.А. Адгезия и адгезионная механика // *Новости материаловедения. Наука и техника*. 2016. № 2. С. 17–23.
8. Берлин А.А. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. СПб.: ЦОП, Профессия, 2014. 592 с.
9. Каллистер У., Ретвич Д. *Материаловедение: от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры) / Пер. с англ. / Под ред. А.Я. Малкина СПб.: Научные основы и технологии*. 2011. 896 с.
10. Хозин В.Г., Зыкова Е.С., Фахрутдинова В.Х., Гиздатуллин А.Р. Влияние щелочной среды бетона на эпоксидные связующие и полимеркомпозитную арматуру // *Строительные материалы*. 2015. № 1. С. 41–44.
3. Holmyansky M.M. Kontakt armatury s betonom [Contact of reinforcement with concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1981. 184 p.
4. Madatyana S.A. Armatura zhelezobetonnykh konstruktсий [Reinforcement of reinforced concrete structures]. Moscow: Voentekhlit. 2000. 256 p.
5. Baena M. Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test. *An International Journal «Composites Part B: Engineering»*. 2009, pp. 784–797.
6. Wai How Soong, J. Raghavan, Sami H. Rizkalla. Fundamental mechanisms of bonding of glass fiber reinforced polymer reinforcement to concrete. *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. Iss. 6, pp. 2813–2821.
7. Turusov R.A., Berlin A.A. Adhesion and adhesion mechanics. *Materials Science News. Science and Technology*. 2016. No. 2, pp. 17–23. (In Russian).
8. Berlin A.A. [Polymer composite materials: structure, properties, technology]. Saint Petersburg: COP, Profession. 2014. 592 p.
9. Kallister U., Rethvich D. Material Science: from technology to application (metals, ceramics, polymers). Translated with English. Ed. by Malkin A.Y. Saint Petersburg: Scientific bases and technologies. 2011. 896 p.
10. Khozin V.G., Zyкова E.S., Fakhrutdinova V.Kh., Gizdatullin A.R. Influence of alkaline environment of concrete on epoxide binders and polymer-composite reinforcement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 1. С. 41–44. (In Russian).



**20–21
сентября
2018 г.
Республика Беларусь
г. Минск**

**Оргкомитет:
140050, Московская обл.,
п. Красково,
ул. К. Маркса, д. 117,
РГА
Телефон:
+7 8-916-501-36-56
E-mail: rga-service@mail.ru
www.rosgips.ru**

Российская гипсовая ассоциация

**Московский государственный строительный университет
Научно-исследовательский институт строительной физики**

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

Тематика конференции:

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

Генеральный информационный спонсор: журнал

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**

М.А. ГОНЧАРОВА, д-р техн. наук (magoncharova@lipetsk.ru), И.А. ТКАЧЕВА, инженер
Липецкий государственный технический университет (398600, г. Липецк, ул. Московская, 30)

Применение адгезионных добавок в асфальтобетоне с гранитным и шлаковым щебнем

Приведены исследования качества сцепления битумного вяжущего с различными видами адгезионных добавок как с гранитным, так и со шлаковым щебнем. Рассмотрено понятие адгезии связующего вещества и каменного материала, причины их слабого взаимодействия, а также способ эффективного повышения сцепления – использование специальных добавок. Целью исследования является определение оптимальной добавки для основного доменного шлака и гранита с кислой природой. В процессе работы было выяснено, что при применении адгезионных добавок достигается как активная, так и пассивная адгезия. Помимо этого улучшается ряд свойств асфальтобетона как конечного композита. Приведены краткие характеристики испытываемых материалов, описаны этапы проведения эксперимента, представлены наглядные результаты лабораторных испытаний и их анализ.

Ключевые слова: адгезия, адгезионная добавка, сцепление, гранитный щебень, шлаковый щебень.

Для цитирования: Гончарова М.А., Ткачева И.А. Применение адгезионных добавок в асфальтобетоне с гранитным и шлаковым щебнем // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 39–41.

M.A. GONCHAROVA, Doctor of Sciences (Engineering) (magoncharova@lipetsk.ru); I.A. TKACHEVA, Engineer
Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya Street, Lipetsk, 398600, Russian Federation)

The Use of Adhesion Additives in Asphalt Concrete with Granite and Slag Crushed Stone

The paper presents the research in adhesion quality of bituminous binders with various types of adhesive additives both with granite and slag crushed stones. The concept of adhesion of a binding substance and stone materials, reasons for their weak interaction as well as a way for efficient increasing the adhesion – the use of special additives – are considered. The aim of the study is to determine the optimum additive for the basic blast furnace slag and granite with acidic nature. In the course of the work, it has been found that both active and passive adhesions are achieved with the use of adhesive additives. In addition, a number of properties of asphalt concrete, as a final composite, improve. Brief characteristics of the tested materials are given, the stages of the experiment conducted are described, visual results of laboratory tests and their analysis are presented.

Keywords: adhesion, adhesive additive, coupling, granite crushed stone, slag crushed stone.

For citation: Goncharova M.A., Tkacheva I.A. The use of adhesion additives in asphalt concrete with granite and slag crushed stone. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 39–41. (In Russian).

Разрушение дорог в процессе эксплуатации происходит под воздействием различных факторов. Одним из них является потеря сцепления между каменным материалом и связующим веществом. Способность одного материала прилипать к поверхности другого за счет появления и развития молекулярных связей в зоне их контакта называется адгезией [1, 2].

Так, в процессе наблюдения за асфальтобетонным покрытием по ул. Катюкова в Липецке было выявлено несколько проблемных моментов. Наиболее важным для исследования является практически полное истирание пленки битумного вяжущего с верхнего слоя покрытия (рис. 1).

Также установлено, что повышение адгезионных свойств щебня и связующего материала необходимо для покрытий как с гранитным, так и со шлаковым заполнителем [3].

Степень адгезии зависит от химической природы компонентов.

При этом можно рассматривать, с одной стороны, основные доменные шлаки, имеющие положительный заряд, и гранитные щебни с кислой природой, которые имеют отрицательный заряд. Известно, что в составе битума преобладают анионноактивные вещества.

Проблема слабой адгезии характерна при применении кислых пород вследствие различной полярности компонентов. Следовательно, для изменения поверхностных свойств и полярности несовместимых материалов применяют адгезионные добавки. Это способствует более прочной связи между битумом и каменным материалом. Данная связь препятствует проникновению воды на разных уровнях в течение всего срока службы дорожного покрытия [4].

Битум содержит кислотные компоненты, поэтому со шлаковым щебнем адгезионные свойства проявляются лучше, чем с гранитным. Однако практический опыт применения шлаковых материалов в дорожном строительстве показал, что улучшить адгезионные качества необходимо для обоих материалов.

Целью исследования является определение оптимальной добавки для основного доменного шлака и гранита с кислой природой.

Адгезионные добавки широко применяются для производства асфальтобетона в качестве модификатора, который улучшает свойства нефтяного битума и повышает эффективность его сцепления со щебнем



Рис. 1. Верхний слой асфальтобетонного покрытия по ул. Катюкова в Липецке

различных фракций и происхождения. Это положительно влияет на качество асфальтобетонной смеси и асфальтобетона как конечного композита [1, 5–8].

Результатом применения адгезионной добавки является как способность битума покрывать не до конца высушенный материал, так и предотвращение отслаивания вяжущего от щебня во влажных условиях. Помимо основного назначения, это позволяет повысить морозостойкость и водостойкость асфальтобетона. Также адгезионные добавки влияют на износостойкость и твердость входящих в состав асфальтобетона каменных материалов. Они облегчают распределение связующего вещества по поверхности минерального материала. Таким образом, количество непокрытых битумом частиц уменьшается, и улучшается консистенция смеси, что облегчает уплотнение [5].

Для оценки влияния адгезионных поверхностно-активных веществ на показатель адгезии битума были проведены испытания на определение качества сцепления битумного вяжущего с поверхностью щебня согласно ГОСТ 12801–98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний». Также была произведена оценка сцепления исходного и модифицированного битума с каменным материалом. В ходе исследования были использованы следующие материалы:

- щебень гранитный фракции 10–20 мм;
- щебень шлаковый фракции 10–20 мм;
- битум марки БНД 60/90 Московского нефтеперерабатывающего завода;
- адгезионные добавки: ДАД-1 марка «А», ДАД-К, Азол 1002, Адгезол.

Дорожная адгезионная добавка ДАД-1 марка «А» – это адгезионная добавка амфотерного типа для ручного ввода к дорожным битумам. Благодаря ее применению в течение трех суток сохраняются адгезионные свойства битумного вяжущего при 160°C, при этом рабочая концентрация должна составлять от 0,3 до 0,8% от массы битума.

Еще одна добавка данного производителя ДАД-К. Она представляет собой жидкую композицию, состоящую из поверхностно-активных веществ катионного типа, и предназначена как для ручного, так и для автоматизированного ввода в асфальтобетоносмеситель. Рекомендуемая рабочая концентрация составляет от 0,1 до 0,6% от массы битума.

Адгезионная добавка Азол 1002 – это поверхностно-активное вещество катионного типа на основе имидазолинов и амидоаминов жирных кислот. Азол 1002 стабилизирует свойства битума при производстве асфальтобетонных смесей, а также улучшает адгезию вяжущего вещества к кислым каменным материалам. Рекомендуемая дозировка составляет от 0,3 до 0,5% от массы битума.

Битумная добавка Адгезол обеспечивает высокую степень сцепления битумов с различными по происхождению минеральными материалами, что имеет большое значение для данного исследования. Введение добавки способствует увеличению межремонтного срока службы дорожного покрытия. Адгезол выдерживает температуру свыше 160°C. Рабочая концентрация составляет от 0,4 до 0,8% от массы битума.

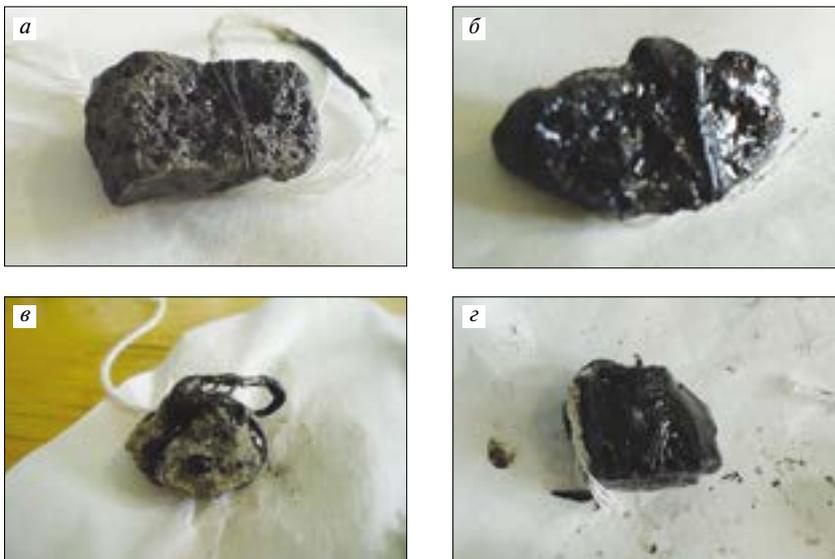


Рис. 2. Степень сцепления битумного вяжущего: а – со шлаковым щебнем без добавок; б – со шлаковым щебнем с добавкой Адгезол в количестве 0,8%; в – с гранитным щебнем без добавок; з – с гранитным щебнем с добавкой Адгезол в количестве 0,8%

Испытания состояли из следующих операций:

- отбор по шесть зерен щебня для каждого испытания размером не меньше 10 мм и их просушка;
- обвязка зерна ниткой и прогрев в сушильном шкафу в течение 1 ч при температуре 150°C;
- погружение подготовленных образцов в битумное вяжущее, температура которого составляла 150°C, на 15 с, затем подвешивание на штативе;
- по прошествии 1 ч каждое зерно опускали в стакан со слегка кипящей дистиллированной водой и выдерживали 30 мин;
- удаление отделившегося битума с поверхности воды с помощью фильтровальной бумаги;
- помещение зерен щебня в стакан с холодной водой на 1 мин;
- размещение щебня на фильтровальной бумаге для осмотра и оценки поверхности по пятибалльной шкале: 5 баллов – отличное качество сцепления; 4 балла – хорошее; 3 балла – удовлетворительное; 2 балла – плохое.

В результате качество пленки битумного вяжущего без добавок для обоих видов щебня оказалось плохим (рис. 1, а, в). После кипячения в течение 30 мин практически весь битум отделился как с поверхности шлака, так и гранита. Данный результат подтверждает необходимость применения адгезионных добавок для получения асфальтобетона с высокими физико-химическими характеристиками.

Изначально испытания с добавками проводили в соответствии с рекомендуемыми дозировками, а именно для ДАД-1 – 0,8%; для ДАД-К, Адгезол, Азол 1002 – 0,5% от массы битума. После кипячения выявлено плохое и удовлетворительное качество сцепления для обоих видов щебня. Поэтому количество вводимых добавок было увеличено: для ДАД-1 – 1,2%; для ДАД-К, Адгезол, Азол 1002 – 0,8% от массы битума.

После регулировки шлаковый щебень с добавкой ДАД-1 показал отличное сцепление с битумным вяжущим, а с ДАД-К – удовлетворительное с появлением шелушения на поверхности щебня. С добавками Адгезол и Азол 1002 был получен хороший результат (рис. 1, б).

Пленка вяжущего на поверхности гранитного щебня с добавкой ДАД-1 в количестве 1,2% сохранилась более чем на 50%, что говорит об удовлетворительном результате. С добавками ДАД-К и Адгезол сцепление отлич-

ное (рис. 1, з). На образце с добавкой Азол 1002 пленка вяжущего сохранилась менее чем на 50%, следовательно, сцепление плохое.

На рис. 2 представлены наиболее различающиеся образцы каменного материала после кипячения. Таким образом, проиллюстрирована эффективность применения добавок на границе раздела фаз битум – каменный материал и процессов их взаимодействия.

Для шлакового щебня наилучшие показатели по сцеплению с битумным вяжущим были достигнуты при использовании добавок ДАД-1 и Адгезол. При этом надо учесть, что в образце с применением адгезионной добавки ДАД-К появилось шелушение на поверхности щебня. Это говорит о несовместимости с данным видом материала.

Список литературы

1. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Землякова Д.В. Выбор адгезионных добавок для повышения термостабильности битума // *Дороги и мосты*. 2014. № 1. С. 225–240.
2. Емельянычева Е.А., Абдуллин А.И. Способы улучшения адгезионных свойств дорожных битумов к минеральным материалам // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. № 3. С. 198–204.
3. Гончарова М.А., Ткачева И.А. Практический опыт применения щебеночно-мастичного асфальтобетона с использованием активированного минерального порошка // *Строительные материалы*. 2016. № 10. С. 84–90.
4. Кузнецов В.П., Baumgartен М.И., Невзоров Б.П., Фадеев Ю.А. Адгезия в композиционных материалах: термины и физическая сущность // *Вестник КемГУ*. 2014. № 2 (58). С. 173–177.
5. Идрисов М.Р., Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. Создание адгезионной добавки к щебеночно-мастичному асфальтобетону // *Вестник Казанского технологического университета*. 2011. № 9. С. 226–228.
6. Гончарова М.А., Бондарев Б.А., Корнеев А.Д. Кристаллические металлургические шлаки в дорожном строительстве // *Строительные материалы*. 2009. № 11. С. 23–25.
7. Корнеев А.Д., Гончарова М.А., Андриянцева С.А., Комаричев А.В. Оптимизация строительно-технических свойств асфальтобетонов с применением отходов металлургического производства // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2–8. С. 1620–1625.
8. Гончарова М.А. Использование шлаков черной металлургии в составах асфальтобетонов // *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе*. 2014. Т. 1. С. 395–398.

При испытании гранитного щебня наилучшие результаты были получены при использовании ДАД-К и Адгезола. Битумоминеральная смесь после кипячения соответствует описанию ГОСТ 12801–98 – пленка вяжущего полностью сохранена на поверхности, но при этом толщина ее местами уменьшена.

Таким образом, при необходимости выбора единственной адгезионной добавки для гранитного и шлакового щебня наилучшим вариантом можно считать Адгезол. Его концентрация должна быть увеличена до 0,8% в обоих случаях.

Основываясь на результатах проведенных испытаний, в пределах Липецкой области принято решение использовать адгезионную добавку Адгезол в смесях с применением гранитного щебня.

References

1. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Zemlyakova D.V. Selection of adhesive additives to increase the thermal stability of bitumen. *Dorogi i mosty*. 2014. No. 1, pp. 225–240. (In Russian).
2. Emel'yanycheva E.A., Abdullin A.I. Methods of improvement of adhesive properties of road bitumens to mineral materials. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013. No. 3, pp. 198–204. (In Russian).
3. Goncharova M.A., Tkacheva I.A. Practical experience of use of stone mastic asphalt with activated filler. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 10, pp. 84–90. (In Russian).
4. Kuznetsov V.P., Baumgarten M.I., Nevzorov B.P., Fadeev Yu.A. Adhesion in composite materials: terms and physical essence. *Vestnik KemGU*. 2014. No. 2 (58), pp. 173–177. (In Russian).
5. Idrisov M.R., Kemalov R.A., Kemalov A.F. Creation of the adhesive additive to stone mastic asphalt. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2011. No. 9, pp. 226–228. (In Russian).
6. Goncharova M.A., Bondarev B.A., Korneev A.D. Crystalline metallurgical slags in road construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 11, pp. 23–25. (In Russian).
7. Korneev A.D., Goncharova M.A., Andriyantseva S.A., Komarichev A.V. Optimization of the composition and properties of asphalt concrete from waste dust production. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. No. 2–8, pp. 1620–1625. (In Russian).
8. Goncharova M.A. Use of ferrous slags in the compositions of the asphalt concrete. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse*. 2014. Vol. 1, pp. 395–398. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ

Показатели ввода индустриального жилья почти сравнялись с прошлогодними

Ввод жилья, построенного по индустриальным технологиям, за восемь месяцев 2017 г. составил 23,2 млн м², что всего на 3,5% ниже показателя 2016 г. Об этом сообщил заместитель Министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Н.Е. Сташишин на всероссийском селекторном совещании по вводу жилья, которое прошло 25 сентября в Минстрое России.

По состоянию на 1 сентября в стране введено 39,6 млн м² жилья, что лишь на 7,3% ниже показателя 2016 г.

Все субъекты РФ внимательно отнеслись к рекомендациям Минстроя России по усилению контроля за объемами ввода жилья.

Однако, несмотря на общую тенденцию, есть регионы, в которых показатели по вводу жилья пока сильно отстают от результатов прошлого года.

По материалам Минстроя России



ООО «Ас-Тик КП»

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



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

Национальный сертификат Л110.9N20/14209 за высокий вклад в развитие российской экономики, добросовестную уплату налогов, достижение высоких экономических показателей в отраслевом рейтинге по ОКВЭД 25.24.9 «Предоставление услуг в области производства пластмассовых деталей».

Проблема налипания материала на рабочие поверхности оборудования решена!

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



ППФП-Астики обладают:

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

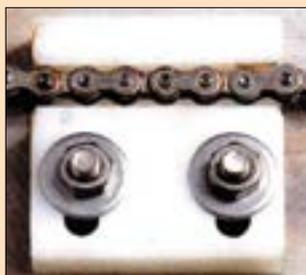


ППФП-Астики выпускаются по ТУ-2246-001-22711279–2008 различных размеров, технологичны, надежны в эксплуатации.

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



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



ООО «Ас-Тик КП»

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

УДК 622

В.Г. КУЗНЕЦОВ, президент, генеральный директор (ppfp_astiki@mail.ru),
И.П. КУЗНЕЦОВ, коммерческий директор (astik_kp@mail.ru)
ООО «Ас-Тик КП» (109004, г. Москва, Тетеринский пер., 16)

Рекомендации по установке и креплению футеровки ППФП-Астики на промышленное оборудование, работающее на увлажненных материалах

Проанализировав работу оборудования, применяемого в различных горно-геологических и горно-технических условиях эксплуатации, установлено, что правильно подобранные футеровочные материалы надежно и эффективно защищают рабочие поверхности. Наиболее эффективными в данном сегменте являются пластины-Астики (ППФП-Астики). Они предохраняют рабочие поверхности как от налипания, так и от полной застыковки узлов оборудования, а технологичность установки и крепления пластин обеспечивает ему работоспособность в период межремонтного цикла. В работе описаны основные требования и рекомендации по их промышленной установке и креплению на экскаваторном, транспортном и технологическом оборудовании, а также приведены варианты схем крепления противоналипающих пластин на рабочих поверхностях оборудования. В результате использования ППФП-Астики увеличивается пропускная способность перегрузочных устройств, бункеров, дозаторов и прочих элементов в среднем в 1,6 раза, техническая производительность экскаваторной техники в 1,3 раза, а также значительно сокращается ручной труд, применяемый при расчистке узлов оборудования.

Ключевые слова: горнодобывающая промышленность, противоналипающая футеровка ППФП-Астики, промышленное оборудование, горная порода, увлажненные материалы.

Для цитирования: Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. Рекомендации по установке и креплению футеровки ППФП-Астики на промышленное оборудование, работающее на увлажненных материалах // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 43–46.

V.G. KUZNETSOV, President, General Director (ppfp_astiki@mail.ru), I.P. KUZNETSOV, Commercial Director (astik_kp@mail.ru)
ООО «As-Tik KP» (16, Teterinsky Lane, Moscow, 109004, Russian Federation)

Recommendations for Installation and Fastening of Lining PFPF-Astiki at Industrial Equipment Operating with Moistened Materials

As a result of the analysis of operation of equipment used under different mining-geological and mining-technical conditions of operation, it is established that the correctly selected lining materials reliably and efficiently protect the operating surfaces. The most efficient in this segment are sheets-Astike (PFPF-Astiki). They protect operating surfaces both against sticking and full gumming of equipment units, and constructibility of installation and fastening of sheet provides its workability during the interrepair period. The article describes main requirements and recommendations for its industrial installation and fastening on excavator, transport, and technological equipment, as well as presents the variants of schemes of fastening of anti-gumming sheets on operating surfaces of equipment. The use of PFPF-Astiki increases the discharge capacity of load-transfer devices, hoppers, batchers, and other elements on average by 1.6 times, technical performance of excavator technique by 1.3 times as well as significantly reduces hand labor used when cleaning equipment units.

Keywords: mining industry, anti-gumming lining PFPF-Astiki, industrial equipment, rock, moistened materials.

For citation: Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. Recommendations for installation and fastening of lining PFPF-astiki at industrial equipment operating with moistened materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 43–46. (In Russian).

Анализ результатов промышленных испытаний оборудования, работающего на увлажненных горных породах и сырьевых материалах в различных горно-геологических и горно-технических условиях эксплуатации [1–9], свидетельствует, что правильно подобранные полимерные противоналипающие футеровочные пластины – Астики (ППФП-Астики) [10] надежно и эффективно предохраняют их рабочие поверхности как от налипания, так и от полной застыковки оборудования, а технологичность установки и крепления пластин обеспечивают ему работоспособность в период межремонтного цикла.

Длительная эксплуатация противоналипающих пластин ППФП-Астики позволила сформулировать основные требования и выработать рекомендации по их промышленной установке и креплению на экскаваторном, транспортном и технологическом оборудовании [11, 12].

Для приемно-питающих и перегрузочных устройств вскрывных роторных экскаваторов и комплексов непрерывного действия рекомендуется футеровка ППФП-Астики, состоящая из отдельных листов, торцы которых

наибольшими размерами следует укладывать по направлению движения горной породы и сырьевых материалов. Крепление полимерной футеровки к металлоконструкциям наклонной течи и перегрузочных устройств рекомендуется осуществлять при помощи болтов М12–М16 по всему периметру пластины с шагом 300–500 мм. Места крепления целесообразно закрывать полимерными пробками, сделанными из аналогичных ППФП-Астики. Варианты крепления футеровки ППФП-Астики в узлах приведены на рис. 1.

Следует отметить, что при модернизации приемно-питающих устройств вскрывных роторных экскаваторов, к примеру ЭР-1250, ЭРГ-1600, ЭРШР-1600, ЭРШР-5250, рекомендуется удалять из них барабанные питатели с приводом, а новую металлическую наклонную течку следует устанавливать в полость роторного колеса под углом 40–50° к горизонтали, после чего осуществлять ее футеровку пластинами ППФП-Астики, как показано на рис. 2.

Для ковшей экскаваторов их внутренняя поверхность футеруется пластинами ППФП-Астики. Варианты креп-

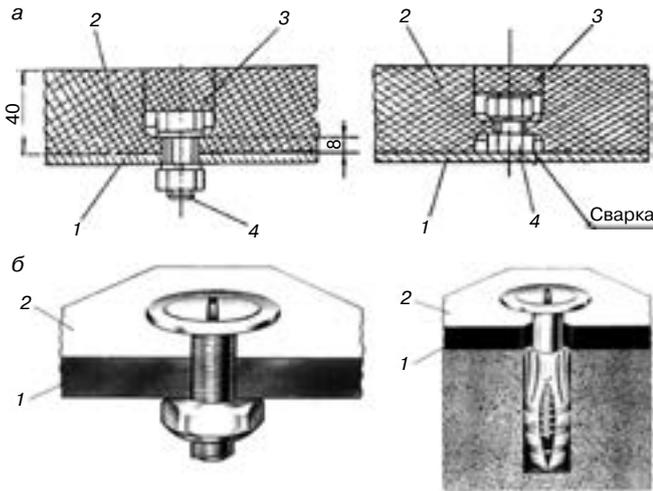


Рис. 1. Варианты крепления ППФП-Астики к рабочим поверхностям оборудования: а – метизное впотай; б – то же, с дюбелем; 1 – стенка рабочего оборудования; 2 – ППФП-Астики; 3 – полимерная пробка; 4 – крепежный элемент

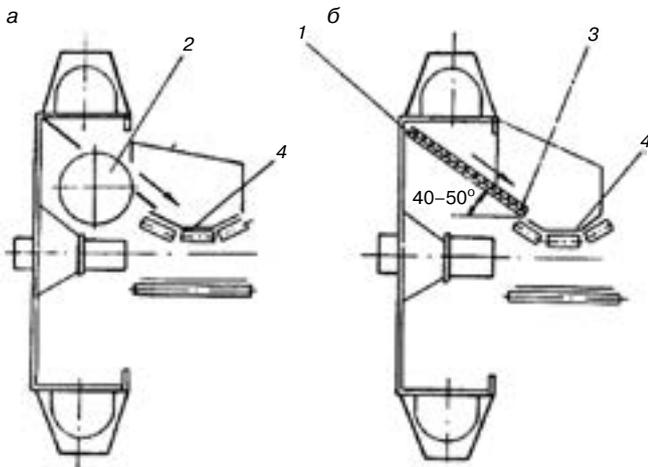


Рис. 2. Конструктивные схемы приемно-питающих устройств: а – с барабанным питателем; б – с наклонной течкой, футерованной ППФП-Астики; 1 – металлоконструкция; 2 – барабанный питатель; 3 – ППФП-Астики; 4 – приемный конвейер

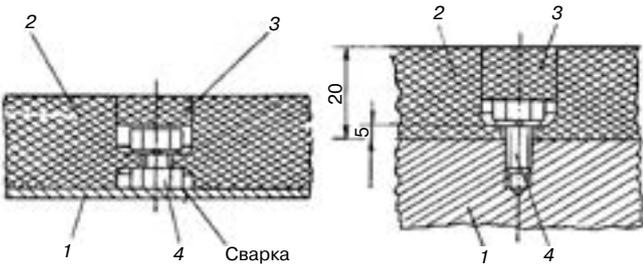


Рис. 3. Варианты крепления ППФП-Астики в ковше драглайна: 1 – металлоконструкция; 2 – ППФП-Астики; 3 – полимерная пробка; 4 – крепежный элемент

ления пластин в ковше на примере экскаватора-драглайна представлены на рис. 3.

Отбойные щиты перегрузочных воронок, металлические рабочие поверхности бункеров, течек, склизов, лотков, дозаторов, циклонов и пр., также рекомендуется футеровать пластинами ППФП-Астики. К примеру, геометрические размеры, масса щита с футеровкой и угол его отклонения от вертикали должны быть рас-

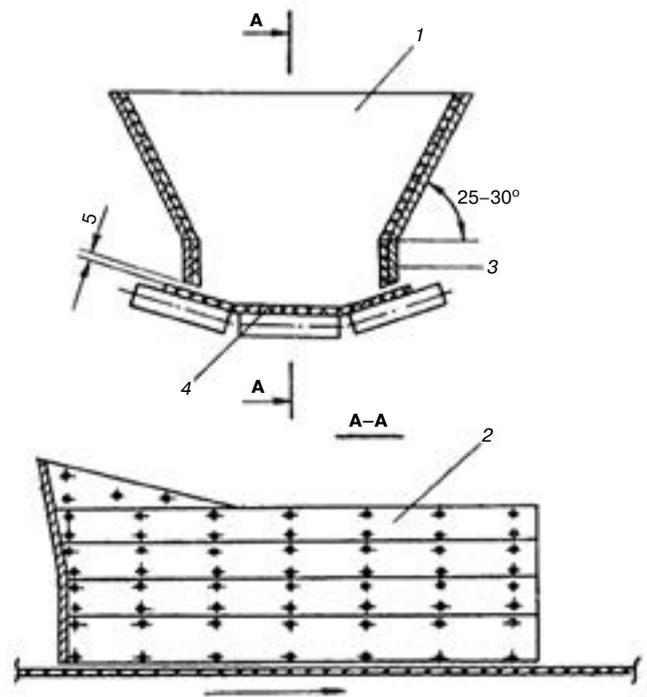


Рис. 4. Конструктивная схема приемного бункера перегрузочного устройства: 1 – приемный бункер; 2 – ППФП-Астики; 3 – уплотнитель ленты конвейера; 4 – приемный конвейер

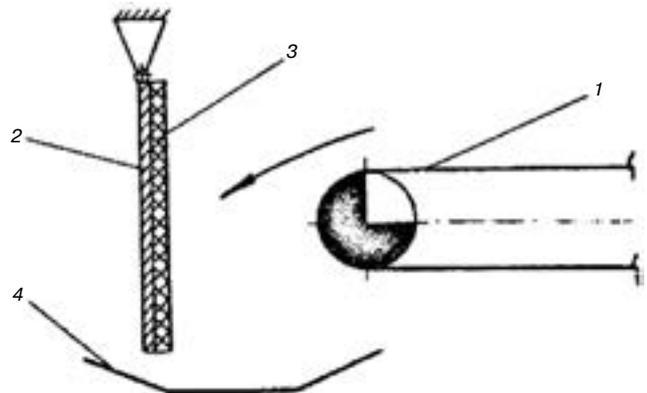


Рис. 5. Конструктивная схема перегрузочной воронки: 1 – конвейер, подающий грунт; 2 – отбойный щит; 3 – ППФП-Астики; 4 – приемный конвейер

считаны так, чтобы при максимально возможной производительности угол атаки потока перегружаемого материала к поверхности щита находился в пределах 15–20° (рис. 4). Это обеспечит минимальный износ футеровочных пластин ППФП-Астики и увеличит срок их службы.

При использовании пластин ППФП-Астики в качестве **уплотнителей ленты конвейера в приемном бункере перегрузочного устройства** необходима их установка с раскрывающимся зазором по направлению движения ленты (рис. 5) [13].

Для увеличения срока службы футеровочных пластин ППФП-Астики, особенно в летнее время и при транспортировании сухой породы, их поверхность рекомендуется покрывать отработанный конвейерной лентой, а для уменьшения ударно-абразивного износа пластин целесообразно устанавливать их на амортизирующие элементы.

При проектировании новых видов образцов перегрузочных устройств комплексов непрерывного действия недопустимо уменьшать нормированные значения ширины перегрузочных воронок и приемных бункеров за счет толщины самих ППФП-Астики.

При проектировании *новых видов рабочего оборудования шагающих драглайнов* следует предусматривать на стадии изготовления ковшей возможность установки сменных вкладышей из ППФП-Астики, чтобы не уменьшать рабочую вместимость ковша.

Из полимерных футеровочных пластин ППФП-Астики целесообразно изготавливать *элементы для очистки конвейерных лент*, которые устанавливаются на сбрасывающих барабанах конвейерных линий.

Рабочие поверхности платформ ж/д думпкаров и кузовов автосамосвалов целесообразно футеровать пла-

стинами ППФП-Астики. Крепеж осуществляется посредством метизных соединений (болты, винты, шпильки и др.).

Таким образом, рекомендуемые способы установки и крепления правильно подобранных противоналипавших футеровочных пластин ППФП-Астики на рабочих поверхностях оборудования, работающего на увлажненных горных породах и сырьевых материалах, позволяют существенно уменьшить, а зачастую и полностью устранить их налипание, что увеличивает пропускную способность перегрузочных устройств, накопительных и приемных бункеров, пересыпных течек, дозаторов и др. в среднем в 1,6 раза, техническую производительность экскаваторной техники – соответственно в 1,3 раза и значительно сократить тяжелый ручной труд, применяемый, как правило, при расчистке узлов [14, 15].

Список литературы

1. Кузнецов В.Г., Петров И.В., Киселев Н.Н., Рубин С.М. Снижение налипания горных пород на рабочие поверхности горного и обогащательного оборудования // *Горный журнал*. 1999. № 2. С. 60–63.
2. Кузнецов В.Г., Старовойтов В.М., Суровец В.М., Сусев С.В. Снижение налипания сырья на рабочие поверхности технологического оборудования // *Цемент и его применение*. 2000. № 3. С. 43–44.
3. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Алексеенко И.П. Снижение прилипания и примерзания влажных углей Черемховского и Кузнецкого месторождений на металлические стенки бункеров // *Уголь*. 2004. № 5. С. 48–50.
4. Малинов А.В., Полухин В.Н., Хмелев Ю.В., Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. Повышение точности дозирования весовых бункеров-дозаторов и устранение налипания материалов на рабочие поверхности технологического оборудования // *Стекло и керамика*. 2006. № 11. С. 21–23.
5. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кочетов Е.В., Кузнецов И.П. Повышение эффективности использования горнотранспортного оборудования тяжелого машиностроения при работе на увлажненных липких породах // *Тяжелое машиностроение*. 2012. № 4. С. 36–38.
6. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кузнецов И.П., Кочетов Е.В. Эффективная эксплуатация технологического оборудования на фабрике окомкования ОАО «Михайловский ГОК» при работе на увлажненных сырьевых материалах // *Горный журнал*. 2013. № 12. С. 71–73.
7. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Бородин А.А., Иванников Д.И. и др. Заводской выпуск бункеров, оборудованных эффективным средством борьбы с налипанием материалов – ППФП-Астики. *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 54–56.
8. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кузнецов И.П., Кочетов Е.В. Повышение эффективности использования горнотранспортного и технологического оборудования предприятий цветной металлургии на увлажненных липких материалах // *Строительные материалы*. 2014. №1–2. С. 84–87.
9. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Ляпунов А.В., Блюденев А.П., Гонтаренко Б.Ю. Применение полимерных материалов для устранения налипания влажного магнетитового концентрата на рабочие поверхности технологического оборудования цеха обогащения АО «ЕВРАЗ КГОК» // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 59–60.

References

1. Kuznetsov V.G., Petrov I.V., Kiselev N.N., Rubin S.M. Reducing the sticking of rocks on the working surfaces of mining and processing equipment. *Gornyi Zhurnal*. 1999. No. 2, pp. 60–63. (In Russian).
2. Kuznetsov V.G., Starovoitov V.M., Surovets V.M., Susev S.V. Reduction of adhesion of raw materials to the working surfaces of process equipment. *Tsement i Ego Primenenie*. 2000. No. 3, pp. 43–44. (In Russian).
3. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Alekseenko I.P. Decrease in adhesion and freezing of wet coals of Chermkhovskiy and Kuznetsk deposits on metal walls of bunkers. *Ugol'*. 2004. No. 5, pp. 48–50. (In Russian).
4. Malinov A.V., Polukhin V.N., Khmelev Yu.V., Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. Increase of accuracy of dosing of weighing hoppers-dosers and elimination of sticking of materials on working surfaces of technological equipment. *Steklo i Keramika*. 2006. No. 11, pp. 21–23. (In Russian).
5. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kochetov E.V., Kuznetsov I.P. Increase of efficiency of use of the mining equipment for heavy engineering when working on moistened sticky rocks. *Tyazheloe Mashinostroenie*. 2012. No. 4, pp. 36–38. (In Russian).
6. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kuznetsov I.P., Kochetov E.V. Efficient operation of process equipment in the factory pelletizing JSC «Mikhailovsky GOK» when working on moist raw materials. *Gornyi Zhurnal*. 2013. No. 12, pp. 71–73. (In Russian).
7. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Borodin A.A. i dr. factory production of bunkers equipped with efficient means of struggle with adhering of materials – PPFП-Astiki. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 54–56. (In Russian).
8. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kuznetsov I.P., Kochetov E.V. Enhancement of efficiency of using mountain-transport and technological equipment of non-ferrous metallurgy enterprises on wetted sticky materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 1–2, pp. 84–87. (In Russian).
9. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Lyapunov A.V., Blyudenev A.P., Gontarenko B.Yu. The use of polymeric materials to eliminate the buildup of wet magnetitic concentrate on work surfaces of equipment on enrichment plant AO «EVRAZ KGOK». *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 59–60. (In Russian).
10. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. To the issue of reliable and efficient application of PPFП-Astiki at equipment operating with damp materials. *Stroitel'nye Materialy*

10. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. К вопросу надежного и эффективного использования ППФП-АСТИКИ на оборудовании, работающем на увлажненных материалах // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 45–48.
11. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кузнецов И.П. Полимерные противоналипающие футеровочные пластины – эффективное средство устранения (уменьшения) налипания увлажненных горных пород // *Золотодобыча*. 2008. № 112. С. 32–35.
12. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кузнецов И.П., Кочетов Е.В., Демин А.А. Полимерные противоналипающие футеровочные пластины – Астики – эффективное решение проблемы устранения налипания увлажненных материалов на рабочие поверхности оборудования. Москва: ООО «Надежда на Ярцевской», 2013. 79 с.
13. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. Уплотнительные устройства из ППФП-Астики приемных бункеров ленточных конвейеров // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 60–62.
14. Кузнецов В.Г., Кочетов Е.В., Кузнецов И.П. Оценка снижения производственных возможностей оборудования из-за налипания грунтов на рабочие поверхности // *Механизация строительства*. 2012. № 3. С. 33–35.
15. Кузнецов В.Г., Кочетов Е.В., Кузнецов И.П. Повышение эффективности использования строительной техники на увлажненных грунтах // *Строительные и дорожные машины*. 2012. № 4. С. 2–4. [Construction Materials]. 2016. No. 8, pp. 45–48. (In Russian).
11. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kuznetsov I.P. Polymer anti-lamination lining plates are an effective means of eliminating (reducing) adherence of moistened rocks. *Zolotodobycha*. 2008. No. 112, pp. 32–35. (In Russian).
12. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kuznetsov I.P. i dr. Polimernye protivonalipayushchie futerovochnye plastyiny – Astiki – effektivnoe reshenie problemy ustraneniya nalipaniya uvlazhnennykh materialov na rabochie poverkhnosti oborudovaniya [Polymer anti-lamination lining plates – Astiki – an effective solution to the problem of eliminating the sticking of moistened materials on the working surfaces of equipment]. Moscow: ООО «Надежда на Yartsevskoi». 2013. 79 p.
13. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. Sealing arrangement made of PPFP-Astiki for receiving hoppers of belt conveyers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 60–62. (In Russian).
14. Kuznetsov V.G., Kochetov E.V., Kuznetsov I.P. Evaluation of the reduction in the production capacity of equipment due to the adhesion of soils to the work surfaces. *Mekhanizatsiya Stroitel'stva*. 2012. No. 3, pp. 33–35. (In Russian).
15. Kuznetsov V.G., Kochetov E.V., Kuznetsov I.P. Increasing the efficiency of the use of construction equipment on wet ground. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 4, pp. 60–62. (In Russian).



КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Одиннадцатая международная специализированная выставка

27 февраля - 1 марта 2018

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 1

Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик (пластик, армированный стекловолокном), углепластик (пластик, армированный углеродным волокном), графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК), искусственный камень, искусственный мрамор, металлокомпозиты, каменнокомпозиты, биокompозиты и т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Инженерные пластики
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Компьютерное моделирование

Специальный раздел выставки: КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ



Параллельно проводится выставка:

ПОЛИУРЕТАНЭКС

www.polyuretaneks.ru

Информационная поддержка:



Дирекция:
Выставочная Компания «Мир-Экспо»
115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507
Тел.: +7 495 938-1620 | E-mail: info@compoite-expo.ru | Сайт: www.compoite-expo.ru

YouTube [youtube.com/user/compoexporussia](https://www.youtube.com/user/compoexporussia) **Twitter** @compoexporus

Организаторы:



УДК 666.3/.7

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, канд. техн. наук, директор (info@inta.ru), С.Г. МАКАРОВ, инженер, начальник отдела, А.М. ВАСЯКИН, ведущий инженер-конструктор

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

Расширение возможностей установок «Каскад»

Предприятие-изготовитель постоянно совершенствует выпускаемую установку «Каскад» и добавляет некоторые опции, улучшающие работу установки. Приведены результаты экспериментов по использованию установки «Каскад» в качестве гранулятора для производства удобрений. Использование специальных решеток и ножей с измененной геометрией рабочей кромки, а также применение переменного, уменьшающегося шага в шнековой части установки с одновременным увеличением мощности привода позволило на базе установки «Каскад» получить новую машину для грануляции сырья – «Каскад-гранулятор».

Ключевые слова: глинопереработка, глиноподготовка, усовершенствование установок «Каскад», механизм удаления каменных включений, подаватель, гранулятор удобрений, гранулирование сырья, борьба с налипанием глины в загрузочной горловине шнека.

Для цитирования: Шлегель И.Ф., Макаров С.Г., Васякин А.М. Расширение возможностей установок «Каскад» // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 47–49.

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

Enhancement of «Kaskad» Units

The enterprise-producer permanently enhances the produced unit «Kaskad» and adds some options improving the operation of the unit. The results of experiments on the use of the «Kaskad» unit as a granulator for producing fertilizers are presented. The use of special grills and knives with a changing geometry of the working edge as well as the use of the variable, reducing step in the screw part of the unit with simultaneous increasing the drive power makes it possible to produce, on the base of the «Kaskad» unit, a new machine for granulation of raw materials – «Kaskad-granulator».

Keywords: clay processing, clay preparation, enhancement of «Kaskad» units, mechanism of removal of rocky inclusions, feeder, granulator of fertilizers, granulation of raw materials, prevention of clay adhesion in loading entry of screw.

For citation: Shlegel I.F., Makarov S.G., Vasyakin A.M. Enhancement of «Kaskad» units. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 47–49. (In Russian).

Установки «Каскад», разработанные в ООО «ИНТА-СТРОЙ» в 2005 г. [1, 2] были встречены специалистами кирпичной промышленности с большим недоверием. Кирпичники, привыкшие к тому, что последние 80 лет не появлялось новых глиноперерабатывающих машин, отказывались верить в то, что «Каскады» способны значительно улучшить качество подготовки сырья, несмотря на наши публикации [3–7].

Однако в последнее время, когда вектор интереса от иностранного оборудования повернулся на 180° к отечественному, стала востребованной серия наших установок «Каскад».

В настоящее время институтом выпускается типоразмерный ряд установок из 18 машин производительностью от 100 кг/ч до 100 т/ч (рис. 1).

«Каскады» постоянно совершенствуются, добавляются новые опции (рис. 2).

Так, в стандартном исполнении камневыведительный канал снабжен заслонкой, которую требуется периодически открывать, чтобы сбросить накопившиеся мелкие камни и крупный песок.

Мы решили автоматизировать этот процесс и сделали устройство для автоматического камнеудаления (поз. 1, рис. 2) [8].

Нож механизма выполнен в виде улитки (рис. 3) и имеет срезающую и спиральную запирающую грани, выполняет две функции: срезание вышедшего из канала материала и запираение канала с медленным открытием. Частоту

вращения ножа и периодичность его включения устанавливают в зависимости от степени загрязнения сырья.

Еще одна опция к установкам «Каскад» – устройство для загрузки сырья – подаватель (поз. 2, рис. 2) [9]. Дело в том, что во всех глиноперерабатывающих машинах, где подача сырья производится на вращающийся шнек, происходит образование «настылей» в загрузочной камере на стенке, противоположной направлению вращения (рис. 4, а). Это особенно заметно на липких глинах и приводит к тому, что постепенно образующиеся комки «настылей» со временем подсыхают и отваливаются на шнек, который, ничего не подозревая, подает эти комки в технологический процесс, дестабилизируя его и приводя к браку изделий.

Некоторые зарубежные фирмы выпускают устройства для загрузки сырья, позволяющие устранить образование «настылей» на различных глиноперерабатывающих машинах. Мы также сделали такое устройство для «Каскадов» большой производительности (рис. 4, б).

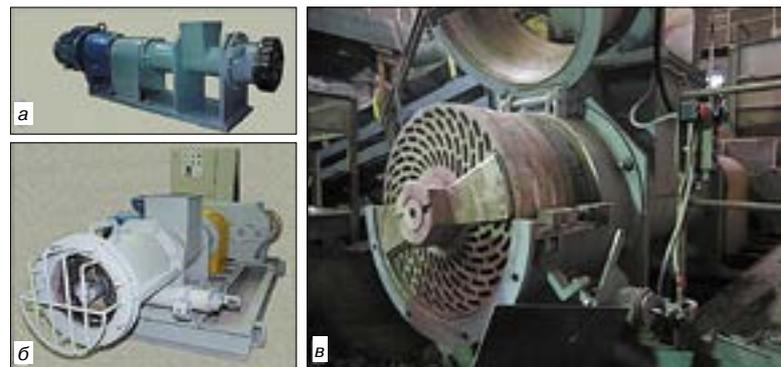


Рис. 1. Установки «Каскад» различной производительности: а – «Каскад-2» – 0,15 т/ч; б – «Каскад-7» – 2 т/ч; в – «Каскад-16» – 50 т/ч

Оборудование для кирпичных заводов

ООО «ТД «Инта-Строй»

644113, г. Омск, ул. 1-я Путевая, д. 100

Тел. (3812) 356-544, 356-545 www.inta.ru

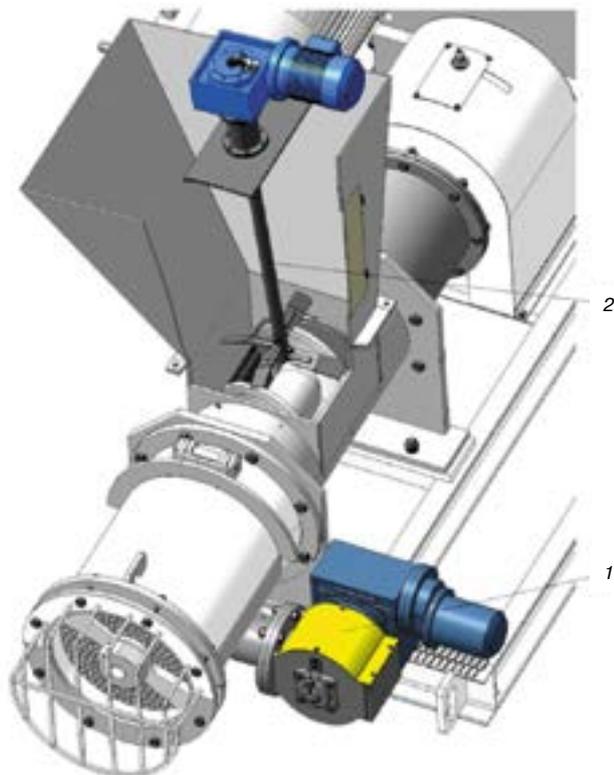


Рис. 2. Новые опции установок «Каскад» большой производительности: 1 – механизм автоматического камнеудаления; 2 – подаватель

Кроме этого, подаватель выполняет задачу предварительного разрыхления и обеспечивает равномерность загрузки материала.

Это устройство может быть использовано для других технологических машин.

Установки «Каскад» приобретают все большую известность в отрасли строительных материалов и используются также в других отраслях, там, где требуется качественное перемешивание материала [10–12].

В процессе эксплуатации установок серии «Каскад» появился опыт и по использованию этих машин в режиме грануляции. В 2016 г. к нам обратилась фирма «Кузбасский бройлер» за помощью в обеспечении оборудованием их новой линии по выпуску гранулированных удобрений из отходов производства. Эти отходы представляют собой смесь опилок и птичьего помета, весьма трудную для грануляции. Поэтому купленные грануляторы оказались неработоспособными, и фирма была вынуждена искать другие пути. Совместно с ООО «Кузбасский бройлер» был проведен ряд экспериментов, и в результате появилась новая машина смеситель-гранулятор «Каскад-10-Агро», в которой изменена геометрия ножей и установлен срезной нож для получения гранул необходимой длины.

При установке в линию гранулированных удобрений «Каскад-10-Агро» показал свою эффективность (рис. 5).

Экспериментальные работы с модернизированной конструкцией «Каскада» показали, что на этой машине можно получать гранулы диаметром до 3 мм. Это позво-

Список литературы

1. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Карабут Л.А., Пашкова Е.Б., Спитанов В.В., Астафьев В.А. Установка «Каскад» для кирпичной промышленности // *Строительные материалы*. 2005. № 2. С. 20–22.
2. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Астафьев В.А., Карабут Л.А. Промышленная установка «Каскад-13» для глиноподготовки // *Строительные материалы*. 2005. № 10. С. 30–31.

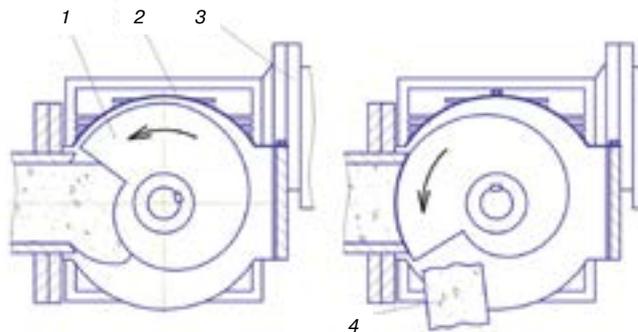


Рис. 3. Устройство механизма камнеудаления: 1 – нож; 2 – корпус; 3 – мотор-редуктор; 4 – каменные отходы

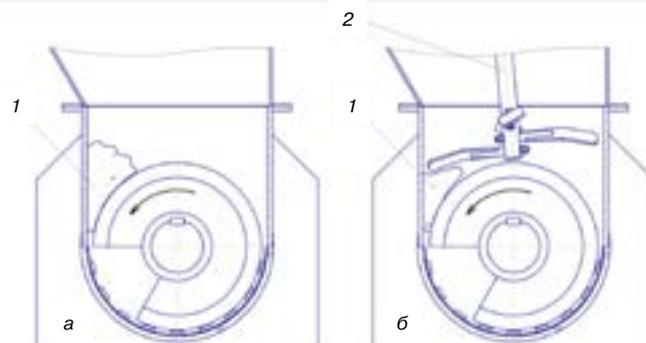


Рис. 4. Схема работы подавателя: а – образование «настылей»; б – устройство для устранения «настылей»; 1 – настыль; 2 – вал подавателя



Рис. 5. «Каскад-10-Агро» в линии производства удобрений, г. Новокузнецк

лит использовать ее для получения керамзита мелких фракций, который практически отсутствует на рынке.

О необходимости освоения производства мелкого керамзита много говорится в литературе [13]. Однако выпуск его из-за трудности гранулирования практически не осуществляется.

Железобетонные заводы, изготавливающие стеновые керамзитобетонные панели, при использовании керамзита мелких фракций могут повысить тепловое сопротивление и качество панелей.

По всем параметрам такое производство является перспективным направлением в расширении номенклатуры выпуска керамзита.

Список литературы

1. Shlegel I.F., Shaevich G.Ja., Karabut L.A., Pashkova E.B., Spitanov V.V., Astafjev V.A. «Kaskad» for the brick industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 2, pp. 20–22. (In Russian)
2. Shlegel I.F., Shaevich G.Ja., Astafjev V.A., Karabut L.A. Industrial «Kaskade-13» for clay mixing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 10, pp. 30–31. (In Russian).

3. Патент РФ 2297324. *Устройство для измельчения и перемешивания пластичных материалов, преимущественно глины* / Шлегель И.Ф. Заявл. 24.11.2004. Оpubл. 20.04.2007. Бюл. № 11.
4. Патент РФ 2384401. *Устройство для измельчения и перемешивания пластичных материалов, преимущественно глины* / Шлегель И.Ф. Заявл. 06.11.2008. Оpubл. 20.03.2010. Бюл. № 8.
5. Патент РФ 2411122. *Устройство для измельчения и перемешивания пластичных материалов, преимущественно глины* / Шлегель И.Ф. Заявл. 06.11.2008. Оpubл. 10.02.2011. Бюл. № 4.
6. Патент РФ 2435664. *Устройство для измельчения пластичных материалов* / Шлегель И.Ф. Заявл. 15.03.2010. Оpubл. 10.12.2011. Бюл. № 34.
7. Патент РФ 2548879. *Режущий блок для устройства измельчения пластичных материалов* / Шлегель И.Ф. Заявл. 25.10.2013. Оpubл. 20.04.2015. Бюл. № 11.
8. Патент РФ 2621821. *Устройство для удаления каменистых включений* / Шлегель И.Ф. Заявл. 17.05.2016. Оpubл. 07.06.2017. Бюл. № 16.
9. Патент РФ 2619702. *Механизм подачи материала в шнековые устройства* / Шлегель И.Ф., Рукавицын А.В.; заявитель и патентообладатель ООО «ИНТА-СТРОЙ». Заявл. 31.05.2016. Оpubл. 17.05.2017. Бюл. № 14.
10. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Носков А.В., Астафьев В.А., Андрианов А.В., Молодкина Л.Н. Новое поколение глиноперерабатывающих установок «Каскад» // *Строительные материалы*. 2008. № 4. С. 34–35.
11. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Гудалов О.В. Перспективы использования установок серии «Каскад» в технологии производства огнеупоров // *Новые огнеупоры*. 2008. № 12. С. 64–66.
12. Шлегель И.Ф., Рукавицын А.В., Андрианов А.В. Использование установок серии «Каскад» в технологии полусухого прессования кирпича // *Строительные материалы*. 2010. № 4. С. 58–59.
13. Горин В.М., Токарева С.А., Кабанова М.К. Состояние и перспективы производства и применения керамзита и керамзитобетона в строительном комплексе России // *Строительные материалы*. 2005. № 8. С. 26–27.
3. Patent RF 2297324. *Ustroistvo dlya izmelcheniya I peremeshivaniya plastichnykh materialov preimushchestvenno gliny* [The device for chopping and mixing of ductile materials, predominantly clay]. Shlegel' I.F. Declared 24.11.2004. Published 20.04.2007. Bulletin No. 11. (In Russian).
4. Patent RF 2384401. *Ustroistvo dlya izmelcheniya I peremeshivaniya plastichnykh materialov preimushchestvenno gliny* [The device for chopping and mixing of ductile materials, predominantly clay]. Shlegel' I.F. Declared 06.11.2008. Published 20.03.2010. Bulletin No. 8. (In Russian).
5. Patent RF 2411122. *Ustroistvo dlya izmelcheniya I peremeshivaniya plastichnykh materialov preimushchestvenno gliny* [The device for chopping and mixing of ductile materials, predominantly clay]. Shlegel' I.F. Declared 06.11.2008. Published 10.02.2011. Bulletin No. 4. (In Russian).
6. Patent RF 2435664. *Ustroistvo dlya izmelcheniya plastichnykh materialov* [The device for mixing of ductile materials]. Shlegel' I.F. Declared 15.03.2010. Published 10.12.2011. Bulletin No. 34. (In Russian).
7. Patent RF 2548879 *Rezhushchij blok dlya ustrojstva izmelcheniya plastichnykh materialov* [The cutter grinding device for plastic materials]. Shlegel' I.F. Declared 20.04.2015. Published 10.12.2011. Bulletin No. 11. (In Russian).
8. Patent RF 2621821. *Ustrojstvo dlya udaleniya kamenistykh vkluchenij* [The device for removing stony inclusions]. Shlegel' I.F. Declared 17.05.2016. Published 07.06.2017. Bulletin No. 16. (In Russian).
9. Patent RF 2619702. *Mehanizm podachi materiala v shnekovye ustrojstva* [The material feeder in the screw device]. Shlegel' I.F., Rukavicin A.V., Applicant and patentee LLC INTA-STROY Declared 31.05.2016. Published 17.05.2017. Bulletin No. 14. (In Russian).
10. Shlegel I.F., Shaevich G.Ja., Noskov A.V., Astafjev V.A., Andrianov A.V., Molodkina L.N. The new generation of clay processing «Kaskad». *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 4, pp. 34–35. (In Russian).
11. Shlegel I.F., Shaevich G.Ja., Gudalov O.V. Prospects for the use of «Kaskad» of in the technology of production of refractories. *Novye ogneupory*. 2008. No. 12, pp. 64–66.
12. Shlegel I.F., Rukavicin A.V., Andrianov A.V. The use of «Kaskad» in the technology of semi-dry pressing bricks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 4, pp. 58–59. (In Russian).
13. Gorin V.M., Tokareva S.A., Kabanova M.K. Status and prospect of production and application of expanded clay and expanded clay concrete in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 8, pp. 26–27. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ

Утвержден стандарт, позволяющий вывести отечественные деревянные конструкции на европейский рынок

Утвержден новый ГОСТ Р 57790–2017 «Конструкции деревянные несущие. Методы испытаний на прочность и деформативность», требования которого станут основой для обоснования технических требований к конструкциям. Введение в действие стандарта будет способствовать переводу деревянных конструкций на качественно иной уровень использования. Документ прошел экспертизу подведомственного Минстрою России ФАУ «ФЦС» и ТК 465 «Строительство».

Целью ГОСТ Р 57790–2017 является установление требований к деревянным конструкциям, воспринимающим при эксплуатации статические нагрузки, а также общих требований к методам их кратковременных испытаний на прочность и деформативность.

Регламентированные настоящим стандартом методы контрольных испытаний могут быть применены как для типовых, так и для новых проектных решений конструкций или их элементов при экспериментальной проверке, а также для контрольных испытаний ответственных конструкций с целью проверки правильности расчетных предположений, технологичности и качества их изготовления.

Стандарт должен применяться лабораториями, осуществляющими контрольные статические испытания конструкций нагружением, а также проектными организациями, разрабатывающими проектную документацию, в которой предусматриваются такие испытания.

Утверждение настоящего стандарта создает предпосылки выхода отечественных деревянных конструкций на европейский рынок.

Первая редакция проекта стандарта была представлена на сайте ЦНИИСКА и разослана в организации, работающие в смежных с регламентируемыми настоящим проектом стандарта областях: заводы, выпускающие деревянные конструкции, высшие учебные заведения с кафедрами деревянных конструкций, проектные организации по профилю деревянных конструкций и др.

По тексту стандарта были получены замечания, в том числе по оценке несущей способности, которые были рассмотрены и учтены при разработке итоговой версии документа.

По материалам Минстрою Российской Федерации

УДК 691.175

И.А. СТАРОВОЙТОВА¹, канд. техн. наук (irina-starovoitova@yandex.ru); А.Н. СЕМЁНОВ², инженер, Е.С. ЗЫКОВА², инженер; В.Г. ХОЗИН¹, д-р техн. наук, А.М. СУЛЕЙМАНОВ¹, д-р техн. наук

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

² ООО «Научно-производственная фирма «Рекон» (420095, Республика Татарстан, Технополис «Химград», ул. Восстания, 100, зд. 7)

Модифицированные клеевые связующие для систем внешнего армирования строительных конструкций.

Часть 1. Требования к клеям. Технологические характеристики

Дана общая характеристика технологии усиления строительных конструкций системами внешнего армирования с применением полимерных композиционных материалов. Приведены требования нормативной документации к клеевым связующим. Модификация эпоксидной смолы и оптимизация состава смесового отвердителя позволили разработать составы клеев, технологичных в использовании при устройстве систем внешнего армирования. Обнаружен эффект снижения вязкости эпоксидных смол и клеев при введении в состав однослойных и многослойных УНТ. Проведена опытно-промышленная апробация разработанных составов клеевых связующих в объемах приготовления 50–100 кг, подтверждена их технологичность.

Ключевые слова: системы внешнего армирования, усиление строительных конструкций, клеевые связующие, эпоксидные составы, модификация.

Для цитирования: Старовойтова И.А., Семёнов А.Н., Зыкова Е.С., Хозин В.Г., Сулейманов А.М. Модифицированные клеевые связующие для систем внешнего армирования строительных конструкций. Часть 1. Требования к клеям. Технологические характеристики // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 50–54.

I.A. STAROVJOITOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (irina-starovoitova@yandex.ru); A.N. SEMJONOV², Engineer, E.S. ZYKOVA², Engineer; V.G. HOZIN¹, Doctor of Sciences (Engineering), A.M. SULEJMANOV¹, Doctor of Sciences (Engineering)

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

² The Research and Development Company «Rekon», ООО (Build. 7, 100, Vosstaniya Street, Technopolis «Himgrad», 420095, Republic of Tatarstan, Russian Federation)

Modified Glue Binders for Systems of External Reinforcement of Building Structures Part 1. Requirements for Glues. Technological Characteristics

A general characteristic of the technology for strengthening building structures by the systems of external reinforcement with the use of polymer composite materials is presented. Requirements of the normative documentation for glue binders are given. Modification of epoxy resin and optimization of the composition of mixed hardener made it possible to develop compositions of glues, technological for using when making the external reinforcement systems. The effect of reducing the viscosity of epoxy resins, when introducing in compositions of the single-layer and multi-layer carbon nanotubes, is revealed. Pilot tests of the developed compositions of glue binders in preparation volumes of 50–100 kg were conducted; their technological effectiveness was confirmed.

Keywords: external reinforcement systems, strengthening of building structures, glue binders, epoxy resins, modification.

For citation: Starovojtova I.A., Semjonov A.N., Zykova E.S., Hozin V.G., Sulejmanov A.M. Modified glue binders for systems of external reinforcement of building structures. Part 1. Requirements for glues. Technological characteristics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 50–54. (In Russian).

В процессе эксплуатации промышленных и гражданских зданий, транспортных сооружений в результате комплексного воздействия механических нагрузок и агрессивных сред их конструкции постепенно разрушаются и утрачивают часть несущей способности и внешний вид. Для восстановления эксплуатационных свойств конструкций наряду с применением традиционных способов и материалов для ремонта и усиления (наращивание сечений, изменение расчетных схем, применение стальных обоев и др.) большое внимание уделяется поиску и разработке новых конструктивных решений и материалов, которые по эффективности превосходят известные способы усиления и ремонта. В последние годы наблюдается настоящий бум применения полимерных композитов с углеродными и стеклянными волокнами, особенно в системах внешнего армирования строительных конструкций (СВА).

СВА позволяют в короткие сроки и с минимальными трудозатратами значительно увеличить срок службы, а также восстановить несущую способность строительных конструкций зданий и сооружений. Существует большое количество методов восстановления несущей способности и ремонта конструкций [1, 2], которые можно разделить на следующие:

- без разгрузки конструкции – с изменением и без изменения расчетной схемы;
- с разгрузкой конструкции – способы усиления при полной разгрузке с заменой поврежденной конструкции или ее исключением из рабочей схемы;
- с частичной разгрузкой конструкции.

Чаще всего СВА используют для ремонта изгибаемых (плиты, балки, ригели и др.) и сжатых элементов стальных конструкций, железобетонных колонн, а также при усилении стен, простенков кирпичной кладки и др.

Согласно ГОСТ 33369–2015 «Реактопласты, армированные волокном, для усиления и восстановления строительных конструкций», система внешнего армирования из полимерных композитов состоит из: клеевого слоя, образованного отвержденным термореактивным адгезивом; однослойного или многослойного полимерного композита; защитного покрытия, обеспечивающего стойкость к воздействию повышенной температуры, открытого пламени и УФ-излучения.

Классификация систем внешнего армирования (СВА) строительных конструкций по ГОСТ 33369–2015 представлена на рис. 1.

При устройстве СВА в качестве армирующего элемента наибольшее применение нашли углеродные во-



Рис. 1. Классификация систем внешнего армирования по ГОСТ 333692–2015

Таблица 1

Характеристики клеевых связующих, предназначенных для пропитки и крепления тканей, холстов и лент при устройстве СВА

Наименование показателей свойств клеевых связующих для устройства СВА	Нормативный документ	Значения показателя
1. Технологические		
1.1. Вязкость при температуре: +10°C +23°C	–	2000–10000 МПа·с* 700–6000 МПа·с*
1.2. Время жизнеспособности	СП 164.1325800.2014 ГОСТ 33369	Заявленное значение ±20% Не менее 15–20 мин
1.3. Время отверждения	–	+10°C ~ 7 дней +23°C ~ 5 дней +35°C ~ 2 дней
1.4. Усадка	СП 164.1325800.2014	Не более 0,1%
1.5. Время открытой выдержки	СП 164.1325800.2014	Заявленное значение производителем ±20%
2. Эксплуатационно-технические, в том числе необходимые для расчета СВА		
2.1. Модуль упругости при сжатии (модуль нормальной упругости)	СП 164.1325800.2014 ГОСТ 33369	Не менее 2000 МПа
2.2. Прочность при сдвиге (к стали)	СП 164.1325800.2014, ГОСТ 33369	Не менее 10 МПа 14–20 МПа* (через 7 сут)
2.3. Прочность при отрыве (от стали)	ГОСТ 33369	–
2.4. Прочность при сжатии	ГОСТ 33369	–
2.5. Прочность при растяжении	ГОСТ 33369	24–30 МПа* (через 7 сут)
2.6. Температура стеклования	СП 164.1325800.2014	Не менее 40°C
2.7. Коэффициент линейного теплового расширения	СП 164.1325800.2014	Не менее $10 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$
2.8. Плотность в отвержденном состоянии	ГОСТ 33369	1,3–1,7 г/см ³ *
* Указанный диапазон соответствует средним значениям приведенных показателей для клеев, представленных на российском рынке СВА.		

локна (УВ) [3–8], отличающиеся от стеклянных, базальтовых и арамидных модулем упругости. Армирующие элементы могут быть представлены в виде тканей, лент, композитных ламелей. Для клеевого связующего в основном используются составы на основе эпоксидных смол, обладающие высокими физико-механическими показателями. Высоко-прочные армирующие материалы (стекло- и углеткани, ленты и композитные ламинаты) закрепляют на поверхности усиливаемой конструкции с помощью клеевых компаундов.

СВА на основе углетканей можно разделить на [1]:

– системы, формируемые непосредственно на строительном объекте при проведении работ: при этом используют ткани, пропитанные эпоксидными связующими «мокрым» способом;

– системы, изготовленные на производстве: углеткани пропитывают эпоксидными смолами, далее из них формируют в несколько слоев ламинат, который отверждают в заводских условиях, а затем используют при проведении ремонтных работ. Для крепления к изделю или элементу конструкции ламината используют тиксотропные клеевые связующие, которые не должны стекать при нанесении на вертикальную поверхность слоем толщиной 3–5 мм при температуре +35°C.

До недавнего времени на российском рынке доминировали импортные (Германия, Швейцария, Италия) армирующие материалы и клеевые связующие для устройства систем внешнего армирования строительных конструкций. Однако уже несколько лет на рынке СВА присутствуют армирующие материалы на основе углеродного волокна производства ООО «Аргон» (г. Балаково, Саратовская область) и ООО «Ала-буга-Волокно» (ОЭЗ «Алабуга», Республика Татарстан).

Целью данной работы является разработка клеевых связующих на эпоксидной основе и методов их модификации, направленных на обеспечение технологичности составов при использовании в системах внешнего армирования и повышении физико-механических показателей, в первую очередь адгезионных.

В соответствии с ГОСТ 33369–2015 (введен в действие с 1 января 2017 г.) «Реактопласты, армированные волокном, для усиления и восстановления строительных конструкций. Общие технические условия» и Сводом правил 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования» (введен в действие с 1 сентября 2014 г.) к клеевым связующим предъявляются требования, приведенные в табл. 1. Следует отметить, что клеевое соединение воспринимает сдвиговые и «отрывающие» нагрузки. Действующая нормативная документация также содержит требования к расчету и проектированию систем усиления или восстановления несущей способности композитными материалами бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений.

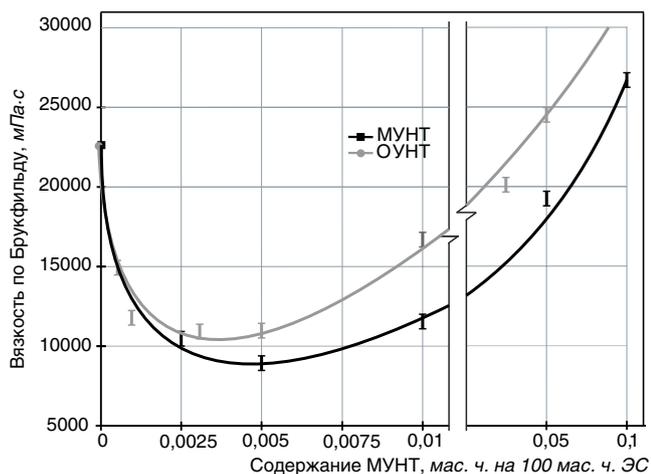


Рис. 2. Зависимость вязкости эпоксидной смолы по Брукфильду от концентрации УНТ

Достаточно широкий диапазон вязкости клеевых связующих, например при +23°C – от 700 до 6000 мПа·с, обусловлен разной плотностью применяемых для усиления тканей и холстов. Для армирующих наполнителей с повышенной поверхностной плотностью (300–600 г/м²) обычно применяют клеи с вязкостью не более 3000–4000 мПа·с, а для армирующих наполнителей с поверхностной плотностью до 300 г/м² можно применять композиции с большей вязкостью.

Время жизнеспособности клея по требованиям ГОСТ 33369 должно обеспечивать возможность его технологического использования не менее 15–20 мин при температуре проведения работ, которая в летний период может достигать 30–35°C. Соответственно, время жизнеспособности клеевого связующего при температуре около 23–25°C должно быть не менее 40–50 мин.

В работе в качестве основы двухкомпонентных клеевых связующих были использованы эпоксидные смолы на основе бисфенола А (с эпоксидным эквивалентом от 182 до 225 г-экв), модифицированные активным разбавителем и пластификатором, а в качестве отвердителя – смеси алифатических и ароматических аминов.

В качестве наномодифицирующих добавок, вводимых в основу связующего, были исследованы мастер-батчи (концентраты) на основе многослойных (МУНТ) и однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ), представленных для исследований компаниями «Arkema» (Франция) и «Оксиал» (г. Новосибирск, Россия). Основная цель введения наночастиц – повышение адгезионных характеристик клеевых связующих.

Для однородного распределения наночастиц готовили пастообразный концентрат УНТ в эпоксидной смоле, содержащий 5–6 мас. % МУНТ или 1–2 мас. % ОУНТ, которые далее разбавляли до рабочих концентраций постадийно. Смешивание осуществляли на лабораторном диссольтере АЕ04-М1 производства VMA Getzmann (Германия) при окружной скорости вращения фрезы ~ 20–30 м/с. Получены концентрационные зависимости (рис. 2) вязкости модифицированной эпоксидной смолы по Брукфильду при температуре +25°C при введении двух типов нанотрубок. На рис. 2 видно, что кривые вязкости имеют выраженные минимумы (более чем в два раза) в случае однослойных и многослойных УНТ при концентрации 0,0025–0,005% от массы смолы, что согласуется с литературными данными [9, 10], авторы которых обнаружили эффект снижения вязкости полиэфирной смолы до 1,5 раза при введении в нее УНТ в количестве 0,005–0,02 мас. %.

Выявлена более длительная стабильность концентратов многослойных УНТ в эпоксидной смоле по

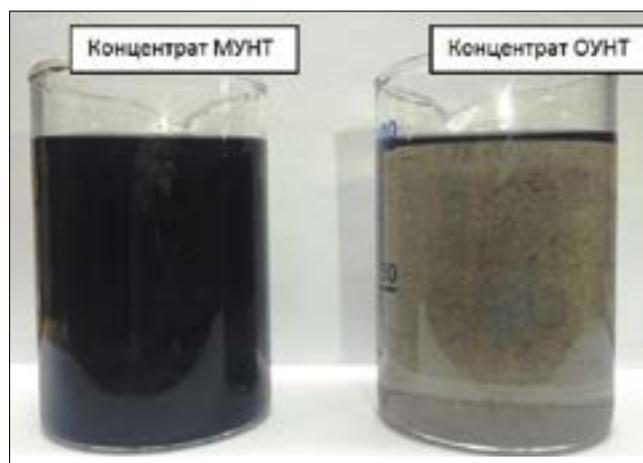


Рис. 3. Фото образцов концентратов УНТ в эпоксидной смоле (слева – концентрат 0,003% МУНТ, справа – концентрат 0,0003% ОУНТ)

сравнению с однослойными. Так, если концентраты, содержащие 0,005–0,01 мас. % МУНТ, остаются достаточно стабильными в течение 5–6 мес., то концентраты ОУНТ (0,0001–0,001%-ные) стабильны и технологически применимы только в первые 5–7 сут после приготовления.

На представленных на рис. 3 фото концентратов УНТ в эпоксидной смоле видна агломерация ОУНТ в ее объеме, в то время как МУНТ распределены однородно.

В связи с более высокой стабильностью суспензий МУНТ в эпоксидной смоле, а также, меньшей стоимостью (даже с учетом больших в разы оптимальных концентраций введения) для дальнейших исследований клеевых связующих в качестве наномодификатора были выбраны многослойные УНТ. Следует отметить, что стабильность концентратов МУНТ в эпоксидной смоле снижается при увеличении их концентрации свыше 0,05 мас. %.

На втором этапе экспериментальных исследований была проведена оптимизация состава отверждающей системы. Для обеспечения достаточного времени жизнеспособности жидких клеев для применения при устройстве СВА, возможности отверждения без термообработки, достижения высоких физико-механических показателей и снижения хрупкости в качестве компонента Б были рассмотрены смеси алифатического амина (ТЭТА) с ароматическими аминами (АА).

В табл. 2 показана жизнеспособность клеевой композиции в объеме 1 кг, вязкость и наличие экзотермического эффекта в зависимости от соотношения алифатического и ароматических аминов в отвердителе. Увеличение доли алифатического амина до 70–100% (составы 1, 2 и 2У) закономерно сопровождается сильным экзотермическим эффектом с последующим «вскипанием» композиции. Поэтому данные составы технологически неприменимы при устройстве систем внешнего армирования, где необходимо обеспечить время жизнеспособности не менее 40–50 мин и исключить явный экзотермический эффект в объеме промышленного смешивания компонентов (от 2–3 до 10–20 кг). Состав 5, приготовленный с использованием в качестве отвердителя 100% смеси ароматических аминов, отличается медленным отверждением (ароматические амины имеют низкую реакционную способность из-за меньшей основности и малой подвижности фенольных звеньев) и повышенной эластичностью отвержденного клея, что также неприемлемо при устройстве СВА.

Из всех изученных составов наиболее пригодными в качестве клеевых связующих при устройстве СВА оказались составы 3 и 4.

Характеристики клеевых композиций в зависимости от состава отвердителя (компонента Б)

Наименование показателя	Значение показателя при соотношении алифатического и ароматического аминов в отвердителе (ТЭТА:АА):							
	1:0	2:1	2:1	1:1	1:1	1:2	1:2	0:1
	Состав 1	Состав 2	Состав 2У	Состав 3	Состав 3У	Состав 4	Состав 4У	Состав 5
Время жизнеспособности при (20±2) °С, мин	15–20	30–35	35–45	50–60	65–75	80–100	110–125	>180
Наличие эффекта «вскипания» смеси	Сильный разогрев с «вскипанием» композиции в объеме			Умеренный разогрев без вскипания				Слабый разогрев
Вязкость, мПа·с	2550	3100	2850	4350	3300	4900	3850	5100

При введении МУНТ (составы 2У, 3У и 4У) жизнеспособность увеличивается. Для состава 2 она составила 30–35 мин, при введении МУНТ возросла до 35–45 мин, для составов 3 и 4 время увеличилось с 50–60 и 80–100 мин до 65–75 и 110–125 мин соответственно.

Жизнеспособность клеевых композиций оценивалась по изменению вязкости с течением времени в объеме около 1 кг (рис. 4). Снижение вязкости клеевых связующих уже через 10–20 мин после приготовления в основном обусловлено началом протекания экзотермических реакций и разогревом композиций. Резкий рост вязкости композиций и последующая потеря текучести свидетельствуют о начале процесса гелеобразования. Следует отметить, что измеряемое время жизнеспособности в объеме с начала смешивания компонентов определяет время возможного технологического использования связующего для грунтования места усиления бетонной конструкции (если не предусмотрен специальный грунтовочный состав), пропитки армирующего наполнителя и его крепления на ремонтируемую поверхность, тогда как в относительно тонком слое непосредственно на конструкции время гелеобразования клея существенно увеличивается относительно значений, определенных по зависимостям на рис. 4.

В дальнейшем составы 3 и 4 были использованы в качестве базовых для наномодифицирования клеевых связующих и исследования комплекса их физико-механических и других характеристик.

Вязкость по Брукфильду разработанных эпоксидных связующих холодного отверждения после приготовления составляет 3000–5000 мПа·с, время жизнеспособности – не менее 50 мин, что с технологической точки зрения позволяет рекомендовать их в качестве клея для устройства систем внешнего армирования строительных конструкций. Введение в состав МУНТ в количе-

Список литературы

1. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. М.: Стройиздат, 2007. 179 с.
2. Голышев А.Б., Ткаченко И.Н. Проектирование усиления несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений. Киев: Логос, 2001. 172 с.
3. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Татиев Д.А., Чесноков Г.В., Покулаев К.В. Усиление металлических конструкций фиброармированными пластиками. Часть 1. Состояние проблемы // *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2014. № 3 (22). С. 117.
4. Неволин Д.Г., Смердов Д.Н., Смердов М.Н. Усиление железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения полимерными композиционными материалами. Екатеринбург: УрГУПС, 2017. 151 с.
5. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления же-

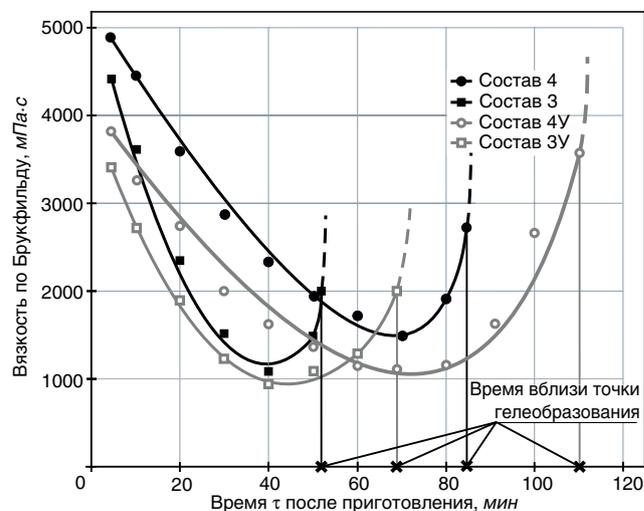


Рис. 4. Динамика изменения вязкости клеевого связующего с течением времени

стве до 0,05 м. ч. на 100 м. ч. смолы повышает технологичность композиций, что проявляется в снижении вязкости и увеличении времени жизнеспособности в среднем на 10–25 мин (табл. 2, рис. 4).

В компании ООО «НПФ «Рекон» проведена опытно-пробная апробация составов 3 и 4 клеевых связующих (промаркированных РекАрм-Б и РекАрм-М соответственно) и подтверждена возможность их изготовления в количестве 50 кг и более на промышленных диссольтерах SC-122 и SC-100 производства VMA Getzmann (Германия) и соответствие полученных технологических параметров (вязкости, времени жизнеспособности) данным, приведенным в табл. 2.

References

1. Shilin A.A., Pshenichnyi V.A., Kartuzov D.V. Vneshnee armirovanie zhelezobetonnykh konstruksii kompozitsionnymi materialami [External reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials]. Moscow: Stroyizdat. 2007. 179 p.
2. Golyshev A.B., Tkachenko I.N. Proektirovanie usilenii nesushchikh zhelezobetonnykh konstruksii proizvodstvennykh zdaniy i sooruzhenii [Engineering of reinforcements for reinforced concrete structures of industrial buildings and structures]. Kiev: Logos. 2001. 172 p.
3. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Tatiev D.A., Chesnokov G.V., Pokulaev K.V. Strengthening of metal structures by fibro-reinforced plastics: Part 1. The state of the problem. *Internet-zhurnal Naukovedenie*. 2014. No. 3 (22), pp. 117–144. (In Russian).
4. Nevolin D.G., Smerdov D.N., Smerdov M.N. Usilenie zhelezobetonnykh konstruksij zdaniy i sooruzhenij razlichnogo naznachenija polimernymi kompozitsionnymi materialami [Strengthening of reinforced concrete structures of

- лезобетонных конструкций композитами: 1. Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций // *Интернет-журнал «Наукоедение»*. 2012. № 4. С. 1–22.
6. Халтурин Ю.В., Кузовенко А.В. Использование композитных материалов при реконструкции зданий и сооружений // *Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова*. 2014. № 1–2. С. 51–54.
 7. Гапонов В.В. Усиление изгибаемых железобетонных конструкций подземных сооружений композиционными материалами // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2011. № 12. С. 238–246.
 8. Вагнер Е.С. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами // *Достижения вузовской науки*. 2015. № 15. С. 119–123.
 9. Степанищев Н.А., Тарасов В.А. Упрочнение полиэфирной матрицы углеродными нанотрубками // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. Спец. вып. «Наноинженерия»*. 2010. С. 53–65.
 10. Степанищев Н.А. Технология ультразвукового модифицирования углеродными нанотрубками полиэфирного связующего для изготовления композитных конструкций. Дис. ... канд. техн. наук. Москва. 2013. 117 с.
- buildings and structures for various purposes with polymeric composite materials]. Ekaterinburg: UrGUPS. 2017. 151 p.
 5. Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.I., Zinov'ev V.S., Umirov A.D. Questions of reinforcement of reinforced concrete structures by composites: 1. Experimental studies of the features of strengthening by composites of bent reinforced concrete structures. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2012. No. 4, pp. 1–22. (In Russian).
 6. Halturin Ju. V., Kuzovenko A. V. Use of composite materials in the reconstruction of buildings and structures. *Vestnik AltGTU im. I.I. Polzunova*. 2014. No. 1–2, pp. 51–54. (In Russian).
 7. Gaponov V.V. Strengthening of bent ferro-concrete structures of underground constructions by composite materials. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. 2011. No. 12, pp. 238–246. (In Russian).
 8. Wagner E.S. Strengthening of reinforced concrete structures with composite materials. *Dostizhenija vuzovskoj nauki*. 2015. No. 15, pp. 119–123. (In Russian).
 9. Stepanishchev N.A., Tarasov V.A. Strengthening the polyester matrix with carbon nanotubes. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. «Priborostroenie»*. Spts. vipusk «Nanoinzheneriya». 2010. pp. 53–65. (In Russian).
 10. Stepanishchev N.A. Technology of ultrasonic modification with carbon nanotubes of polyester binder for the manufacture of composite structures. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2013. 117 p. (In Russian).



V международная конференция «РОССИЙСКИЕ ДНИ ССС – МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ СИМПОЗИУМ ПО ССС»

г. Москва

30 января 2018 г.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

Особое внимание на РОССИЙСКИХ ДНЯХ ССС будет уделено современным технологическим решениям в производстве ССС, применению инновационных материалов строительной химии, эффективности строительства, энергосбережению, экологическим аспектам. Темы будут охватывать самые последние разработки, касающиеся ССС, принимая во внимание:

1. Основные тенденции в производстве ССС в России и в мире;
2. Интеграцию российских технологий на мировом уровне;
3. Строительный рынок в России и мировые тенденции развития;
4. Гармонизацию нормативных требований и унификацию методов испытаний;
5. Пути расширения рынка ССС;
6. Образовательные программы по технологиям ССС для российских ВУЗов (инженеров, консультантов и разработчиков);
7. Энергосбережение, воздействие на окружающую среду и преимущество рационального строительства с использованием ССС.

ОРГАНИЗАТОРЫ:

Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)
Международное сообщество ССС (Drymix.info)
Российская гипсовая Ассоциация (РГА)
Рекламно-издательское агентство «КВИНТЕК»

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

Комитета по науке и инновациям Российского союза строителей
Союза производителей сухих строительных смесей (СПССС)
Технологической платформы «Строительство и архитектура»

Материалы докладов для конференции принимаются до 15 декабря 2017 г.

Информационная поддержка – журнал «Строительные материалы»®



Москва, Ярославское шоссе, 26, МГСУ, e-mail: msuslova@baltimix.ru

УДК 691.535

М.А. АВДУШЕВА, инженер (m.avdusheva@yandex.ru),
А.Л. НЕВЗОРОВ, д-р техн. наук (a.l.nevzorov@yandex.ru)

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

Влияние магнетита на электропроводность растворной смеси

Представлены результаты исследований влияния добавки магнетита на электрическую проводимость растворной смеси и прочностные характеристики цементного раствора после твердения. Исследования выполнялись при включении в состав смеси порошка магнетита различной дисперсности. В качестве первой добавки применялись частицы магнетита размером менее 0,1 мм. Второй добавкой служил тонкодисперсный порошок с размером частиц 258 ± 74 нм, полученный в результате измельчения магнетита на планетарной шаровой мельнице. Измерения электрической проводимости растворной смеси выполнялись при частоте тока от 25 Гц до 1 кГц. Введение в состав растворной смеси порошка магнетита в количестве от 1 до 20% от массы цемента увеличило ее электрическую проводимость, в частности при частоте тока 50 Гц на 8–70%, а при частоте 120 Гц – на 25–100%. Прирост предела прочности при изгибе у образцов с добавкой 3% порошка магнетита составил 18,5%, при сжатии – 30%. Введение такого же количества тонкодисперсного магнетита привело к повышению прочности на изгиб до 40%, а на сжатие – до 20%.

Ключевые слова: цементный раствор, магнетит, модифицирующие добавки, тонкодисперсный порошок, электропроводность.

Для цитирования: Авдусева М.А., Невзоров А.Л. Влияние магнетита на электропроводность растворной смеси // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 55–58.

M.A. AVDUSHEVA, Engineer (m.avdusheva@yandex.ru), A.L. NEVZOROV, Doctor of Sciences (Engineering) (a.l.nevzorov@yandex.ru)
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (17, Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation)

Influence of Magnetite on Electrical Conductivity of Mortar Mix

Results of the study of influence of a magnetite additive on the electric conductivity of mortar mix and strength characteristics of cement mortar after hardening are presented. The research was conducted when the magnetite powder of different dispersion was included in the mortar composition. Particles of magnetite of the size smaller than 0.1 mm were used as the first additive. The fine powder with the size of particles of 258 ± 74 nm, obtained as a result of grinding the magnetite at the planetary ball mill, served as the second additive. Measuring the electrical conductivity of the mortar mix was carried out at the current frequency of 25 Hz – 1 kHz. Introduction of the magnetite powder in an amount of 1–20% of the cement mass in the composition of the mortar mix improves its electric conductivity, in particular, the current frequency of 50 Hz by 8–70%, at the current frequency of 120 Hz by 25–100%. The increase in the flexural strength of samples with addition of 3% of magnetite powder is 18.5%, when compressing – 30%. The introduction of the same amount of finely dispersed magnetite has led to increasing the flexural strength up to by 40%, compressive strength – up to by 20%.

Keywords: cement mortar, magnetite, modifying additives, finely dispersed powder, electric conductivity.

For citation: Avdusheva M.A., Nevzorov A.L. Influence of magnetite on electrical conductivity of mortar mix. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 55–58. (In Russian).

Конструктивные элементы зданий и подземных сооружений, изготовленные из бетонов и цементных растворов с повышенной электропроводностью, могут выполнять дополнительные функции, например экрана от электромагнитных волн, нагревательного элемента, заземления, молнезащиты и т. п. [1]. При их изготовлении применяют порошки графита, стали, оксидов железа различной дисперсности [2, 3].

Растворные или бетонные смеси с заданной электропроводностью необходимы, например, в фундаментостроении при устройстве буронабивных свай с уширениями, изготавливаемыми по разрядно-импульсной технологии, или для организации электропрогрева набирающих прочность монолитных подземных конструкций в вечномёрзлом грунте [4].

Весьма перспективными, по мнению ряда авторов, являются бетоны с добавкой магнетита, в том числе в виде тонкодисперсных порошков. Так, в частности в конструкциях реакторов, они обеспечивают отвод тепла и защиту от излучения [5–7].

По данным различных исследований, добавка порошка магнетита приводит к повышению прочности цементных композитов или по крайней мере не снижает ее [7, 8]. По мнению Amin M.S. [9], находящиеся в составе бетонной смеси небольшие по размерам частицы магнетита становятся центрами гидратации цемента, что способствует быстрому схватыванию и твердению

смеси. В то же время чрезмерное количество указанной добавки может, напротив, привести к снижению прочности, так как кристаллогидраты цемента не смогут сформироваться ввиду ограниченности свободного пространства в матрице заполнителя.

По мнению авторов, растворная смесь, обладающая повышенной электрической проводимостью и достаточной прочностью, может быть применена при реконструкции фундаментов методом инъекционного закрепления, так как она способна обеспечить контроль качества выполняемых работ.

Целью проведенных исследований было изучение электропроводности растворной смеси с добавкой магнетита различной дисперсности и оценка прочности получаемого раствора.

Для экспериментов использовался магнетит компании ООО «Баштальк», добываемый на Кирябинском месторождении в Башкирии. Зерновой состав исходного материала, полученный по данным завода-изготовителя, был подтвержден ситовым анализом по методике ГОСТ 8735–88.

Применялись две добавки к растворной смеси. В качестве первой использовался порошок магнетита после отсеивания частиц крупнее 0,1 мм. Второй добавкой служил тонкодисперсный магнетит, полученный измельчением сырья на планетарной шаровой мельнице РМ-100 (Retsch). Продолжительность сухого помола составляла

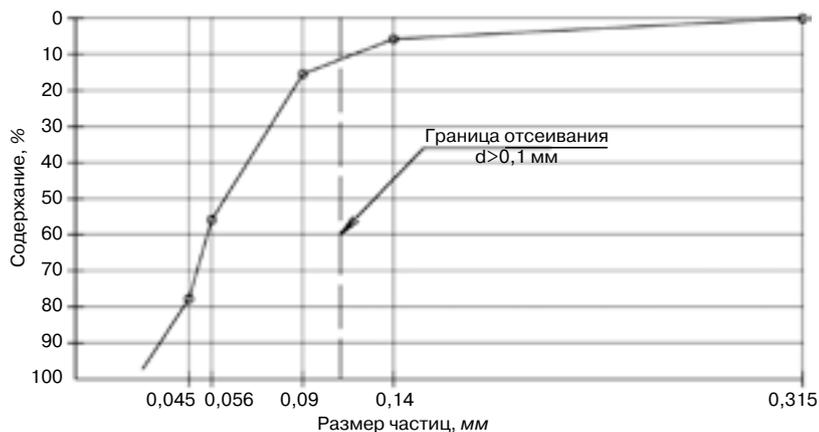


Рис. 1. Зерновой состав исходного порошка магнетита

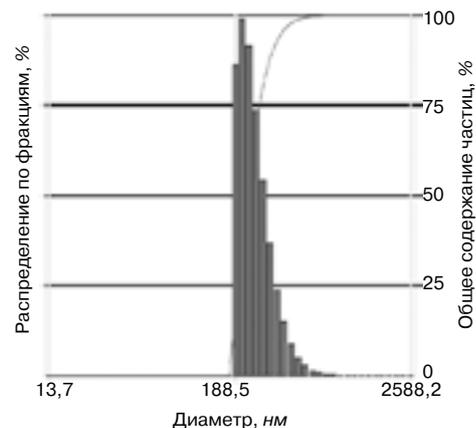


Рис. 2. Фракционное распределение частиц диспергированного магнетита

Таблица 1
Удельная электрическая проводимость образцов растворной смеси с добавкой порошка магнетита

Частота f , Гц	σ , См/м, при содержании добавки, %					
	0	1	3	5	10	20
25	0,03	0,032	0,034	0,038	0,04	0,044
50	0,022	0,024	0,025	0,029	0,033	0,038
60	0,022	0,025	0,026	0,031	0,034	0,039
100	0,034	0,039	0,041	0,046	0,059	0,063
120	0,038	0,048	0,049	0,056	0,071	0,076
200	0,062	0,079	0,082	0,093	0,117	0,121
500	0,132	0,16	0,174	0,191	0,208	0,209
1000	0,196	0,219	0,245	0,255	0,258	0,258

Таблица 2
Удельная электрическая проводимость образцов растворной смеси с тонкодисперсной добавкой магнетита

Частота f , Гц	σ , См/м, при содержании добавки, %				
	1	3	5	10	20
25	0,032	0,033	0,035	0,037	0,037
50	0,026	0,029	0,031	0,033	0,033
60	0,028	0,031	0,032	0,034	0,034
100	0,048	0,051	0,053	0,056	0,058
120	0,059	0,061	0,064	0,067	0,070
200	0,095	0,097	0,103	0,109	0,116
500	0,170	0,183	0,188	0,195	0,212
1000	0,213	0,237	0,244	0,254	0,264

60 мин при скорости вращения стакана 420 об/мин с использованием 20 стальных размольных тел. Размеры частиц второй добавки определялись методом фотонно-корреляционной спектроскопии на анализаторе субмикронных частиц Delsa Nano. Для измерения использовалась суспензия на основе глицерина.

Заполнителем в растворной смеси служил песок, содержание пылеватых и глинистых частиц, а также модуль крупности которого определялись по методикам ГОСТ 8735–88.

Готовились две серии образцов с первой и второй добавками магнетита в количестве 1, 3, 5, 10 и 20% от массы вяжущего.

Электрическая проводимость растворной смеси определялась на приборе-измерителе иммитанса Е7-20 в электрическом поле на частотах от 25 Гц до 1 кГц. Смесь загружалась в ячейку размерами 50×50 мм при средней высоте около 3–3,5 мм.

Удельная электрическая проводимость вычислялась по формуле:

$$\sigma = \frac{(G - G_0) \cdot d}{S},$$

где σ – удельная электрическая проводимость, См/м; G и G_0 – проводимость заполненной и пустой ячеек соот-

Таблица 3

Предел прочности при изгибе

Масса добавки, % от массы цемента	Предел прочности при изгибе, МПа, при добавке	
	порошка магнетита	тонкодисперсного магнетита
0	5,13	
1	5,13	7,02
3	6,08	6,41
5	6,62	6,28
10	6,8	6,36
20	6,61	6,33

Таблица 4

Предел прочности при сжатии

Масса добавки, % от массы цемента	Предел прочности при сжатии, МПа, при добавке	
	порошка магнетита	тонкодисперсного магнетита
0	37,15	
1	41,57	44,41
3	48,74	42,68
5	42,85	41,75
10	41,99	35,19
20	42,14	33,93

ответственно; S – площадь электродов, 25 см^2 ; d – расстояние между обкладками ячейки, $3\text{--}3,5 \text{ мм}$.

Для контроля прочности раствора готовились образцы-балочки размерами $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$, которые в возрасте 24 ч распалубливались и в дальнейшем хранились при температуре $20 \pm 2^\circ \text{C}$ и относительной влажности $60 \pm 10\%$. По истечении 28 сут с момента затворения определялась прочность образцов методами разрушающего контроля согласно ГОСТ 310.4–81.

Результаты ситового анализа исходного порошка магнетита представлены на рис. 1.

Фракционное распределение частиц магнетита, полученных в результате измельчения на планетарной шаровой мельнице, представлено на рис. 2. Средний размер частиц составил $258 \pm 74 \text{ нм}$.

По данным анализа было установлено, что песок является мелким с модулем крупности $M_k = 1,07$, при этом содержание пылеватых и глинистых частиц составляет $1,8\%$. Кривая гранулометрического состава песка представлена на рис. 3.

В качестве вяжущего применялся нормальнотвердеющий портландцемент марки ЦЕМ I-42,5Н. Затворение растворной смеси выполнялось дистиллированной водой. Соотношение компонентов в смеси, мас. %: цемент:песок:вода – $1:2:0,5$.

Для оценки влияния добавок на электрическую проводимость растворной смеси в первую очередь были произведены измерения показателей у образца без включения магнетита.

В табл. 1 и 2 представлены средние значения удельной электрической проводимости образцов растворной смеси в зависимости от частоты электрического тока и содержания добавки, полученные по данным трех измерений.

Полученные результаты показали, что при изменении частоты электрического тока с 25 до 50 Гц электрическая проводимость растворных смесей различного состава незначительно снижается, а затем – вплоть до частоты 1 кГц – устойчиво растет до значений, в семь раз превышающих минимальные.

Введение порошка магнетита в растворную смесь в количестве $1\text{--}20\%$ от массы цемента приводит к увеличению электрической проводимости при частоте 50 Гц на $8\text{--}70\%$. Максимальное увеличение при частоте 120 Гц – на $25\text{--}100\%$.

При использовании второй добавки электропроводность смеси нарастала более интенсивно. Так, например, при частоте 50 Гц эффект от добавки 3% был примерно таким же, как при введении 5% порошка магнетита, – 31% , при 10% содержании эффект от обеих добавок был одинаковым, а при 20% первая добавка оказалась эффективнее. Примерно такая же тенденция наблюдалась и при других частотах электрического тока.

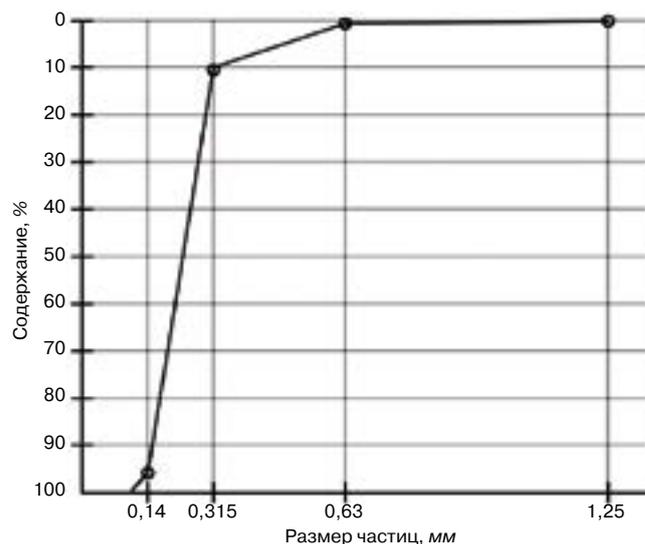


Рис. 3. Зерновой состав песка

Результаты испытаний прочности образцов-балочек в табл. 3, 4.

Приведенные в табл. 3 и 4 значения являются средними, найденными по данным испытаний шести образцов каждого состава.

Результаты испытаний показали, что включение в состав цементного раствора порошка магнетита привело к росту его прочностных характеристик. Так, прирост предела прочности при изгибе у образца с добавкой 3% составил $18,5\%$, а с добавкой 10% – 35% . Предел прочности при сжатии достиг максимального значения уже при 3% добавки и составил $48,74 \text{ МПа}$, что больше первоначального на 30% . В остальных случаях прирост колебался в пределах $10\text{--}15\%$.

Введение тонкодисперсного магнетита также привело к повышению прочностных показателей раствора при количестве добавки $1\text{--}3\%$ от массы цемента. При этом прочность при изгибе возросла до 40% , а при сжатии – до 20% . В остальных случаях предел прочности при изгибе увеличивался в среднем на 20% , а прочность при сжатии при большем количестве добавки магнетита стала меньше прочности исходных образцов.

Стоит отметить, что результаты прочностных испытаний опытных образцов соответствуют описанным в литературных источниках. При содержании добавки в количестве $1\text{--}3\%$ от массы цемента наблюдаются более высокие значения прочности при сжатии; при увеличении содержания магнетита они снижаются, что объясняется появлением слишком большого количества центров гидратации.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. С помощью добавки магнетита можно существенно повысить электрическую проводимость растворной смеси: так, при частоте электрического тока 50 Гц возможно повышение значений до 60–70% в зависимости от количества вводимого в состав порошка. При этом включение 3–5% тонкодисперсной добавки наиболее эффективно по сравнению с использованием такого же

количества порошка, так как позволяет получить более высокие значения электрической проводимости.

2. Добавка магнетита к цементному раствору приводит к изменению его прочностных характеристик. Так, у образцов с добавкой 3% порошка магнетита прирост предела прочности при изгибе составил 18,5%, при сжатии – 30%. Введение такого же количества тонкодисперсного магнетита привело к повышению прочности при изгибе до 40%, а при сжатии – до 20%.

Список литературы / References

- Chung D.D.L. Electrically conductive cement-based materials. *Advances in Cement Research*. 2014. Vol. 16. No. 4, pp. 167–176.
- Silvestre J., Silvestre N., de Brito J. Review on concrete nanotechnology. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 2016. Vol. 20. No. 4, pp. 455–485.
- Nivethitha D., Srividhya S., Dharmar S. Review on mechanical properties of cement mortar enhanced with nanoparticles. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2016. Vol. 5. Iss. 1, pp. 913–916. <https://www.ijser.net/archive/v5i1/NOV152794.pdf>.
- Ильичев В.А., Мангушев Р.А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: ABC, 2016. 1040 с.
- Ilichev V.A., Mangushev R.A. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya [Geotechnical handbook. Foundations engineering and underground constructions]. Moscow: ABC. 2016. 1040 p.
- Borucka-Lipska J., Kiernożycki W., Guskos N., Dudek M.R., Ho D.Q., Wolak W., Marć M., Koziół J.J., Kalaga J.K. On magnetite concentrate grains with respect to their use in concrete. *International Journal of Engineering Research & Science*. 2016. Vol. 2, pp. 97–103.
- Lee H.-S., Kwon S.-J. Effects of magnetite aggregate and steel powder on thermal conductivity and porosity in concrete for nuclear power plant. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016 Vol. 2016. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9526251>.
- Sikora P., Horszczaruk E., Cendrowski K., Mijowska E. The influence of nano-Fe₃O₄ on the microstructure and mechanical properties of cementitious composites. *Nanoscale Research Letters*. 2016. Vol. 11. DOI: 10.1186/s11671-016-1401-1.
- Лесовик Р.В., Агеева М.С., Чернышева Н.В. Активация мелкозернистого бетона на железосодержащих техногенных песках магнитным полем // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2011. № 1. С. 24–28.
- Lesovik, R.V., Ageeva M.S., Chernysheva N.V. Activation of fine-grained concrete containing ferriferous technogenic sands by magnetic field. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2011. No. 1, pp. 24–28. (In Russian).
- Amin M.S., El-Gamal S.M.A., Hashem F.S. Effect of addition of nano-magnetite on the hydration characteristics of hardened Portland cement and high slag cement pastes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 112, No. 3, pp. 1253–1259. <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2663-1>.

ПОЛИУРЕТАНЭКС 27 февраля - 1 марта 2018
 Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 1

Основные разделы выставки:

- Сырье для производства полиуретанов
- Оборудование и станки для производства и переработки полиуретанов
- Обслуживание
- Тестовое оборудование
- Конечная продукция
- Производство лакокрасочных материалов (ЛКМ)
- Использование полиуретанов в:
 - машиностроении, - автомобилестроении, - строительстве (теплоизоляция), - железнодорожном транспорте (ваг. вагоностроение), - авиационном транспорте, - трубопроводном транспорте, - электротехнике, - изготовлении товаров бытового назначения, - обувной промышленности, - легкой промышленности, - мебели, - мебельной промышленности, - легкой промышленности, - строительной индустрии, - горнодобывающей промышленности, - металлургии.

Специальный раздел выставки: КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ

Информационная поддержка:

Дирекция:
 Выставочная Компания «Мир-Экспо»
 115230, Россия, Москва, Клевовазводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507
 Тел.: +7 495 988-1620 | E-mail: info@polyurethanexs.ru | Сайт: www.polyurethanexs.ru
 YouTube: [youtube.com/user/polyexporu](https://www.youtube.com/user/polyexporu) | Twitter: @polyexporu

Организатор:
 MIP-Экспо

УДК 691.542

М.А. САВЕЛЬЕВА, инженер (senya160394@mail.ru), Л.А. УРХАНОВА, д-р техн. наук (urkhanova@mail.ru), П.К. ХАРДАЕВ, д-р техн. наук

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В)

Перспективы использования коллоидных добавок для модификации цементного камня

В сложившейся в настоящее время экологической ситуации проблема растущих объемов серосодержащих отходов может быть решена путем внедрения продуктов их переработки в область строительного материаловедения, в частности для создания бетонов нового поколения.

Повышенные строительно-технические свойства таких бетонов могут быть достигнуты за счет введения высокодисперсных добавок, которые позволяют оптимизировать структуру цементных и бетонных материалов. В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния золя серы, полученного двумя разными методами, на изменение структуры и свойств цементного камня. При введении оптимального количества золя серы происходит ускорение гидратации и твердения, повышение прочности цементного камня. По результатам электронно-микроскопического и рентгенофазового анализа, дифференциальной сканирующей калориметрии было установлено, что изменение микроструктуры цементного камня связано с образованием сложных комплексных соединений серы и кальция.

Ключевые слова: цемент, бетоны, золь серы, коллоидные добавки, высокодисперсные добавки.

Для цитирования: Савельева М.А., Урханова Л.А., Хардаев П.К. Перспективы использования коллоидных добавок для модификации цементного камня // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 59–63.

M.A. SAVEL'EVA, Engineer (senya160394@mail.ru), L.A. URKHANOVA, Doctor of Sciences (Engineering) (urkhanova@mail.ru), P.K. KHARDAEV, Doctor of Sciences (Engineering)
East Siberia State University of Technology and Management (40V, Klyuchevskaya Street, Ulan-Ude, 670013, Russian Federation)

Prospects of Application of Colloidal Additives for Modifying Cement Stone

At the present ecological situation, the problem of growing volumes of sulfur-containing waste can be solved by means of introducing the products of waste processing in the field of construction material science, for creation of concretes of a new generation in particular. Improved building-technical properties of these concretes can be achieved due to the introduction of high-disperse additives which make it possible to optimize the structure of cement and concrete materials. The article presents the results of experimental studies of the effect of a sulfur sol obtained by two different methods on the change in the structure and properties of the cement stone. When introducing the optimum amount of the sulfur sol, the acceleration of hydration and hardening, improvement of the cement stone strength take place. According to the results of electronic-microscopic and X-ray phase analyzes, differentially scanning calorimetry, it is established that the change in the microstructure of the cement stone is connected with the formation of complex combinations of sulfur and calcium.

Keywords: cement, concretes, sulfur sol, colloidal additives, high-disperse additives.

For citation: Savel'eva M.A., Urkhanova L.A., Khardaev P.K. Prospects of application of colloidal additives for modifying cement stone. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 59–63. (In Russian).

В настоящее время в технологиях производства цемента и бетона сложилась тенденция применения высокодисперсных добавок, полученных различными способами, в том числе и золь-гель технологией. Известна практика эффективного использования зо-

лей кремниевой кислоты, гидроксида железа, гидроксида алюминия для модификации бетона, но широкому применению подобных добавок препятствуют высокие ресурсные затраты и рыночная стоимость [1, 2].

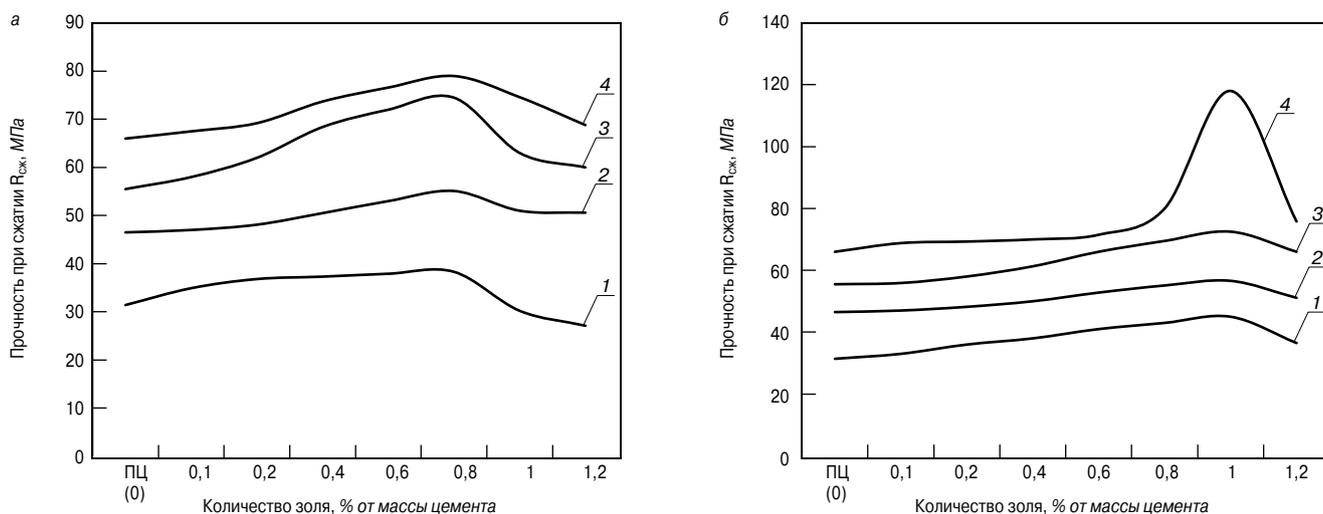


Рис. 1. Влияние количества золь серы на прочность и кинетику твердения цемента: а – золь серы (метод замены растворителя, № 1); б – золь серы (метод окислительно-восстановительной реакции, № 2): 1 – 1 сут твердения; 2 – 3 сут твердения; 3 – 7 сут твердения; 4 – 28 сут твердения

Таблица 1

Характеристики	Золя серы S (замена растворителя)	Золя серы S (окислительно-восстановительная реакция)
Водородный показатель pH	5–6	1
Плотность золя по расчету ρ_s , г/см ³	0,9875	0,976
Плотность золя ρ_s , г/см ³ , по ареометру	0,99	0,98
Удельная электропроводность, см/м	202	>1000
Динамическая вязкость, сПз	1,18±0,118	1,53±0,015
Содержание коллоидных частиц в материале, осажденном из золя, % (расчет)	4,25×10 ⁻⁴	1,06×10 ⁻³

Таблица 2

Показатель		Время (τ) твердения, сут			
		1	3	7	28
Контрольные образцы	Прочность при сжатии R _{сж} , МПа	31,4	46,5	55,5	66
	Прочность при сжатии R _{сж} , МПа	38,3	55,1	74,5	79
Образцы с 0,8% золя серы (замена растворителя, № 1)	R _{сж} в 7 сут в условиях имитации 28 сут твердения (t=150°C, τ=2 ч), МПа	–	–	82,3 > 79 (R _{сж} 28)	–
	Эффективность добавки, R _{сжсд} /R _{сжконтр}	1,22	1,18	1,34	1,2
Образцы с 1% золя серы (окислительно-восстановительная реакция, № 2)	Прочность при сжатии R _{сж} , МПа	45	56,6	72,5	118
	Эффективность добавки, R _{сжсд} /R _{сжконтр}	1,4	1,22	1,3	1,79

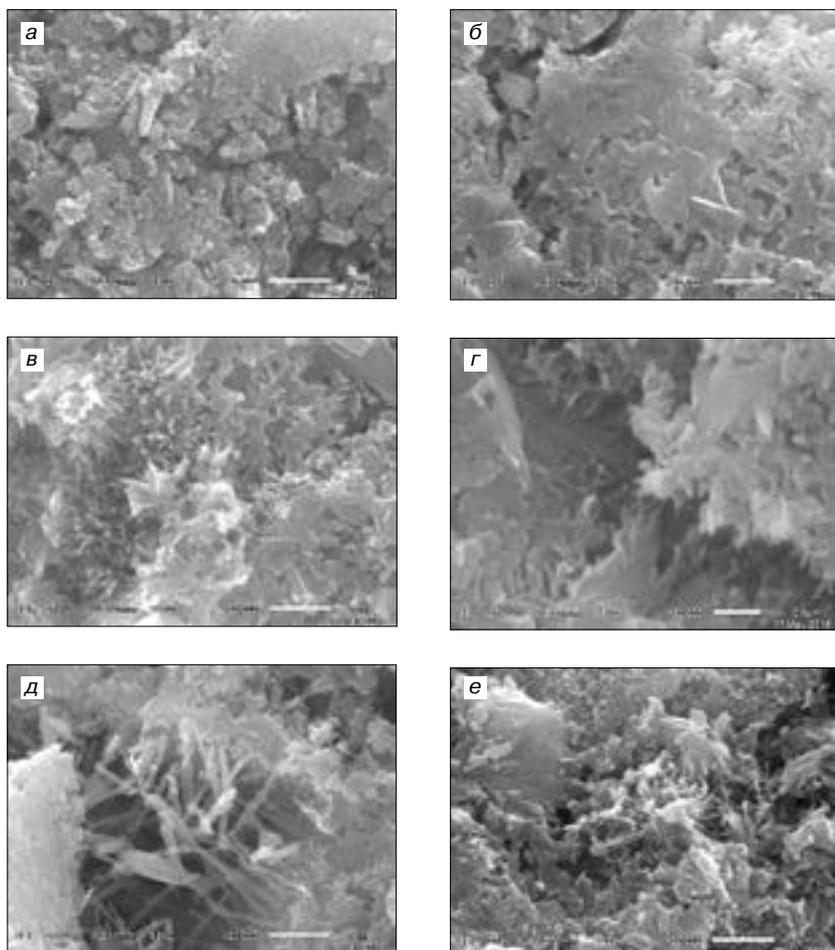


Рис. 2. Микроструктура цементного камня: а, б – бездобавочный (контрольный образец) в возрасте 3 и 28 сут; в, г – с золом серы (методы замены растворителя, № 1) в возрасте 3 и 28 сут; д, е – с золом серы (метод окислительно-восстановительной реакции, № 2) в возрасте 3 и 28 сут

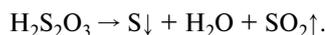
В широкой номенклатуре коллоидных модификаторов, применяемых в производстве строительных материалов, мало исследований посвящено использованию добавок на основе серы. Хотя в последние годы мировой уровень производства серы превышает уровень ее сбыта. Это связано не только с добычей серных руд, но и с переработкой серосодержащих отходов, выбрасываемых объектами промышленности, в частности нефтегазодобывающими комплексами, предприятиями угледобычи и заводами по производству серной кислоты. Поэтому на сегодняшний день целесообразно использовать серу в производстве строительных материалов, в частности для получения серно-битумных вяжущих для асфальтобетонных смесей, серобетона и сероасфальтобетона, пропитывающих составов для бетонных, кирпичных и керамических изделий. Применение серы в строительном материаловедении обусловлено тем, что полученные изделия обладают повышенными прочностными характеристиками, низкой водопроницаемостью, высокой устойчивостью к температурным перепадам, коррозионной и химической стойкостью [3, 4].

Разработкой различных добавок на основе серы и ее соединений в качестве модификаторов бетона занимались М.А. Елесин, Н.А. Машкин, А.В. Павлов, А.А. Сычев [5–8]. Полученные комплексные сернистые добавки ускоряют процесс гидратации цементных минералов, способствуют

образованию новых комплексных соединений, уплотняющих и упрочняющих структуру цементного камня, и в целом повышают прочность и морозостойкость бетона. Несмотря на высокую эффективность действия сернистых добавок, существует ряд недостатков, таких как энергоёмкость и трудоёмкость процесса их получения и многокомпонентность состава добавок.

Перспективным направлением в данной области материаловедения является использование золя серы, способы получения которого отличаются малозатратностью сырьевых ресурсов, доступной методикой выполнения для модификации цементного камня и получения бетона на его основе.

Золь серы представляет собой высокодисперсную коллоидную систему, получение которой, как показал анализ литературных источников, возможно методами физической и химической конденсации. Физическая конденсация может быть вызвана понижением растворимости вещества путем замены растворителя, например ацетона или этанола: при вливании насыщенного раствора серы в воду образуется золь серы. Принцип химической конденсации заключается в том, что в результате окислительно-восстановительной реакции между хлороводородной кислотой и тиосульфатом натрия получают свободную тиосерную кислоту, распадающуюся с выделением золя серы:



Основные характеристики водных растворов золь серы, полученных перечисленными методами, были определены физико-химическими и расчетными способами (табл. 1).

Анализ полученных характеристик показал, что плотность золь серы меньше 1 г/см^3 , поскольку сами частицы серы, распределенные в коллоидном растворе, легче воды. Высокая удельная электропроводность золь серы свидетельствует об активной поверхности высокодисперсных частиц, что предположительно способствует созданию дополнительного структурного элемента.

Была рассмотрена возможность применения золя серы в системе портландцемент – вода в качестве инициаторов ускорения твердения. Исследования проводились на портландцементе ЦЕМ I 32,5 Н ГОСТ 31108–2016 (ООО «Тимлюйский цементный завод», Республика Бурятия). Приготовленные растворы золя серы вводили в количестве 0,1–1,2% от массы цемента в воду затворения, после чего готовились образцы пластичного формования при нормальной густоте, соответствующей 26%. В течение первых суток образцы хранились в формах во влажных условиях, затем в воде, по истечении контрольного времени испытывались на прочность при сжатии.

В ходе экспериментальных исследований по оптимизации дозировок золя серы и кинетики твердения цементных образцов установлено, что оптимальное содержание золя серы лежит в пределах 0,8–1% от массы цемента (рис. 1, табл. 2). При избыточном содержании добавки золя серы – больше 1% наблюдается быстрое схватывание цемента, что приводит к неравномерному распределению добавки в цементном тесте, усложнению процесса формования образцов и в конечном итоге к недостаточной прочности при сжатии цементного камня. При недостаточном введении добавки – меньше 0,8% происходит снижение прочности цементного камня, что, очевидно, связано с меньшим количеством сложных соединений – продуктов гидратации цемента, включающих серу.

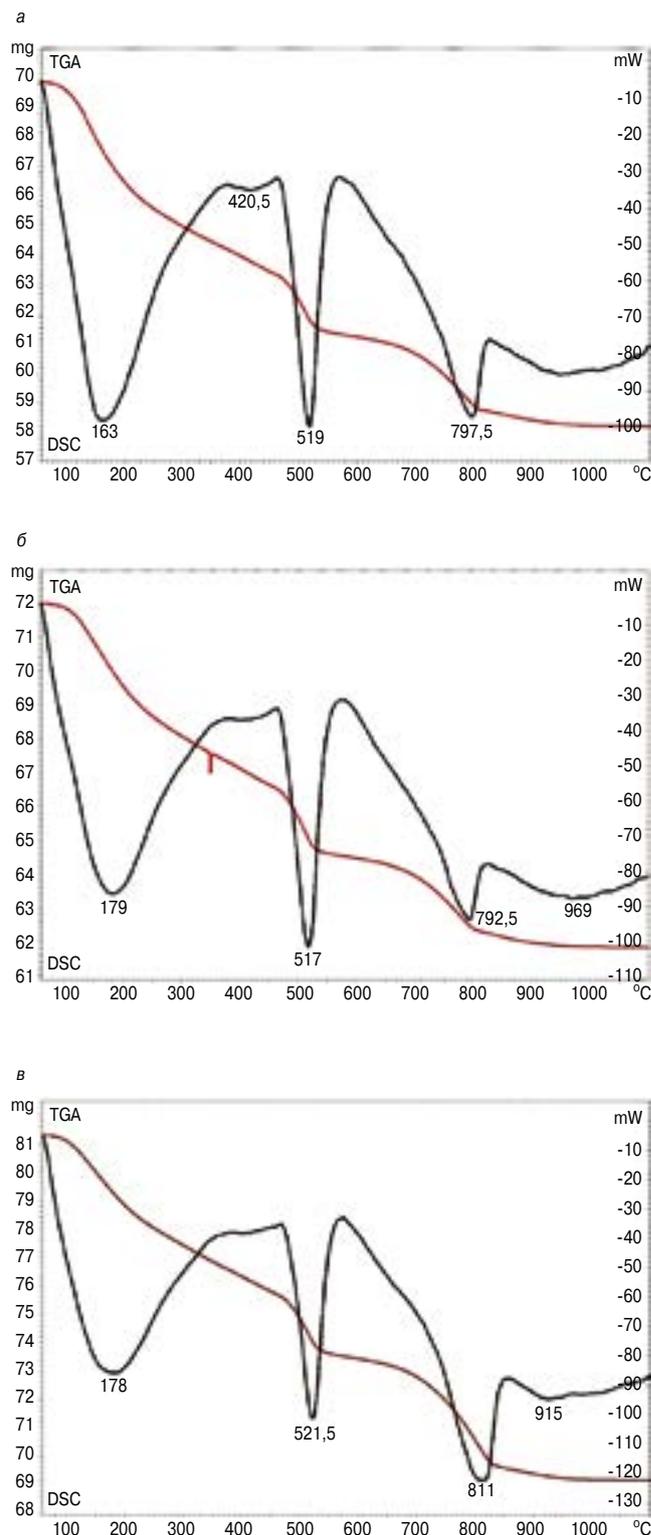


Рис. 3. Дериватограммы цементного камня в возрасте 28 сут: а – бездобавочный (контрольный образец); б – с золем серы (методы замены растворителя, № 1); в – с золем серы (метод окислительно-восстановительной реакции, № 2)

В возрасте 1–7 сут твердения прочность цементного камня с золем серы, полученным методами замены растворителя и окислительно-восстановительной реакции, в 1,3–1,35 раза выше и равнозначна прочности контрольных образцов в 28 сут твердения. Несмотря на равномерное увеличение набора прочности цемента в течение 1–7 сут с добавками, более эффективен золь

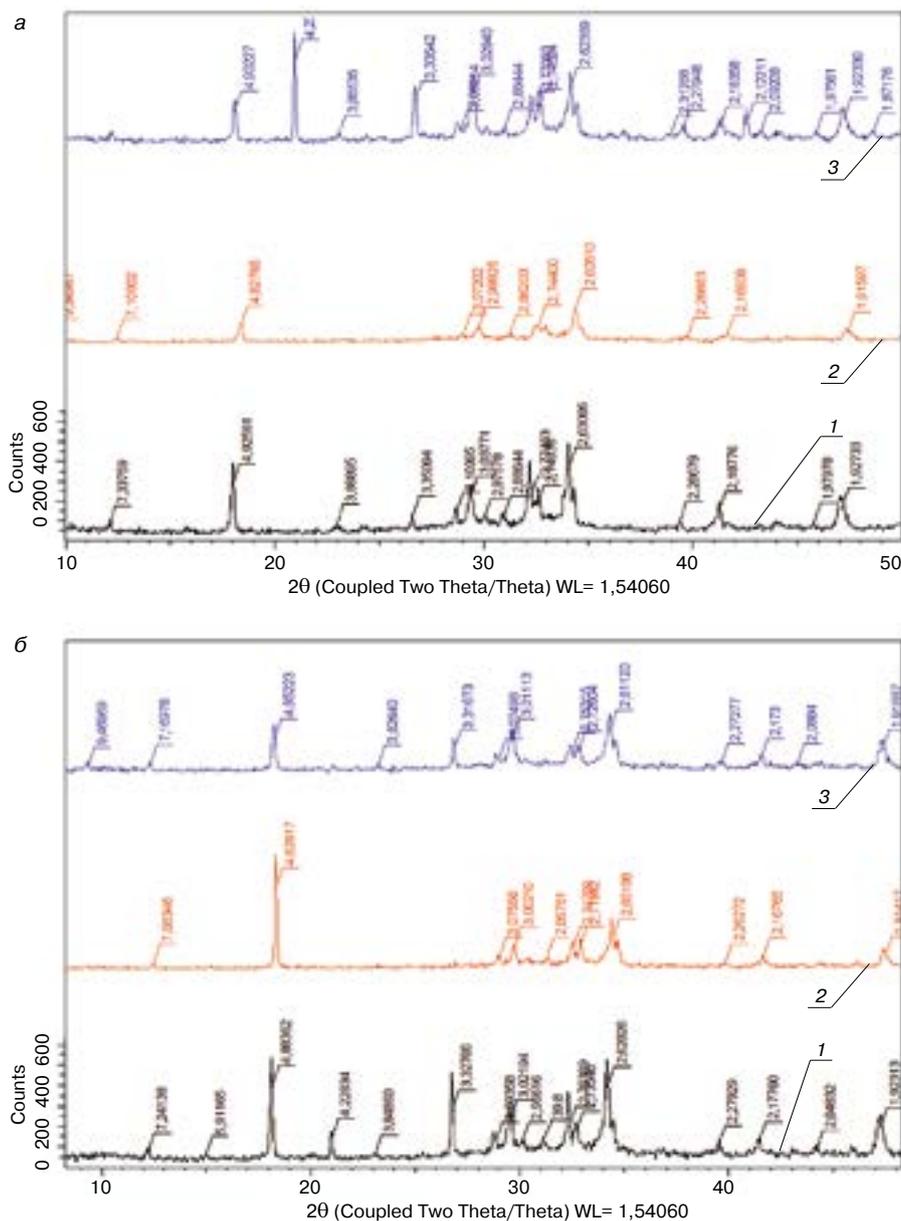


Рис. 4. Рентнограммы продуктов гидратации бездобавочного цемента (контрольного образца) и зольсодержащих композиций: а – в возрасте 3 сут; б – в возрасте 28 сут; 1 – без добавок; 2 – золь серы (метод окислительно-восстановительной реакции); 3 – золь серы (метод замены растворителя);

серы, полученный методом окислительно-восстановительной реакции. Прирост прочности при сжатии цементного камня в 28 сут достигает 79% при введении золя серы в количестве 1% от массы цемента, что в пересчете на сухое вещество составляет $1,06 \times 10^{-3}\%$. Расчетным способом установлено, что в результате окислительно-восстановительной реакции между тиосульфатом натрия и хлороводородной кислотой образуется большее количество высокодисперсных частиц серы по сравнению с методом замены растворителя.

Для имитации твердения цементного камня в течение 28 сут проводилась сушка образцов с золой серы в возрасте 7 сут при $t=150^\circ\text{C}$ в течение 2 ч. Сушка цементного камня ускоряет его твердение и приводит к повышению прочности при сжатии, что, вероятно, связано с ускорением процесса выкристаллизации геля серы, встраивающегося в структуру цементной матрицы (табл. 2) [9].

Структура цементного камня определяется процессом его гидратации и зависит от морфологии и формы

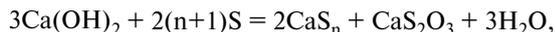
поверхности расположения кристаллов, поровой структуры. Введение золя серы в качестве модифицирующих добавок приводит к изменению структуры цемента в течение времени твердения (рис. 2). Микроструктура контрольных образцов и зольсодержащих композиций была исследована с помощью растровой электронной микроскопии (электронный микроскоп JSM-6510LV JEOL, ЦКП «Прогресс» ВСГУТУ).

В структуре бездобавочного цементного камня в возрасте 3 и 28 сут присутствует значительное количество пор, портландит в виде массивных гладких поверхностей (рис. 2, а, б). В микроструктуре цементного камня с золой серы преобладают кристаллы этtringита в виде коротких и длинных иголок, дендрито-подобных сплетений. Конструктивная особенность этtringита в том, что его дендрито-подобные сплетения заполняют поровое пространство и являются нерастворимыми в воде. Повышенная прочность зольсодержащих композиций в ранние сроки твердения характеризуется значительным количеством кристаллов этtringита. Процесс упрочнения и уплотнения структуры цементного камня с добавками золя серы обусловлен формированием на ранних стадиях твердения сложных комплексных соединений, содержащих серу (рис. 2, в, г, д, е).

Для подтверждения изменения фазового состава и микроструктуры цементного камня был проведен комплексный физико-химический анализ, включающий дифференциальную сканирующую калориметрию и рентгенофазовый анализ образцов с золой серы и без него

(рис. 3, 4). Дифференциальная сканирующая калориметрия проводилась на дериватографе Mettler Toledo (Кафедра «Геотехника и строительные материалы» ИжГТУ им. М.Т. Калашникова); рентгенофазовый анализ на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE BRUKER AXS gmbh, Karlsruhe (ЦКП БНЦ СО РАН, г. Улан-Удэ).

С помощью дифференциальной сканирующей калориметрии было установлено наличие эндоэффекта в области температуры с $163\text{--}179^\circ\text{C}$, что связано с удалением химически связанной воды, дегидратацией гипса и этtringита. Эндоэффект при температурах $519\text{--}521,5^\circ\text{C}$ обусловлен процессами дегидратации портландита [10]. Проведение количественной дифференциальной сканирующей калориметрии по величине площади пика показало, что у зольсодержащих композиций количество разложившегося портландита меньше, что связано с реакцией портландита с серой, в результате которой образуются полисульфид и тиосульфат кальция:



где n принимается от 4 до 5.

Полисульфид и тиосульфат кальция способны вступать в реакцию с трехкальциевым алюминатом и образовывать сложные комплексные соединения [6, 8].

В интервале температур от 820 до 1050°C происходят изменения, связанные с полной дегидратацией гидроалюмината кальция, дегидратацией тоберморита, полной дегидратацией гидросиликата кальция C_3SH_2 . При введении в цемент золя серы, полученного методом окислительно-восстановительной реакции, образуется большее количество гидросиликатов кальция, о чем свидетельствуют значения потери массы и увеличение значения площади соответствующего пика.

Рентгенограмма продуктов гидратации цементного камня с золем серы отображает наличие новообразования $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{S}_2\text{O}_9 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ с межплоскостным расстоянием 94,696 и 93,496 нм, нехарактерного для бездобавочного цемента. Аналогичные химические соединения были

обнаружены при гидратации цемента с сернистыми добавками. Ускорение твердения цементного камня и повышение прочности вызваны формированием структур на основе тиосульфатсодержащих гидроалюминатов, обусловленным появлением в системе тиосульфата кальция [5].

Таким образом, введение в цемент золя серы, полученного методами замены растворителя и окислительно-восстановительной реакции, приводит к образованию сложных комплексных соединений, уплотнению структуры цементного камня, с чем связан значительный прирост прочности во все сроки твердения цемента. При этом повышение прочности цемента происходит при микродозировках добавок. Применение золя серы для модификации цемента и бетона на основе его имеет перспективу, однако подобные коллоидные добавки подвержены быстрому «старению», поэтому предстоит задача выбора наиболее эффективных стабилизирующих веществ для предотвращения коагуляции золя серы.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Фаликман В.Р., Булгаков Б.И. Наноматериалы и нанотехнологии в современной технологии бетонов // *Вестник МГСУ*. 2012. № 12. С. 125–133.
2. Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я., Степанова И.В., Старчуков Д.С. Нанодобавки из кремне- и железосодержащего (III) золя для тяжелого бетона на рядовых цементах // *Нанотехнологии в строительстве: Научный интернет-журнал*. 2010. Т. 2. № 5. С. 61–68. http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_5_2010_RUS.pdf (Дата обращения: 17.09.2017).
3. Воронков М.Г., Татарова Л.А., Трофимова К.С., Верходина Е.И., Халиуллин А.К. Переработка промышленных хлор- и серосодержащих отходов // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2001. № 3. С. 393–403.
4. Мохов В.В., Тарчигина Н.Ф. Переработка газообразных серосодержащих отходов нефтеперерабатывающих предприятий // *Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии: Сборник научных трудов II международной конференции с научной школой для молодежи*. Тверь: ТГТУ, 2016. С. 190–192.
5. Елесин М.А. Физико-химические закономерности и технологические основы повышения стойкости бетонов и фасадных красок в климатических условиях Сибири и Севера введением полисульфидсодержащих компонентов. Дисс... д-р техн. наук. Новосибирск, Норильск, 2016. 275 с.
6. Павлов А.В. Тяжелые бетоны с комплексными сернисто-полимерными добавками. Дис... канд. техн. наук. Новосибирск, 2005. 140 с.
7. Сычев А.А. Комплексная сульфополимерная добавка для цементных композиций. Дис... канд. техн. наук. Казань, 2005. 146 с.
8. Патент РФ 2167116. Комплексная добавка для бетонных и растворных смесей / Павлов А.В., Гуляев М.Н., Елесин М.А., Машкин Н.А., Белоусов С.В. Заявл. 15.07.1999. Опубл. 20.05.2001. Бюл. № 25.
9. Тотурбиев Б.Д. Строительные материалы на основе силикат-натриевых композиций. М.: Стройиздат, 1988. 208 с.
10. Яковлев Г.И. и др. Физико-химические свойства и долговечность строительных материалов. Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2015. 75 с.

References

1. Bazhenov Yu.M., Falikman V.R., Bulgakov B.I. Nanomaterials and nanotechnologies in the modern technology of concrete. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 12, pp. 125–133. (In Russian).
2. Svatovskaja L.B., Solov'eva V.Ya., Stepanova I.V., Starchukov D.S. Silica- and ferrous (III) solnanoadditives for heavy concrete on ordinary cements. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: scientific Internet-journal*. 2010. No. 5, pp. 61–68. http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_5_2010_RUS.pdf (data of access 17.09.2017). (In Russian).
3. Voronkov M.G., Tatarova L.A., Trofimova K.S., Verhodina E.I., Haliullin A.K. Recycling industrial chlorine- and sulfur-containing waste. *Himiya v interesah ustoychivogo razvitiya*. 2001. No. 3, pp. 393–403. (In Russian).
4. Mohov V.V., Tarchigina N.F. Processing of a gaseous sulfur-containing waste of the oil-processing enterprises. *Actual problems of health safety and ecology: Papers of the II international conference with school of sciences for youth*. Tver: TSTU. 2016, pp. 190–192. (In Russian).
5. Elesin M.A. Physical and chemical regularities and technological bases of increasing resistance of concrete and architectural coatings by adding polysulfide-containing components in climatic conditions of Siberia and the North. Doctor Diss. (Engineering). Novosibirsk, Norilsk. 2016. 275 p. (In Russian).
6. Pavlov A.V. Heavy concrete with a complex sulfur-polymeric additives. Cand. Diss. (Engineering). Novosibirsk. 2005. 140 p. (In Russian).
7. Sychev A.A. A complex sulfur-polymeric additive for cement compositions. Cand. Diss. (Engineering). Kazan. 2005. 146 p. (In Russian).
8. Patent RF 2167116. Kompleksnaja dobavka dlja betonnyh i rastvornyh smesey [Complex additive for concrete and mortar mixes]. Pavlov A.V., Guljaev M.N., Elesin M.A., Mashkin N.A., Belousov S.V. Declared 15.07.1999. Published 20.05.2001. Bulletin No. 25. (In Russian).
9. Toturbiev B.D. Stroitel'nye materialy na osnove silikat-natrievyh kompozicij [Building materials based on silicate-sodium compositions]. Moscow: Stroyizdat. 1988. 208 p.
10. Yakovlev G.I. and others. Fiziko-himicheskie svojstva i dolgovechnost' stroitel'nyh materialov [Physicochemical properties and durability of building materials]. Izhevsk: IzhGTU. 2015. 75 p.

А.И. НИЖЕГОРОДОВ, д-р техн. наук (nastromo_irkutsk@mail.ru)

Иркутский национальный исследовательский технический университет (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83)

Устойчивость уплотненных вермикулитовых массивов в трехслойных стенах в критических условиях

Рассматриваются свойства вспученного вермикулита – прочность в цилиндре и угол откоса под внешней нагрузкой как факторы, определяющие устойчивость к усадке уплотненного в стесненных условиях вермикулитового массива при водонасыщении более 300% и действии вибрации. Приводятся результаты натурного эксперимента, показывающие, что предварительно уплотненный на 7–18% массив не усаживается даже в столь критических условиях. Результаты расчетов и данные экспериментов показывают, что при утеплении внутреннего пространства стен уплотненным вермикулитом усадка теплоизоляционного материала исключается почти пятикратным запасом прочности и дополнительным сцеплением материала с поверхностями стен.

Ключевые слова: вермикулит, вермикулитовый массив, прочность в цилиндре, угол откоса, устойчивость к усадке.

Для цитирования: Нижегородов А.И., Устойчивость уплотненных вермикулитовых массивов в трехслойных стенах в критических условиях // *Строительные материалы*. 2017. № 11. С. 64–67.

A.I. NIZHEGORODOV, Doctor of Sciences (Engineering) (nastromo_irkutsk@mail.ru)
Irkutsk National Research Technical University (83, Lermontova Street, 664074, Irkutsk, Russian Federation)

Stability of Compacted Vermiculite Masses in Three-Layer Walls under Critical Conditions

The article deals with the properties of exfoliated vermiculite: strength in the cylinder and an angle of dip under the external load as determining factors of resistance to shrinkage of the vermiculite mass compacted under constrained conditions when the water saturation is over 300% and the action of vibration. Results of the natural experiment showing that the mass preliminary compacted by 7–18% doesn't shrink even under such critical conditions are presented. The results of calculations and data of experiments show that when warming the inner space of walls with compacted vermiculite, the insulation material shrinkage is excluded by almost fivefold strength reserve and additional adhesion of the material with surfaces of walls.

Keywords: vermiculite, vermiculite mass, strength in cylinder, angle of dip, resistance to shrinkage.

For citation: Nizhegorodov A.I. Stability of compacted vermiculite masses in three-layer walls under critical conditions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 11, pp. 64–67. (In Russian).

Вспученный вермикулит многофункционален. В большинстве западных стран, а теперь и в России его применяют для производства более ста видов продукции различного назначения [1–7].

Благодаря своей слоисто-пористой структуре он является эффективным теплоизоляционным материалом, хорошим наполнителем для легких бетонов, основным компонентом для изготовления огнезащитных и футеровочных плит; его используют для звукоизоляции помещений, при разливке стали, для фильтрации воды, в качестве адсорбента дыма и ядовитых газов, как противорадиационный материал, при сборе разливов нефтепродуктов, для снижения нитратного загрязнения почв [1–7], в природоохранных технологиях, в частности для иммобилизации тяжелых металлов [8, 9] и т. д.

Почти все физические свойства вспученного вермикулита уже давно изучены, но некоторые так и остались вне поля зрения специалистов, занимавшихся вермикулитом. В данной статье рассмотрены те из них, которые влияют на устойчивость объемно-напряженных теплоизоляционных массивов к случайному переувлажнению и действию вибрации. Также обосновываются возможности создания надежных уплотненных вермикулитовых массивов внутри наружных трехслойных стен зданий при действии факторов, способных влиять на их устойчивость к усадке.

Вспученный вермикулит – это сыпучий материал, кажущийся непрочным, чрезмерно мягким, податливым и пластичным, склонным к разрушению при малейшей нагрузке (рис. 1). Поэтому для получения объективных данных была проведена оценка прочности в цилиндре, характерной для всех сыпучих материалов, определены углы откоса при действии на массив внешней нагрузки и стойкость уплотненного массива к вибрации в условиях переувлажнения.

В государственном стандарте ГОСТ 9757–90 «Гравий, щебень и песок искусственные пористые», регла-

ментирующем определении прочности при сдавливании сыпучих пористых материалов в цилиндре, для вермикулита не нашлось места: он слишком непрочный по сравнению с керамзитом или, например, перлитом. До сих пор действующий стандарт ГОСТ 12865–67 «Вермикулит вспученный» также не предусматривает определения прочности.

Но правильно вспученный вермикулит обладает не только прочностью, но и значительной упругостью, поэтому автором еще в 2008 г. были проведены соответствующие эксперименты на образцах вспученных ковдорского и татарского концентратов (названия видов вермикулита происходят от названий месторождений: Ковдорского в Мурманской области и Татарского, расположенного в Северо-Енисейском районе Красноярского края близ реки Татарки).



Рис. 1. Вспученный вермикулит

Таблица 1

Усилие и деформация вермикулита

F, H	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Вермикулит татарский, фракция + 0,6–2												
$\Delta h, \text{мм}$	3,1	4,6	6,1	7,6	9,1	10,7	12,4	13,8	15,4	16,7	18,3	19,9
Вермикулит татарский, фракция + 2–4												
$\Delta h, \text{мм}$	3,6	5,2	7	8,9	10,6	12,3	14	15,9	17,6	19,3	21	22,8
Вермикулит ковдорский, фракция + 2–5												
$\Delta h, \text{мм}$	3,9	5,9	7,8	9,6	11,6	13,6	15,1	17,3	19,2	21,1	23	25,1
Вермикулит ковдорский, фракция + 5–7,5												
$\Delta h, \text{мм}$	4,5	6,8	7,1	11	13,8	15,8	18,1	20,3	22,2	24,7	27	29,4

Опыты проводились на специально изготовленном стенде, работавшем как поршень в цилиндре. В табл. 1 приведены значения сжимающего усилия F на поршне и соответствующие им абсолютные значения деформаций Δh проб вермикулита.

Нормальное напряжение при сжатии и относительная деформация массива вермикулита в цилиндре определялись расчетом по формулам:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где σ – нормальное напряжение, Н/м²; S – площадь цилиндра, м²; Δh – абсолютная, м, и относительная ε деформация пробы вермикулита, %; h – исходная высота пробы в цилиндре, м.

На рис. 2 показана зависимость нормального напряжения в массиве вермикулита, заключенного в цилиндре, от относительной деформации проб различных видов и фракций материала. В пределах 20% деформации зависимости линейны, что указывает на постоянство модуля упругости вермикулита для одной и той же размерной группы и вида материала.

В табл. 2 приведены значения модуля упругости и нормального напряжения в массиве при его 10 и 20% деформации, которые и называются прочностью в цилиндре.

Модуль упругости рассчитывался по формуле:

$$E = \frac{Fh}{\Delta h S}. \quad (2)$$

Полученные данные имеют практическое значение, так как от прочности теплоизоляционной засыпки в замкнутых объемах трехслойных стен зависит степень усадки массива теплоизоляции под собственным весом.

Произведем расчет. Пусть вермикулитовый массив фракции 2–5 мм, имеющий насыпную плотность около 90 кг/м³, после уплотнения на 20% заполняет объем 0,3×3×2,5 (0,3 м – толщина теплоизоляции в стене; 2,5 м – высота между поэтажными расщечками; 3 м – расстояние между соседними диафрагмами внутренней и наружной стен).

Вес уплотненного объема равен: 90×1,2×(0,3×3×2,5) = 243 кгс = 2383,8 Н.

Нормальное напряжение, которое вызовет вес G уплотненного массива на его нижний слой площадью s без учета сцепления материала со стенами, будет равно, Н/м²:

$$\sigma = \frac{G}{s} = 2383,8/0,9 = 2648,7. \quad (3)$$

Полученное значение равно 0,0026 МПа, что составляет всего 4,6% от прочности в цилиндре (0,057 МПа) при 20% деформации.

Для других фракций ковдорского и татарского вермикулита напряжения в нижних слоях массива составит соответственно:

– для ковдорского фракции: 5–7,5 мм – 0,0024 МПа (4,8%);
– для татарского фракций: 0,6–2 мм – 0,0047 МПа (6,4%);
2–4 мм – 0,0032 МПа (5%).

Как видно, напряжения в уплотненных массивах вермикулита намного меньше его прочности при 20% деформации. Но это для сухого материала с влажностью 4–5%.

В объемно-напряженном состоянии зерна вермикулита проявляют упругие свойства, массив расперт в замкнутом пространстве, его вес создает не только нормальные, но и касательные напряжения: вермикулит «цепляется» за стены за счет сил трения.

Чтобы оценить влияние этих сил, надо определить угол откоса при действии на массив внешней нагрузки.

Углы естественного откоса известны для всех сыпучих материалов, в том числе и для вспученного вермикулита, но только не под внешней нагрузкой. Опыты по определению угла откоса и соответствующих коэффициентов внутреннего трения были проведены автором впервые. Небольшой массив вспученного вермикулита рассыпался в виде конуса, срезалась его верхушка и на образовавшуюся плоскую поверхность устанавливались грузы в виде плоских цилиндр-ров. С одной стороны конуса материал аккуратно удалялся лопаткой, чтобы образовался естественный откос, отходящий от края цилиндра. В этом состоянии проводились измерения по которым рассчитывались значения φ и $\text{tg } \varphi$. Далее укладывался следующий груз, и после осадки конуса, измерительные и расчетные процедуры повторялись.

В табл. 3 приведены численные данные по результатам опытов с ковдорским вермикулитом фракции 5–7,5 мм.

Таблица 2

Модуль упругости и прочность в цилиндре

	Вермикулит татарский, фракция 0,6–2 мм	Вермикулит татарский, фракция 2–4 мм	Вермикулит ковдорский, фракция 2–5 мм	Вермикулит ковдорский, фракция 5–7,5 мм
Модуль упругости E , МПа	0,36	0,32	0,29	0,25
Прочность при 10%-й деформации, σ МПа	0,037	0,032	0,028	0,025
Прочность при 20%-й деформации, σ МПа	0,074	0,064	0,057	0,05

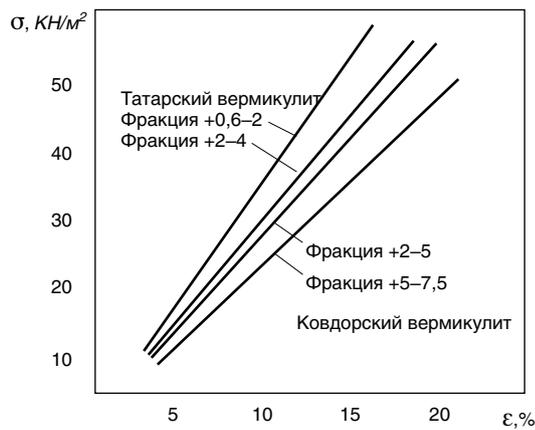


Рис. 2. Зависимость нормального напряжения в массиве вермикулита от относительной деформации проб различных видов и фракций материала

С увеличением нагрузки F угол откоса и его тангенс, примерно равный коэффициенту внутреннего трения в материале ($f \sim \operatorname{tg} \varphi$) увеличиваются, а $\operatorname{tg} \varphi$ достигает значения единицы и даже превышает ее. Очевидно, что в уплотненном массиве благодаря слоисто-пористой структуре вермикулита и шероховатости зерен работают еще и силы сцепления.

Эти тенденции имеют место и для других фракций; для мелкозернистых массивов эффект усиливается, а сцепление проявляется несколько более существенно, а татарский и ковдорский вермикулит практически не отличаются ни внутренним трением, ни углом откоса в нагруженном состоянии.

Из табл. 3 следует, что при нормальном напряжении в массиве материала всего 4,41 КПа, коэффициент внутреннего трения больше единицы, и следовательно, массив за счет сцепления будет дополнительно удерживаться от усадки под собственным весом.

Чрезмерное водонасыщение, как и действие вибрации, это эксплуатационные факторы, способные оказывать влияние на устойчивость вермикулитовых массивов к усадке.

Не вдаваясь в детали конструкции стен — отметим, что вермикулит засыпают в пространство стены послойно по 350–400 мм и уплотняют статическими усилиями, осаживая его на 7–18% в зависимости от фракции, не доводя до предельных значений, приведенных в табл. 2. Насыпная плотность вспученного вермикулита в массиве доводится до 110–155 кг/м³. Очевидно, что уплотнение несколько увеличивает коэффициент теплопроводности вермикулита.

На рис. 3 прямыми линиями отображены зависимости коэффициента теплопроводности вспученного вермикулита λ различных фракций при разной степени уплотнения, полученные по результатам опытов. Секущая кривая показывает изменение коэффициента λ в уплотненном состоянии при переходе от мелких фракций к более крупным при соответствующих степенях уплотнения.

Влияние влажности на теплопроводность вермикулита очень существенно и требует отдельного рассмотрения. Но здесь рассматривается вопрос устойчивости массива. При значительном увлажнении вес теплоизоляционного слоя заметно увеличивается, а массив стремится осесть за счет дополнительной массы воды.

Таблица 3

Нагрузка, напряжение и тангенс угла откоса

Усилие нагружения, Н	29,43	44,12	58,86	73,58	88,29
Нормальное напряжение, КПа	1,47	2,16	2,93	3,63	4,41
$\operatorname{tg} \varphi$	0,8	0,82	0,87	0,96	1,06
φ	39° 00'	39° 23'	41° 08'	42° 00'	44° 22'

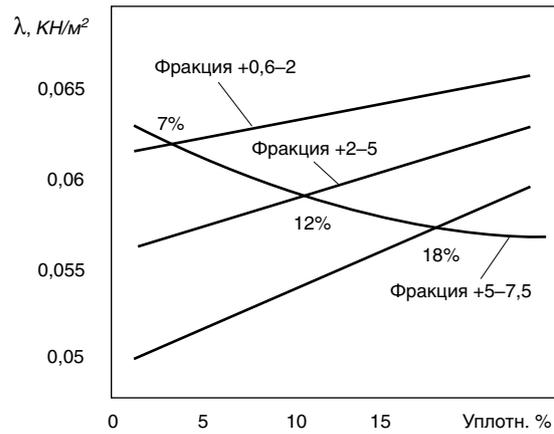


Рис. 3. Зависимости коэффициента теплопроводности вспученного вермикулита различных фракций при разной степени уплотнения

Если кладка наружного слоя стены не имеет дефектов, то прямое попадание воды в теплоизоляционный слой исключается. Но можно допустить, что при продолжительных осадках стеновой материал может пропитаться водой, так, что за счет капиллярных эффектов влажность утеплителя также значительно возрастет, возможно, на 15–25%.

Данные, полученные при определении напряжений в уплотненном массиве, позволяют сказать, что такое увлажнение совершенно не критично. Был проведен натурный эксперимент, в котором были созданы критические условия, неприемлемые и невозможные в реальности.

В специально изготовленный макет фрагмента трехслойной стены с размерами межстенного пространства: высота 0,96 м, ширина 0,39 м и толщина 0,18 м послойно, по 0,3 м засыпался вермикулит фракции + 2–5 и уплотнялся с осадкой примерно на 10%. Указанное пространство объемом 0,068 м³ было заполнено уплотненным вермикулитом, масса которого составила 7,3 кг. Далее в уплотненный массив вермикулита было залито 24 л воды и суммарная масса составила 31,3 кг. При этом абсолютная влажность (водопоглощение) уплотненного вермикулита достигла невозможного значения 329%, но усадки массива не произошло.

Водопоглощение вермикулита, из-за его слоисто-пористой структуры может достигать 400% [2]. Возьмем это критическое значение и сделаем расчет. Пусть вермикулитовый массив фракции 2–5 мм с насыпной плотностью около 90 кг/м³ после уплотнения на 20 % заполняет ранее принятый объем в трехслойной стене 0,3×3×2,5 м.

Вес сухого уплотненного вермикулита равен: $90 \times 1,2 \times (0,3 \times 3 \times 2,5) = 243 \text{ кг} = 2383,8 \text{ Н}$. При максимально возможном водопоглощении 400% его вес увеличится до 11919 Н. Нормальное напряжение, которое вызовет вес G_1 уплотненного массива на его нижний слой площадью s без учета сцепления материала со стенами, будет равно, Н/м²:



Рис. 4. Фрагмент стены, утепленной татарским вермикулитом фракции + 0,6–2 (2008 г.)

$$\sigma = \frac{G_1}{s} = 11919/0,9 = 13243,3. \quad (4)$$

Полученное напряжение равно 0,0132 МПа, что составляет 23,4% от прочности в цилиндре (0,057 МПа) при 20% деформации. Это почти в пять раз меньше. Расчеты для других фракций дают подобные результаты.

Проведенные опыты и расчеты убедительно показывают, что даже предельное водонасыщение не может привести к усадке предварительно уплотненного вермикулитового массива.

Известно, что вибрация обладает разрушающей способностью, так как снижает силы трения и сцепления между любыми взаимосвязанными элементами, например гайки откручиваются под действием вибрации [10].

Но транспортная вибрация, действующая на здания, – это низкочастотные колебания грунта частотой 2–25 Гц, способные вызывать локальные резонансы тех или иных элементов конструкции. Как и микросейсмика Земли, транспортная вибрация не характеризуется большой разрушительной мощностью.

Другое дело землетрясения. Хотя сейсмические колебания также являются низкочастотными, в их спектрах присутствуют и высокочастотные гармоники, но и их мощность даже на небольших расстояниях от эпицентра ничтожна. Разрушают низкочастотные волны.

Собственные частоты вермикулитовых зерен в уплотненном массиве, обладающих высокой упругостью и очень малой массой, на порядки превышают частоты транспортных и сейсмических возмущений, так что возникновение резонансных разрушающих явлений в вермикулитовых массивах невозможно.

Рассмотренный выше эксперимент был продолжен.

После двухсуточного выдерживания уплотненного массива в переувлажненном состоянии макет фрагмен-

та трехслойной стены, предварительно установленный на деревянном полу, был подвергнут воздействию вибрации. Рядом с ним был установлен незакрепленный промышленный площадочный вибратор ИВ 104-Б, создающий колебания с частотой 50 Гц.

В процессе эксперимента измерения интенсивности вибрации не производились из-за отсутствия соответствующей аппаратуры. Но участники эксперимента не смогли выдержать вибрацию и были вынуждены отойти на несколько шагов. В процессе работы вибратор подпрыгивал и перемещался вблизи испытываемого объекта, но, несмотря на интенсивную тряску в течение 10–12 мин, усадки вермикулита не произошло.

Приведенные результаты расчетов и данные экспериментов показывают, что при утеплении внутреннего пространства стен уплотненным вермикулитом усадка теплоизоляционного материала исключается почти пятикратным запасом прочности и дополнительным сцеплением материала с поверхностями стен. При соблюдении технологии послойного уплотнения в пределах 7, 12 и 18% в зависимости от фракционного состава теплоизоляции трехслойных стен с вермикулитовым утеплителем будет надежно служить весь срок службы дома.

На рис. 4 показан фрагмент специально построенной трехслойной стены, утепленной татарским вермикулитом фракции 0,6–2 мм в 2008 г. Стена выложена из строительного кирпича во входном проеме в цех вермикулита, расположенного на территории деревообрабатывающего комбината строительного-монтажного треста Восточно-Сибирской железной дороги в г. Иркутске.

Все это время вермикулит находится в условиях естественной атмосферной влажности. За эти годы произошло несколько землетрясений. И наконец, само время: прошло уже восемь лет. Нет никаких следов усадки уплотненного массива.

Список литературы

1. Кальянов Н.Н. Вермикулит и изделия из термовермикулита и вермикулитобетона. М.: Стройиздат, 1959. 114 с.
2. Производство и применение вермикулита / Под ред. проф. Н.А. Попова. М. Стройиздат, 1964. 128 с.
3. Подоляк Ф.С. Вермикулит в строительстве. М.: Стройиздат, 1966. 87 с.
4. Вермикулит (производство и применение) Сб. науч. трудов. Челябинск.: УралНИИстромпроект, 1988. 175 с.
5. Хвостенков С.И., Туркин А.Ф. Исследование физико-химических свойств ряда флогопит-вермикулит Ковдорского месторождения // *Горнометаллургический институт Кольского ф-ла АН СССР: Сб. науч. трудов*. 1966. С. 32–57.
6. Miguel Schuldt. Vermiculture. Theory and practice in agricultural, industrial, and domestic environments. Washington. 2006, p. 217.
7. Edwards C. Arancon, P. Sherman N. Vermiculture technology Washington: U.S., 2012, p. 623.
8. Кременецкая И.П., Беляевский А.Т., Васильева Т.Н. Аморфизация серпентиновых минералов в технологии получения магнезиально-силикатного реагента для иммобилизации тяжелых металлов // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2010. № 1. С. 41–49.
9. Кременецкая И.П., Корытная О.П., Васильева Т.Н. Реагент для иммобилизации тяжелых металлов из серпентиносодержащих вскрышных пород // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2008. № 4. С. 33–40.
10. Вибрации в технике: Справочник: В 6 т. / под. ред. В.Н. Челомей М.: Машиностроение. 1981. Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под. ред. Э.Э. Лавендела. 1981. 509 с.

References

1. Kal'ianov N.N. Vermiculite and produces made of thermal vermiculite and vermiculite concrete. Moscow: Stroyizdat. 1959. 114 p.
2. Popov N.A. Production and application of vermiculite. Moscow. Stroyizdat. 1964. 128 p.
3. Podoliak F. Vermiculite in building. Moscow. Stroyizdat. 1966. 87 p.
4. Vermiculite (Production and Application). *Collection of research papers*. Chelyabinsk: UralNIISTromproekt. 1988. 175 p.
5. Hvostenkov S.I. Turkin A.F. The research into physico-chemical properties of rows of kovdorski phlogopit-vermiculite deposit. *Kola branch of Institute of Mining and Smelting of Academy of Sciences of the USSR: collection of research papers*. 1966, pp. 32–57. (In Russian).
6. Miguel Schuldt. Vermiculture. Theory and practice in agricultural, industrial, and domestic environments. Washington. 2006. 217 p.
7. Edwards C. Vermiculture technology Arancon N., Sherman P. Washington: U.S. 2012. 623 p.
8. Kremenetskaya I.P. Belyaevskiy A.T., Vasilieva T.N. Amorphization of serpentine minerals in the technology of obtaining magnesia-silicate reagent for heavy metal immobilization *Khimiya v interesax ustoychivogo razvitiya*. 2010. No 1, pp. 41–49. (In Russian).
9. Kremenetskaya I.P. Koritnaya O.P., Vasilieva T.N. Reagent Used to Immobilize Heavy Metals of Overburden Rocks Containing Serpentine. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye*. 2008. No. 4, pp. 33–40. (In Russian).
10. Chelomey V.N. Vibration Technique: A Handbook in Six Volumes. Moscow: Mashinostroenie. 1981. Vol. 4. Vibrating processes and machines / ed. by E.E. Lavendel. 1981. 509 p.

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера, что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации (ссылки на авторефераты диссертаций не допускаются).
4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.
2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

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

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

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc, *.docx или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/aytoru.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/88>

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

NANO-TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION

NTC-2018

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

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

Хургада, Египет
Hurgada, Egypt

Отель / Hotel
Sunny Days El Palacio Resort & Spa

Организатор конференции / Organizer

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

Соорганизаторы конференции / Co-organizers

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



Египетско-русский университет
Egyptian Russian University (ERU)



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



Тематика конференции / Conference Themes

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

Параллельно с конференцией в помещении отеля будет проходить выставка.

Экспоненты предоставляются следующие категории спонсорского участия:

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

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

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

Основные даты и условия участия / Deadlines and Conference fees

- Принятие рефератов (abstract) 01/11/2017
- Представление полной рукописи 01/12/2017
- Принятие полных рукописей 01/01/2018
- Окончательный прием заявок 01/02/2018

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

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

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

- Acceptance for abstract 01/11/2017
- Submission of full manuscript 01/12/2017
- Acceptance for full manuscripts 01/01/2018
- Final acceptance 01/02/2018

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

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

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

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

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ[®]**

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

Контактная информация в России / Contact information in Russia

Профессор Григорий Иванович Яковлев
ИжГТУ им. М.Т. Калашникова
E-mail: gyakov@istu.ru Тел.: 89128566668
Факс: +7(3412)592555
Prof. G.I. Yakovlev
Studencheskaya Str., 7, Izhevsk, 426069, Russia
Mob. +79128566688, E-mail: gyakov@istu.ru

Контактная информация в Египте (только на английском языке)

/ Contact information in Egypt (English only)
Prof. Magdy Helal, Prof. Sayed Shebl
Housing & Building National Research Center
El-Tahrir Street, Dokki, Giza-Egypt
Tel: +20233356853, 37617107
Mr. Haysam Wahed
Mob: +201226293390
info@ntchbrc.com ntc_nano@yahoo.com

II Международный симпозиум по долговечности и устойчивому развитию конструкционного бетона

DSCS 2018

Москва,



6-7 июня 2018 г.

Организаторы:

Итальянское отделение американского института бетона (ACI IC)
и Российская инженерная академия (РИА)

При участии Российской академии наук (РАН) и Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН)

Спонсоры конференции:

Американский институт бетона (ACI) и его комитеты: C130 (Sustainability of Concrete), C201 (Durability of Concrete), C544 (Fiber Reinforced Concrete), C549 (Thin Reinforced Cementitious Products and Ferrocement);

Международная федерация по конструкционному бетону (fib);

Международный союз экспертов и лабораторий в области испытаний строительных материалов, систем и конструкций (RILEM)



Тематика симпозиума

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

Место проведения конференции: Российская академия наук, Москва, Россия

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

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

Российский секретариат: Леонид Иванов, региональная группа РИЛЕМ (l.a.ivanov@mail.ru);
Сергей Бронин, Национальная группа ФИБ (bronin@list.ru).