

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №11



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU НОЯБРЬ 2018 г. (765)

Темы номера:

- Современные бетоны: наука и практика
- Нанотехнологии в строительстве
- Технологии и оборудование
- Результаты научных исследований

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 2019 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
- бетон и железобетон
- крупнопанельному домостроению
- керамическим строительным материалам
- силикатным материалам
- гипсовым материалам в строительстве к проведению международной конференции по гипсу
- нерудным строительным материалам

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

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 11

Основан в 1955 г.

(765) ноябрь 2018 г.

Учредитель журнала:
ООО Рекламно-издательская
фирма «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
Свидетельство о регистрации
ПИ №77-1989
Входит в Перечень ВАК,
государственный проект **РИНЦ,**
Russian Science Citation Index
на платформе Web of Science

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)

АСКАДСКИЙ А. А.,
д-р хим. наук, профессор (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)

ЕРОФЕЕВ В. Т.,
д-р техн. наук, профессор,
Академик РААСН (Саранск)

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

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

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)

МУРТАЗАЕВ С. -А. Ю.,
д-р техн. наук, профессор (Грозный)

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)

С. ШЕБЛ М.,
д-р наук, профессор (Египет)

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»®, 2018

Современные бетоны: наука и практика

А.И. САГАЙДАК

**Перспективные направления применения метода акустической эмиссии
в строительстве** 3

СЕЛЕЕМ С.Е. АХМАД, ХОССАМ С. ХАЛИЛ, ИБРАГИМ А. ШАРАКИ, АХМАД М. ЭЛЬ-АЗАБ

**Свойства высокопрочного бетона с нанокремнеземом
после воздействия высокой температуры** 8

И.С. КУЗНЕЦОВА, В.Г. РЯБЧЕНКОВА, М.П. КОРНЮШИНА, И.П. САВРАСОВ, М.С. ВОСТРОВ

**Полипропиленовая фибра – эффективный способ борьбы
со взрывообразным разрушением бетона при пожаре** 15

Г.С. КАРДУМЯН, С.И. ИВАНОВ

**Система защиты железобетонных конструкций
от подземных вод «белая ванна»** 21

Л.В. МОРГУН, Д.А. ВОТРИН, В.Н. МОРГУН

**Влияние диаметра дисперсной арматуры на скорость фазового перехода
в фибропенобетонных смесях** 27

Нанотехнологии в строительстве

В.В. ТЮКАВКИНА, А.Г. КАСИКОВ, Б.И. ГУРЕВИЧ

**Структурообразование цементного камня, модифицированного
добавкой нанодисперсного диоксида кремния** 31

АХМЕД Аль ГАБАН, АСЕЕЛЬ Б. Аль ЗУБАИДИ, ЗАХРАА ФАХРИ ДЖАВАД

**Переработка отходов кремнегеля и известняка в иракский экологически
безопасный («зеленый») бетон и сравнение с микро- и нанокремнеземом** 36

**Применение искусственных пористых заполнителей и изделий
на их основе в жилищном, гражданском, промышленном, дорожном
и гидротехническом строительстве (Информация)** 43

Технологии и оборудование

Н.С. СОКОЛОВ

Укрепление оползневого склона 44

Результаты научных исследований

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

**Повышение эффективности цементных вяжущих с использованием
кремнеземсодержащего модификатора** 56

**Повышение эффективности производства и применения гипсовых
материалов и изделий (Информация)** 60

Я.И. ВАЙСМАН, Ю.А. КЕТОВ, В.С. КОРЗАНОВ, М.П. КРАСНОВСКИХ

**Особенности химии газообразования при одностадийном синтезе
пеностекла из гидроксида и нитрата натрия** 64

В.Н. КУПРИЯНОВ, А.М. ЮЗМУХАМЕТОВ

**Разработка математической модели теплопроводности
сухой и влажной минеральной ваты** 68

Вниманию читателей! В № 10 за 2018 г. на стр. 64 следует читать:

А.А. АСКАДСКИЙ^{1, 2}, д-р хим. наук, зав. лабораторией ИНЭОС РАН (andrey@ineos.ac.ru); Т.А. МАЦЕВИЧ¹, д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой прикладной математики МГСУ (tmats@rambler.ru); В.И. КОНДРАЩЕНКО³, д-р техн. наук, профессор кафедры «Строительные материалы и технологии» МИИТ (kondrashchenko@mail.ru)

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

² Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН (119991, г. Москва, ул. Вавилова, 28)

³ Российский университет транспорта (127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9)

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

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

Founder of the journal:
 «STROYMATERIALY»
 Advertising-Publishing Firm, OOO
 Registration certificate
 PI № 77–1989
 Included in the list of journals of
 the Higher Attestation Commission
 (Russia), Project Russian Science
 Citation Index (Russia), Russian
 Science Citation Index on the
 platform Web of Science

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROITEL'NYE MATERIALY®

№ 11

Founded in 1955 (765) November 2018

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

ASKADSKIY A.,
 Doctor of Sciences (Chemistry),
 Professor (Moscow)

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

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

VAYSBERG L.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Academician of RAAS
 (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)

EROFEEV V. T.,
 Doctor of Science (Engineering), Professor,
 Academician of RAACS (Saransk)

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

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

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)

MURTAZAEV S. -A.,
 Doctor of Science (Engineering),
 Professor (Grozny)

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)

S. SHEBL M.,
 Doctor of Science, Professor (Egypt)

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

A.I. SAGAIDAK

Promising Directions of Application of Acoustic Emission Method in Construction 3

SELEEM S.E. AHMAD, HOSSAM S. KHALIL, IBRAHIM A. SHARAKY, AHMAD M. EI-AZAB

Performance of Residual Properties for High Strength Concrete Incorporating Nanosilica against Temperatures 8

I.S. KUZNETSOVA, V.G. RYABCHENKOVA, M.P. KORNUSHINA, I.P. SAVRASOV, M.S. VOSTROV

Наз Polypropylene Fiber is an Effective Way to Struggle with the Explosion-Like Destruction of Concrete in Case of Fire вание 15

G.S. KARDUMYAN, S.I. IVANOV

"White Bath" Protection System of Reinforced Concrete Structures against Underground Water 21

L.V. MORGUN, D.A. VOTRIN, V.N. MORGUN

Influence of the Disperse Reinforcement Diameter on the Speed of Phase Transfer in Fibro-Foam Concrete Mixes 27

Nanotechnologies in construction

V.V. TYUKAVKINA, A.G. KASIKOV, B.I. GUREVICH

Structure Formation of Cement Stone Modified with Additive of Nano-Disperse Silicon Dioxide 31

AHMED AI GHABAN, ASEEL B. AI ZUBAIDI, ZAHRAA FAKHRI JAWAD

Recycling of Waste Silica Gel And Limestone in Iraqi Green Concrete and Comparisons with Micro and Nanosilica 36

Application of Artificial Porous Fillers and Products on their Basis in Housing, Civil, Industrial, Road and Hydraulic Construction (Information) 43

Technologies and equipment

N.S. SOKOLOV

Strengthening Landslide Slope 44

Results of scientific research

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

Improving the Efficiency of Cement Binders with the Use of Silica-Containing Modifier 56

Improving the Efficiency of Production and use of Gypsum Materials and Products (Information) 60

Ya.I. VAYSMAN, Yu.A. KETOV, V.S. KORZANOV, M.P. KRASNOVSKIY

Features of Gas Formation Chemistry at Single-Stage Synthesis of Foam Glass from Hydroxide and Sodium Nitrate 64

V.N. KUPRIYANOV, A.M. YUZMUHAMETOV

Development of Mathematical Model of Heat Conductivity of Dry and Wet Mineral Wool 68

А.И. САГАЙДАК, канд. техн. наук (sagaidak-niizhb@mail.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (НИИЖБ), АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Перспективные направления применения метода акустической эмиссии в строительстве

Объектом исследования являются железобетонные балки, изготовленные из обычных и высокопрочных бетонов и фибробетона с процентом армирования 1,9–2,3%. Испытания проводились путем статического и циклического приложения нагрузки. Балки испытывались на изгиб. В процессе испытаний регистрировались параметры сигналов акустической эмиссии. Целью выполнения исследований является получение экспериментальных данных, достаточных для разработки методики контроля состояния и диагностирования конструкций из бетона и железобетона с помощью акустической эмиссии. В практике строительства метод акустической эмиссии используется редко, отсутствуют апробированные методики и нормативные документы. Предлагаемые методики позволят использовать метод акустической эмиссии для оценки состояния конструкции в целом и оценивать влияние дефектов и повреждений на несущую способность конструкции. Применение метода акустической эмиссии позволит получить значительный экономический эффект, так как существенно снизятся трудозатраты при проведении обследований строительных конструкций, применение разработанных методик значительно повысит надежность и безопасность сооружений. Предлагается методика классификации трещин в изгибаемых элементах методом акустической эмиссии. Классификацию производят по двум параметрам – R_A и F_A . Применяя эти параметры, проводят классификацию трещин на трещины отрыва и смешанные типы трещин, включая трещины сдвига. В результате проведенных исследований уточнены границы проявления эффекта Кайзера для железобетонных балок, изготовленных из различных видов бетона.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, параметры сигналов акустической эмиссии, железобетонные конструкции, дефекты, эффект Кайзера.

Для цитирования: Сагайдак А.И. Перспективные направления применения метода акустической эмиссии в строительстве // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-3-7>

A.I. SAGAIK, Candidate of Sciences (Engineering)

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZHB), JSC Research Center of Construction (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Promising Directions of Application of Acoustic Emission Method in Construction

The object of the study is reinforced concrete beams made of conventional and high-strength concretes and fiber concrete with a reinforcement percentage of 1.9–2.3 %. The test was carried out by static and cyclic application of the load. The beams were tested for bending. During the tests, the parameters of acoustic emission signals were recorded. The aim of the research is to obtain experimental data sufficient for the development of methods for condition control and diagnosis of structures made of concrete and reinforced concrete by the acoustic emission method. In construction practice, the method of acoustic emission is rarely used, there are no approved methods and regulations. The developed methods will make it possible to use the method of acoustic emission to assess the state of the structure as a whole and to assess the impact of defects and damages on the bearing capacity of the structure. Application of the acoustic emission method will make it possible to obtain a significant economic effect, as significantly reduced labor costs during the surveys of building structures; the application of the developed techniques will significantly increase the reliability and safety of structures. The procedure of classification of cracks in flexible elements by the acoustic emission method is proposed. Classification is made by two parameters R_A and F_A . Using these parameters, the classification of cracks as separation cracks and mixed types of cracks, including shear cracks, is made. As a result of the research conducted, the boundaries of the Kaiser effect for reinforced concrete beams made of various types of concrete have been clarified.

Keywords: acoustic emission, parameters of acoustic emission signals, reinforced concrete structures, defects, Kaiser effect.

For citation: Sagaidak A.I. Promising directions of application of acoustic emission method in construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-3-7>. (In Russian).

Метод акустической эмиссии (АЭ) является эффективным методом неразрушающего контроля, который широко используется в машиностроении, атомной энергетике, нефтяной и газовой отрасли для контроля целостности трубопроводов; в химической промышленности применяется для контроля сосудов давления.

В строительстве метод акустической эмиссии находит все более широкое использование, как в неразрушающем контроле, так и в оценке состояния строительных конструкций [1–7].

Характерными особенностями метода АЭ-контроля, определяющими его возможности и область применения, являются следующие:

– метод АЭ-контроля обеспечивает обнаружение и регистрацию только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности;

– метод АЭ-контроля обладает высокой чувствительностью к растущим дефектам и позволяет выявить в рабочих условиях развитие трещины;

– свойство интегральности обеспечивает контроль всего объекта с использованием одного или нескольких преобразователей АЭ-контроля, неподвижно установленных на поверхности объекта;

– метод АЭ позволяет проводить контроль различных технологических процессов и процессов изменения свойств и состояния материалов;

– положение и ориентация объекта не влияют на локацию дефектов;

– метод АЭ имеет меньше ограничений, связанных со свойствами и структурой материалов.

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева в рамках работ по НИОКР ФАУ ФЦС совместно с «Интерюнис ИТ» (Москва) были проведены экспериментальные исследования. Целью исследований является получение



Рис. 1. Испытание балки. На рисунке показано нагружающее устройство (1), железобетонная балка (2), акустико-эмиссионная система A-Line 32D (3)

экспериментальных данных, достаточных для разработки методик контроля состояния и диагностирования конструкций из бетона и железобетона методом АЭ. В рамках НИОКР были поставлены следующие задачи: определение характеристик акустико-эмиссионного оборудования, методик поверки оборудования и выбор частотных диапазонов датчиков АЭ, способов крепления датчиков на бетон [8–11]. Кроме того, уточнялась методика испытания методом АЭ для классификации активных трещин в бетоне, методика классификации повреждений в железобетонных балках, оценка состояния строительных конструкций. В ходе эксперимента были выполнены испытания шести образцов железобетонных балок прямоугольного поперечного сечения размером 200×150 мм, длиной 1,5 м. Каркасы для армирования балок изготавли-

ваются трех типов. Тип первый каркаса: нижняя арматура рабочая – 3Ø12 А500С, верхняя арматура 2Ø10 А500С. Второй тип каркаса: нижняя арматура 2Ø18 А500С, верхняя арматура 2Ø16 А500С. Третий тип каркаса: нижняя арматура 2Ø14 А500С, верхняя арматура – 2Ø10 А500С, средний ряд арматуры – 2Ø10 А500С. Для изготовления бетона балок применялся бетон трех классов по прочности на сжатие: В30, В60, В90. В ряде балок (второй и третий типы каркаса) при бетонировании использовалась металлическая фибра (Recommendation of RILEM TC 212-ACD: Acoustic emission and related NDE techniques for crack detection and damage evaluation in concrete*. Test method for classification of active cracks in concrete structures by acoustic emission).

Балки испытывались на изгиб. Нагрузку к балкам прикладывают при помощи испытательной машины фирмы «Instron», модель 5988. Режим приложения нагрузки – малоцикловое повторное нагружение. Величина ступени нагружения – 10% от разрушающей нагрузки. На каждой ступени нагружения и разгрузки осуществляется выдержка в течение 10 мин. На этапах нагружения и разгрузки осуществляется регистрация параметров сигналов АЭ, измерение прогиба образца, фиксация длины и ширины раскрытия трещин. При достижении расчетной (контрольной нагрузки) выдержка на этапе нагружения была в течение 30 мин. В процессе эксперимента образцы испытываются до разрушения.

Акустический контакт между датчиком АЭ и бетоном балки производится при помощи контактной смазки. Принятая схема размещения датчиков АЭ позволяет вычислять координаты объемных (планарных, линейных) источников АЭ. В качестве преобразователей АЭ использовались резонансный датчик Д30-300 производства «Донские акустические системы» с рабочей частотой 30–300 кГц. Акустико-эмиссионные измерения выполнялись с использованием 12-канальной цифровой акустико-эмиссионной системы A-Line 32D (ISA). Перед проведением измерений проводились стандартные процедуры подготовки прибора к работе.

Результаты эксперимента

На основании зависимостей средняя частота (время нарастания / амплитуда) можно проводить разделение типов трещин на трещины растяжения и другие типы (в том числе трещины сдвига), что достигается благодаря чувствительности формы волны сигнала АЭ к различным типам разрушения, в том числе и различным типам процесса трещинообразования.

При испытаниях на изгиб балок первоначально образуются трещины растяжения, которые располагаются перпендикулярно продольной оси арматуры. При дальнейшем нагружении в балках образуются трещины сдвига. Образование данных трещин происходит в зоне поперечных усилий, а располагаются они по диагонали к осям арматурных стержней.

На рис. 2 представлены результаты классификации трещин на основании вышерассмотренных пара-

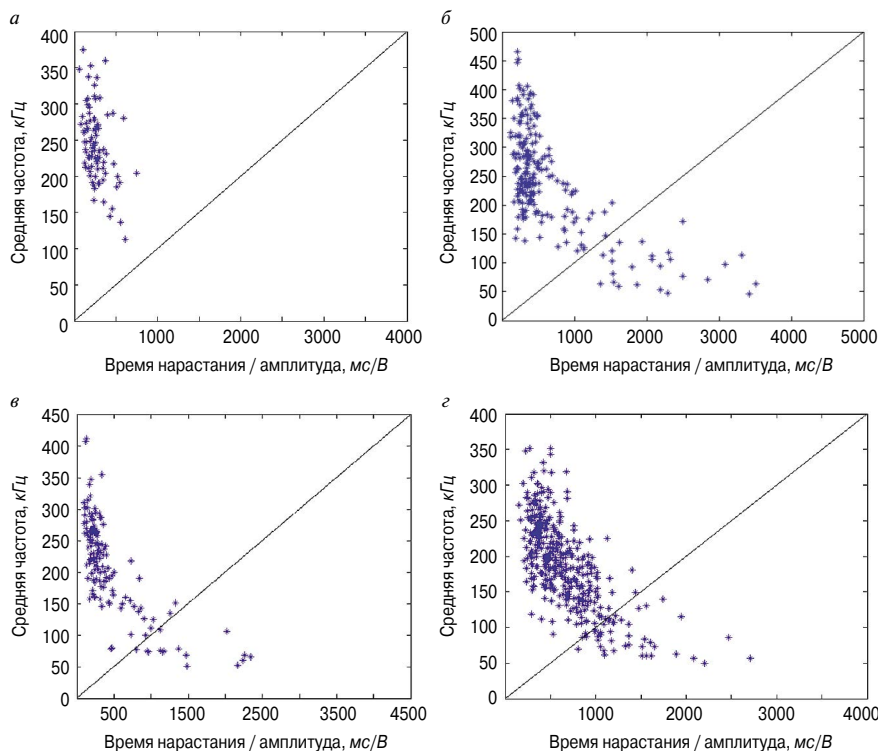


Рис. 2. Зависимость средней частоты образования трещин от времени (амплитуды) приложения нагрузки для балки с третьим типом каркаса и бетоном В90 при нагрузке: а – 30 кН; б – 45 кН; в – 75 кН; г – 85 кН

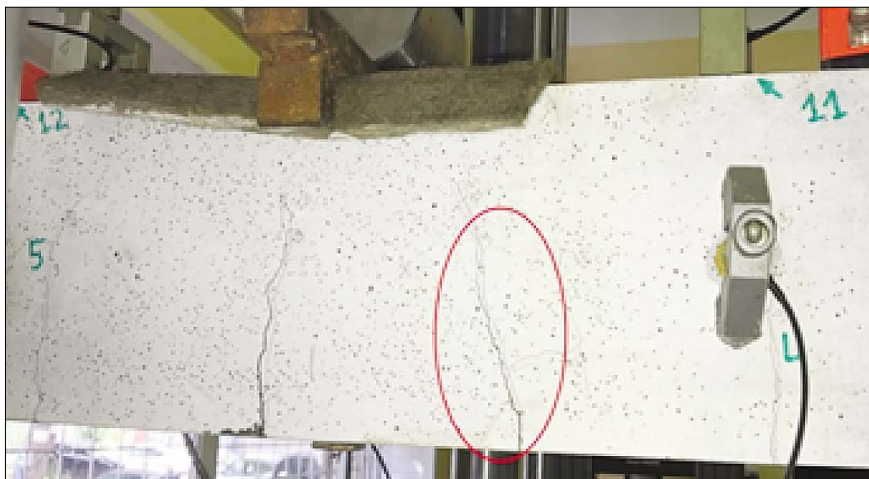


Рис. 3. Наличие видимой трещины сдвига на балке

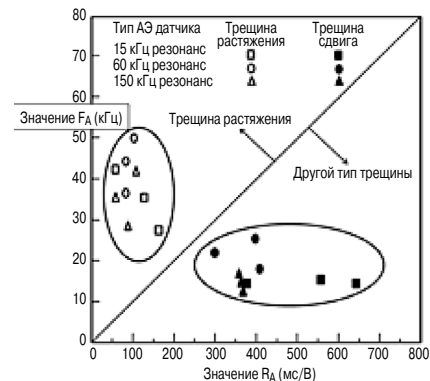


Рис. 4. Классификация трещин методом АЭ. Обобщенные данные

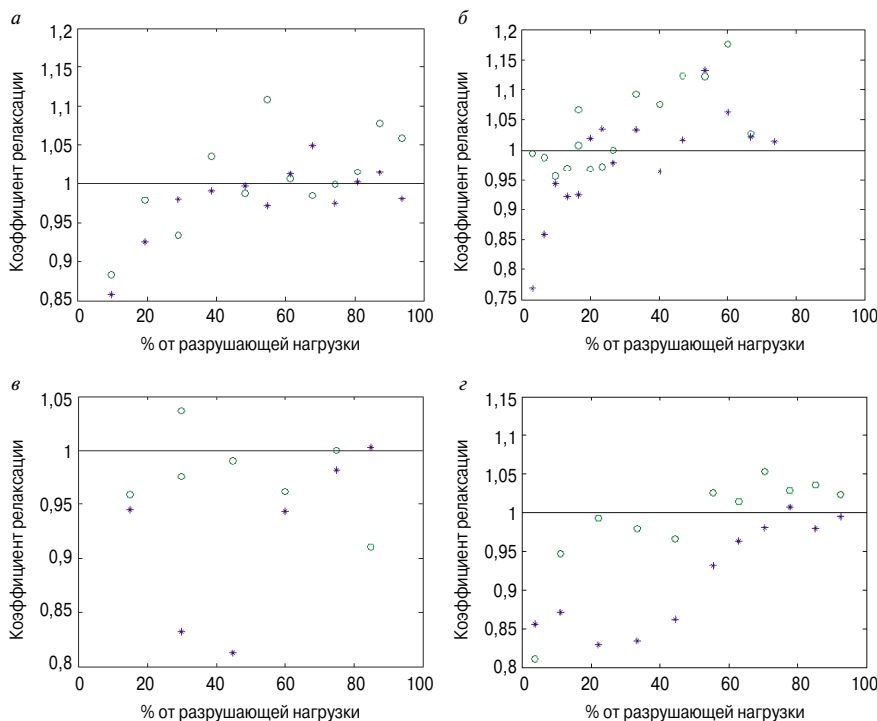


Рис. 7. Зависимость коэффициента релаксации от процентной величины разрушающей нагрузки для балок: а – балка № 1; б – балка № 2; в – балка № 3; г – балка № 4

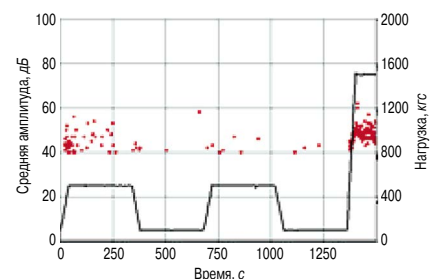


Рис. 5. Зависимость средняя амплитуда – нагрузка для самого активного канала балки с третьим типом каркаса и бетоном В90

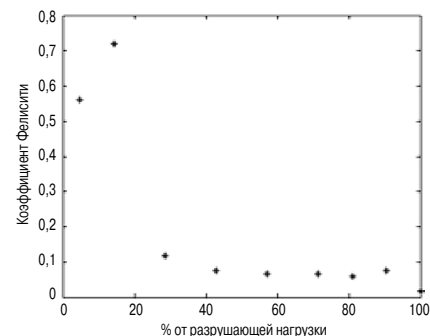


Рис. 6. Зависимость коэффициента Фелисити от разрушающей нагрузки для балки с третьим типом каркаса и бетоном В90

метров. Данные зависимости представлены для балки с третьим типом каркаса и бетоном В90.

На начальных этапах нагружения (рис. 2, а) наблюдается процесс образования трещин растяжения. На более поздних этапах (рис. 2, б–г) из трещин растяжения образуются трещины сдвига.

Применяя эти параметры, проводят классификацию трещин на трещины отрыва и смешанные типы трещин, включая трещины сдвига, причем значения R_d и средних частот F_d должны рассчитываться по среднему значению по результатам 50 и более значений сигналов АЭ. Значения R_d могут изменяться в зависимости от порогового уровня.

В то же время выбор преобразователей АЭ не оказывает значительного влияния на результаты классификации, как это показано на рис. 4. Эффект Кайзера и эффект Фелисити очень наглядно можно рассмотреть на начальных этапах нагружения образца (рис. 5).

При самом первом нагружении до 5 кН происходит резкое увеличение сигналов акустической эмиссии

(рис. 5), генерация которых вызвана перестройкой внутренней структуры испытуемого материала, который ранее не подвергался внешним нагрузкам. Средняя амплитуда сигналов лежит в диапазоне от 40 до 58 дБ.

При повторном нагружении до 5 кН генерации сигналов АЭ практически не происходит. Первые сигналы появляются при достижении нагрузкой величины 2,8 кН. Амплитуда сигналов незначительно превышает пороговые значения. Однако при последующем нагружении до 15 кН наблюдается резкое увеличение активности АЭ, а также увеличение средней амплитуды регистрируемых сигналов, вплоть до 65 дБ. При этом первые импульсы АЭ начинают регистрироваться при нагрузке, превышающей предыдущий уровень нагружения, а именно 5,25 кН. Описанные выше наблюдения объясняются эффектом Кайзера и могут быть количественно описаны при помощи коэффициента Фелисити (рис. 6).

Из рис. 6 видно, что на начальных циклах нагружения значение коэффициента Фелисити имеют величину

ну, близкую к единице, что соответствует стабильной структуре материала. С последующим увеличением нагрузки значение данного коэффициента начинает уменьшаться, а при нагрузке более 40% от разрушающей имеет очень низкие значения, что свидетельствует о большом количестве накопленных повреждений. При нагрузке, равной разрушающей, оно и вовсе стремится к нулю.

Одним из параметров, основанным на эффекте Кайзера и позволяющим оценивать степень поврежденности бетонных конструкций, является коэффициент релаксации. Коэффициент релаксации рассчитывается на основании АЭ данных, полученных циклическим приложением нагрузки:

$$\text{Коэффициент релаксации} = \frac{\text{Средняя энергия в течение фазы разгрузки}}{\text{Средняя энергия в течение фазы нагрузки}}$$

Средняя энергия определяется как суммарная энергия, зарегистрированная всеми датчиками и деленная на общее количество импульсов АЭ для каждой фазы. Значение данного параметра коррелировано со степенью поврежденности бетонных конструкций и имеет три характерных значения, на основании которых можно судить о ее состоянии:

- значение коэффициента релаксации меньше единицы. Доминирует АЭ активность при нагружении. Данный факт свидетельствует о том, что энергия упругих волн, генерируемая в процессе испытаний на фазе нагрузки, превышает данную величину, зарегистрированную на фазе разгрузки. Это стандартный режим работы образца;

- значение коэффициента релаксации равно единице. При этом энергия АЭ, генерируемая при нагружении, равна энергии АЭ, генерируемой при разгрузке;

- значение коэффициента релаксации больше единицы. При этом энергия АЭ при разгрузке доминирует над энергией АЭ при нагрузке. Это означает, что в объекте имеются необратимые повреждения, которые проявляются даже при разгрузке образца (А.И. Сагайдак. Патент на изобретение № 2417369 «Способ определения предельного состояния строительных конструкций»; А.И. Сагайдак, С.Б. Крылов. А.С. № 2147736 «Способ контроля несущей способности закладных деталей»).

Расчет данного параметра осуществляется для каждого цикла «нагрузка-разгрузка». Ключевым моментом является переход коэффициента релаксации через значение единицы. Данный момент соответствует переходу конструкции из работоспособного состояния

в состояние, когда конструкция имеет серьезные повреждения.

В проводимых экспериментах расчет коэффициента релаксации проводился для каждого цикла нагружения (как для первого максимального цикла, так и для повторных циклов с той же величиной нагрузки). Полученные результаты представлены на рис. 7, где синим цветом обозначены значения коэффициента релаксации, рассчитанные при первом нагружении, а зеленым цветом – полученные при вторичном нагружении до той же величины.

Как можно заметить из рис. 7, для каждой балки имеется свое значение процентного значения нагрузки от разрушающей, при котором происходит переход значения коэффициента релаксации через единицу.

Анализ результатов эксперимента показал, что проявление эффекта Кайзера зависит от прочности бетона балок, наличия фибры в бетоне конструкции. Увеличение прочностных характеристик бетона повышает уровень нагрузки, при которой эффект Кайзера начинает не соблюдаться. Наличие фибры приводит к снижению уровня нагрузки, при которой начинает проявляться эффект Фелисити.

Заключение

Исследования, проведенные зарубежными коллегами и исследования, проведенные в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, показывают перспективность применения метода для контроля качества бетона, контроля состояния конструкций, мониторинга сооружений.

Классификация трещин в бетоне проводится на основании измерения АЭ параметров. Классификацию трещин производят по двум параметрам R_A и F_A . Применяя эти параметры, проводят классификацию трещин на трещины отрыва и смешанные типы трещин, включая трещины сдвига.

Для изгибаемых элементов проявление эффекта Кайзера зависит от прочности бетона балок, наличия фибры в бетоне конструкции. Увеличение прочностных характеристик бетона повышает уровень нагрузки, при которой эффект Кайзера начинает не соблюдаться. Наличие фибры приводит к снижению уровня нагрузки, при которой начинает проявляться эффект Фелисити.

Применение метода акустической эмиссии позволит получить значительный экономический эффект, так как существенно снизятся трудозатраты при проведении обследований строительных конструкций; применение разработанных методик значительно повысит надежность и безопасность сооружений.

Список литературы

1. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. М.: Изд-во стандартов, 1976. 272 с.
2. Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии. Неразрушающий контроль. М.: Машиностроение. 2005. 340 с.
3. NDIS 2421. Recommended Practice for In-Situ Monitoring of Concrete Structures by Acoustic Emission, Japanese Society for Non-Destructive Inspection, 2000.
4. Сагайдак А.И. Исследование эффекта Кайзера в сжатых железобетонных элементах. Экспериментальные и теоретические исследования строительных конструкций. *Сб. научн. тр. ЦНИИСК им. Кучеренко*. М., 1990. С. 127–129.
5. JCMS-III B5706, Monitoring method for active cracks in concrete by acoustic emission, Federation of Construction Materials Industries, Japan, 2003.

References

1. Greshnikov V. A., Drobot YU. B. Akusticheskaya emissiya [Acoustic issue]. M.: Izdatelstvo standartov, 1976. 272 p.
2. Ivanov V. I., Vlasov I. EH. Metod akusticheskoy emissii. Nerazrushayushchij kontrol' [Metod of acoustic issue. Nondestructive control]. Moscow: Mashinostroenie. 2005. 340 p.
3. NDIS 2421. Recommended Practice for In-Situ Monitoring of Concrete Structures by Acoustic Emission, Japanese Society for Non-Destructive Inspection, 2000.
4. Sagajdak A.I. A research of effect of Kayser in the compressed reinforced concrete elements. Pilot and theoretical studies of building constructions. *Papers of scientific conference CNIISK of Kucherenko*. Moscow. 1990, pp. 127–129. (In Russian).

6. Sagaidak A., Elizarov S., Reshetilova N. Experience in application of acoustic emission method for estimation of building construction condition. *30th European Conference on Acoustic Emission Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission*. University of Granada, 12–15 September 2012.
7. Перфилов В.А. Контроль деформации и разрушения бетонов методами механики разрушения и акустической эмиссии // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2014. № 38 (57). С. 75–84.
8. Сагайдак А.И. Современное состояние стандартов по акустической эмиссии // *Бетон и железобетон*. 2013. № 3. С. 16–20.
9. Сагайдак А.И. Применение метода акустической эмиссии для оценки качества заделки закладных деталей // *Бетон и железобетон*. 1998. № 5. С. 15–16.
10. Сагайдак А.И., Elizarov S.V. Связь сигналов акустической эмиссии с процессами деформирования и разрушения строительных конструкций // *Дефектоскопия*. 2004. № 11. С. 32–39.
11. Сагайдак А.И. Применение акустико-эмиссионных критериев для анализа процессов деформирования и разрушения бетона. *Международная конференция: «Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве»*. 10–12 октября 2007 г., Санкт-Петербург. С. 55–61.
5. JCMS-III B5706. Monitoring method for active cracks in concrete by acoustic emission. Federation of Construction Materials Industries. Japan, 2003.
6. Sagaidak A., Elizarov S., Reshetilova N. Experience in application of acoustic emission method for estimation of building construction condition. *30-th European Conference on Acoustic Emission Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission*. University of Granada, 12–15 September 2012.
7. Perfilov V. A. Control of deformation and destruction of concrete by methods of mechanics of destruction and acoustic issue. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhi-tekturnostroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2014. No. 38 (57), pp. 75–84. (In Russian).
8. Sagaydak A.I. The current state of standards on acoustic issue. *Beton i zhelezobeton*. 2013. No. 3, pp. 16–20. (In Russian).
9. Sagajdak A.I. Application of a method of acoustic issue for assessment of quality of seal of embedded parts. *Beton i zhelezobeton*. 1998. No. 5, pp. 15–16. (In Russian).
10. Sagajdak A.I., Elizarov S.V. Connection of signals of acoustic issue with processes of deformation and destruction of building constructions. *Defektoskopiya*. 2004. No. 11, pp. 32–39. (In Russian).
11. Sagajdak A.I. Use of akustiko-issue criteria for the analysis of processes of deformation and destruction of concrete. *International conference: "Problems of durability of buildings and constructions in modern construction"*. Sain Peterburg. October, 10–12 2007, pp. 55–61. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ

На строительных площадках Москвы проверили качество применяемых материалов

С начала 2018 г. Мосгосстройнадзор совместно со специалистами Центра экспертиз (ГБУ «ЦЭИИС») провел целевые проверки строящихся объектов на предмет соответствия применяемых стройматериалов требованиям проекта и документам о качестве.

Среди проверяемых материалов: бетон и мелкоштучные бетонные изделия (стеновые блоки), кирпич, металлоизделия, гидроизоляционные и теплоизоляционные материалы, отделочные материалы, сухие смеси и др.

Специалисты ГБУ «ЦЭИИС» провели 1328 испытаний материалов и изделий с 969 объектов, на которых производился отбор строительных материалов разных производителей с целью определения их соответствия требованиям проекта и сопроводительным документам (паспорту).

По результатам испытаний 1152 образца соответствуют требованиям ГОСТ и заявленным в паспорте характеристикам, а в 176 случаях выявлены отклонения от нормативно-технической документации. Большой процент несоответствий выявлен при испытаниях минераловатного утеплителя и кирпича вследствие недолжного входного контроля на объектах строительства, а также неправильного хранения и складирования материалов и изделий.



По всем фактам нарушений Мосгосстройнадзором к заказчикам и подрядчикам приняты меры административного воздействия. На предприятия стройиндустрии направлены письма по фактам несоответствий, с представителями строительных организаций проведены совещания по качеству.

**Комитет государственного
строительного надзора Москвы**

СЕЛЕЕМ С.Е. АХМАД, профессор, начальник отдела по развитию, ХОССАМ С. ХАЛИЛ, доцент, ИБРАГИМ А. ШАРАКИ, преподаватель, АХМАД М. эль-АЗАБ, демонстратор

Кафедра материаловедения, инженерный факультет, Университет Загазиг (44519, Загазиг, Университет Загазиг, Шаркия, Египет)

Свойства высокопрочного бетона с нанокремнеземом после воздействия высокой температуры

Высокопрочный бетон (ВПБ) является основным материалом в связи с широким диапазоном его применения при строительстве высотных зданий, мостов, оболочек ядерных реакторов и т. п. Остаточные механические свойства ВПБ после огневого воздействия имеют большое значение при определении несущей способности конструктивных элементов, необходимых для реконструкции и восстановления бетонных конструкций. Характеристики наночастиц кремнезема (НК) в составе ВПБ были оценены при двух значениях повышенной температуры – 200 и 400°C, подвергая воздействию до определения температуры с последующим охлаждением до температуры окружающей среды перед выполнением экспериментов. Уменьшение в потере веса наблюдалось в образцах после воздействия температуры до 200 и 400°C. При воздействии температуры до 400°C в течение двух часов прочность при сжатии увеличилась на 17 и 14,5% для образцов с микрокремнеземом (МК) и МК+нанокремнезем (НК) соответственно. При воздействии температуры до 400°C в течение двух часов прочность бетона на растяжение при разрыве уменьшилась на 44 и 60,4% для МК и МК+НК образцов соответственно.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, остаточные свойства, гидрат нанокремнезема, микроструктура.

Для цитирования: Селеем С.Е. Ахмад, Хоссам С. Халил, Ибрагим А. Шараки, Ахмад М. эль-Азаб. Свойства высокопрочного бетона с нанокремнеземом после воздействия высокой температуры // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 8–14.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-8-14>

SELEEM S.E. AHMAD, Professor, Head of Development, HOSSAM S. KHALIL, Assistant professor, IBRAHIM A. SHARAKY, Lecture, AHMAD M. EL-AZAB, Demonstrator
Materials Engineering department, Faculty of Engineering, Zagazig University (44519, Zagazig, Zagazig University, Sharkia, Egypt)

Performance of Residual Properties for High Strength Concrete Incorporating Nanosilica against Temperatures

High strength concrete (HSC) is becoming a material choice owing to its wide range of applications in high-rise buildings, bridges, shells of a nuclear reactor, etc. The residual mechanical properties of HSC post-fire exposure are of great importance in determining the load bearing capacity of structural members required for retrofitting and restoration of the concrete structure. The performance of silica nanoparticles (SN) incorporated HSC has been evaluated under two levels of elevated temperature conditions, 200°C and 400°C, by exposing up to determine temperature, followed by cooling to ambient temperature before performing experiments. A reduction in weight loss was observed in specimens after exposure to 200°C and 400°C. On exposure to 400°C for 2 h, the compressive strength increased by 17% and 14.5%, for silica fume SF and SF + nanosilica (NS) specimens respectively. On exposure to 400°C for 2 h, the splitting tensile strength decreases by 44% and 60.4%, for SF and SF+NS specimens respectively.

Keywords: high strength concrete, residual properties, nanosilica, calcium silicate hydrate, microstructure.

For citation: Seleem S.E. Ahmad, Hossam S. Khalil, Ibrahim A. Sharaky, Ahmad M. El-Azab Performance of residual properties for high strength concrete incorporating nanosilica against temperatures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 8–14. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-8-14>

In recent time, high strength concrete is becoming the perfect choice material for its wide range of applications in high-rise buildings, bridges, shells of a nuclear reactor, etc. Its use enables a reduction in the size of compression elements and the quantity of reinforcement bars required. Traditionally, high strength concrete is produced by reducing the amount of water required; high-range water-reducing admixtures are used to achieve the required workability. And by incorporating the several additives such as silica fume, fly ash, fibres, reactive powders, etc., that leading to decrease the porosity of concrete, denser microstructure, improvement of mechanical strength [1].

Silica fume (SF) belongs to the category of highly pozzolanic materials due to its main consist of silica in non-crystalline form with a high specific surface for particles, and thus exhibits great pozzolanic activity. But the activity of silica fume at early ages is low, thus the XRD pattern of SF, put into saturated calcium hydroxide solution, the change was little after 7 days and extensive calcium-silicate-hydrate gel formation had occurred after 120 days [2]. The addition of nanoparticles improves the performance of cement, in fresh mixtures, an improvement of rheological properties has been recorded and in the hardened state, the compressive strength was increased [3]. Nanosilica is a microscopic particle whose size is measured in nanometers (nm). It is defined as a particle with at least one dimension less than 200-nm, the pozzolanic activity of nanosilica at early ages is higher than that of silica fume, the

mechanism of addition of nanosilica has different effects on the properties of the cement paste, as compared with addition of silica fume. When a material with high specific surface NS is added to cement or concrete, it acts as the micro-filler of the cement particles, which can reduce the amount of water that filled in the void of the blending materials. However, replacing cement with a high specific surface material would increase the wettable surface area and the amount of water adsorbed [2].

Nanosilica can react with calcium hydroxide crystals, which are arrayed in the interfacial transition zone between hardened cement paste and aggregates, and produce calcium-silicate-hydrate gel. So that, the size and amount of calcium hydroxide crystals are significantly decreased, nanosilica can behave as a nucleus to tightly bond with cement hydrates. The stable gel structures can be formed and the mechanical properties of hardened cement paste can be improved when a smaller amount of nanosilica is added [4]. The residual mechanical properties of high strength concrete post-fire exposure are of great importance in determining the load bearing capacity of structural members required for improvement and recovery of the concrete structures. Researchers have evaluated the residual mechanical properties of high strength concrete exposed to elevated temperature and reported a decrease of (14 to 25%) in compressive strength when exposed to 100°C, where as an improvement of (2 to 5%) in strength has been reported at 200°C [1].

Таблица 1
Table 1

Химический состав используемого ПЦ по [5]
Chemical analyses of OPC used [5]

Oxides Оксиды	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	L.O.I ППП	Total Сумма
Results % Результат, %	21.2	4.67	5.05	64.73	1.5	2.05	0.3	0.22	2.6	99.8

Таблица 2
Table 2

Механические свойства используемого ПЦ (52.5 N)
Mechanical properties of the used cement (52.5 N)

Properties Свойства	Test result Результаты испытаний	Limits* Интервал значений
Specific surface area (Blain) (m ² /kg)	350	Not less than 275
Specific weight	3.15	–
Initial setting-time (min)	80	Not less than 45 min
Final setting time (hrs.)	4	Not more than 10 hrs.
Note: *The limits are according to Egyptian Standard Specifications (4756-1/2009)		

Таблица 3
Table 3

Физические свойства микрокремнезема
по каталогу производителя
Physical properties of the silica fume
by the manufacturer data sheet

Property Свойства	Results Значение
Specific surface area (m ² /kg)	17.8 · 10 ³
Particle size (µm)	7
Bulk density (kg/m ³)	345
Specific gravity	2.2
Color	Light gray

In this paper, using the experience of nanotechnology in high strength concrete, the influence of nanosilica additives on properties of high strength concrete was studied as compared with silica fume, in order to improve the microstructure of high strength concrete, thus to enhance the mechanical properties of cement-based materials such as compressive strength, splitting tensile strength at room temperature and enhance the mechanical properties of the high strength concrete at high temperature (200°C, 400°C). Furthermore, for HSC containing 10% SF, and HSC containing 10% SF with the addition of 1% NS, we hope to produce a new high strength concrete with much better properties.

Experimental / Эксперимент Materials / Материалы

Cement. Ordinary Portland Cement (OPC) produced by, one of local company named, Sina Company was used in all mixes. The grade used was CEM I 52.5 N [5]. Testing of cement was carried out according to the Egyptian Standard Specification (ES: 2421/2009). Table 1 and Table 2 show the chemical analyses and mechanical properties of the used cement respectively.

Aggregates. The aggregates used in this work consisted of Crushed dolomite, siliceous sand. To avoid the effect of fine materials in the coarse aggregate, it was washed and left to dry for 24 h before being used. Local natural coarse aggregate from Ataka Mountain in Suez City was used in the experimental work. The coarse aggregates had nominal maximum size of 10 mm. The selection of coarse aggregate was carried out according to Egyptian Standard Specification (1109/2002). The sand used in this investigation was natural siliceous sand, with fineness modulus 2.65. The selection of the used sand was carried out according to Egyptian Standard Specification (1109/2002).

Silica fume. The used silica fume was brought from Sika Company in Egypt. The physical properties are shown in Tables 3, as obtained from the manufactures sheet.

Superplasticizer. A high range water reducer (HRWR) of third generation as modified polycarboxylic ether based superplasticizer of BASF is called Master Glenium 315C was used in the experimental work of the study. Table 4 show its property.

Таблица 4
Table 4

Физические свойства суперпластификатора
Master Glenium 315C по каталогу производителя
(Сертификат No. 0086-CPD-469071 EN 934-2: T3.1 & T3.2)
Physical properties of Master Glenium 315C
used by the manufacturer data sheet
(Certificate No. 0086-CPD-469071 EN 934-2: T3.1 & T3.2)

Product data Свойства	Results Значение
Appearance	Off white opaque liquid
Specific gravity, 20°C	1.1 g/cm ³
PH-value	6.5±1
Alkali content (%)	≤ 2 by mass
Chloride content (%)	≤ 0.1 by mass
Air content	Fulfilled
Water reduction	≥ 112% of Reference mix

Nanomaterials. The used nanosilica (Silicon Dioxide, 92.5%) was brought from the MK Nano Company in (Divn. of MK Impex Corp). The physical and chemical properties are shown in (company sheet ASTM C114-00) Table 5.

Nanosilica used throughout the experimental work was amorphous and dispersed powder with an average particle size of 12–50 nm as shown in Transmission Electron Microscope (TEM) micrographs Fig. 1.

Water. Tap water was used for casting and curing of specimens, which was free from the deleterious material.

Concrete mixing, Specimens and Test Procedures / Приготовление бетонной смеси, формование образцов и испытание

In order to achieve the aim objective of the present research, several mixes were investigated in order to achieve the target properties. Six mixes were designed for the experimental program; the mixes were designed based on the absolute volume of the constituent materials in saturated

Table 5
Таблица 5

Химический состав нанокремнезема (по ASTM C114-00)
Chemical analyses of NS used ASTM C114-00

Oxides Оксиды	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	L.O.I ППП	Total Сумма
Results % Результат, %	92.5	7.39	0.08	0.06	0.21	0.2	0.02	0.04	0.15	99.8

Таблица 6
Table 6

Состав высокопрочного бетона с использованием наноматериалов и без
Composition of HSC mixes with and without nanomaterials by weight

Mix Code Код смеси	Cement (Kg) Цемент, кг	Fine aggregate (kg) Мелкий заполнитель, кг	Coarse aggregates (kg) Крупный заполнитель, кг	Silica fume 10% (gm) Микрокремнезем, гр	Glennium 315C 1% (gm)	Water (kg) Вода, кг	Nanoparticles 1% (gm) Наночастицы 1%, гр
MC	5.013	6	12	0	50.13	1.604	0
MSF	4.512	5.932	11.87	501.3	50.13	1.604	0
MNSF	4.461	5.92	11.85	501.3	50.13	1.604	50.13

surface dry condition. Three mixes of them for testing at room temperature (one for control without any additives, Two concrete mixes with silica-fume of 10% as a replacement of cement with and without nanoparticles) in order to compare the well-known performance of HSC without nanoparticles and with nano ones. High strength concrete with a cement content of 500 kg/m³ was manufactured in all concrete mixes as shown in Table 6. The water to cementitious materials ratio was equal 0.32 for all mixes. A proper dosage of superplasticizer is 1% of the cementitious content for all mixes. The composition of high strength concrete with and without nanoparticles is shown in Table 6. Nanosilica was added in one percentage 1% of weight of cementitious materials.

Mixing procedure: To get high strength concrete, water-cement ratio must be minimized. Therefore, special mixing procedure should be carried out. As illustrated in the previous studies and as resulted in through initial trials in the current experimental work, the following steps were conducted for mixes without nanosilica:

1. Putting fine materials (cement – silica fume) in the mixer and mixing them together for 30 sec.
2. Adding the fine aggregate gradually, followed by the coarse aggregate. Mixing continued for other 2 min to mix them together.
3. Adding a (3/4) amount of water used to the pan mixer gradually and mixing for 1 min.
4. Stirring the superplasticizer required dosage for the mixture to the (1/4) of the required amount of water and with high speed rate mixing them for 30 sec.
5. Adding the mixed superplasticizer in step 4 to the pan mixer gradually and mixing for other four minutes until getting homogeneous paste.

Steps conducted for mixes with nanosilica:

1. Putting fine materials (cement – silica fume) in the mixer and mixing them together for 30 sec.
2. Adding the fine aggregate gradually, followed by the coarse aggregate. Mixing continued for other 2 min to mix them together.
3. Adding a (3/4) amount of water used to the pan mixer gradually and mixing for 1 min.
4. Stirring the superplasticizer required dosage for the mixture to the (1/4) of the required amount of water and then adding them to the required amount of nanoparticles with using the ultrasonic cleaner for (15 min at 40°C) as shown in Fig. 2 to achieve the best dispersion in concrete and preventing agglomeration.

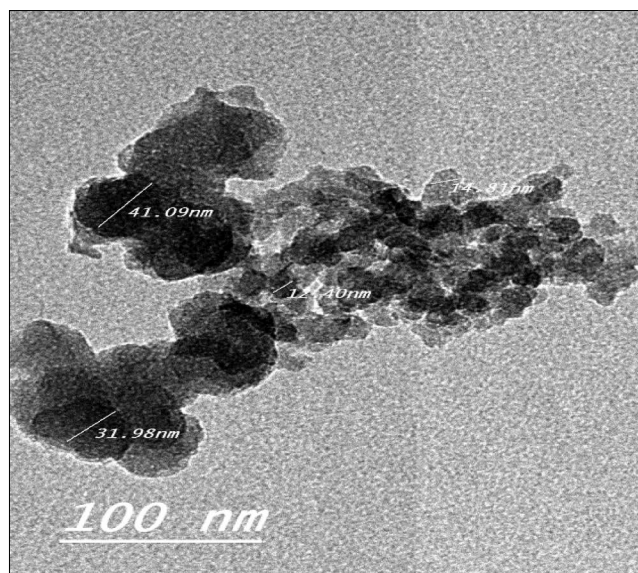


Рис. 1. Микрофотография частиц нанокремнезема
Fig. 1. TEM micrograph of silica nanoparticles (size 12–50 nm)

5. Adding the mixed superplasticizer in step 4 to the pan mixer gradually and mixing for other four minutes until getting homogeneous paste.

Specimen Preparation: Cubic specimen with 10×10×10 cm in dimensions was made for compressive test (three cubes for each mix). Cylinder of 10×20 cm in dimensions was made for splitting tensile test (three cylinders of each mix). After pouring the mixes into molds an electric vibrator was used to ensure good compaction. The specimens were then surface smoothed and covered with wet hessian. All specimens were remolded 1 day after casting. Thereafter, they were cured in standard water tank until testing at age 7, 28 and 56 days.

Heat and Test Procedures: An specially manufactured oven is used to exposed the prepared concrete specimens to high temperature, the oven is resting over a steel frame with dimension of 95×85×100 cm and heating capacity of 1200°C. Cubic and cylindrical specimens were exposed to two temperatures 200°C and 400°C. The consequence steps of heating and testing of concrete samples were: at the age of 56 days, the specimens were removed from water and oven dried at 105°C for 24 hours before exposed to target tempe-



Рис. 2. Ультразвуковой очиститель для смешивания наночастиц
Fig. 2. Ultrasonic cleaner for mixing nanoparticles

ature. The target temperature was maintained for duration of 2 hours to guarantee that the samples are heated uniformly within whole specimen volume. The test specimens were leaved in the oven for 24 hours to be cooled. Then, tests were conducted on the test specimens to measure the mass loss, compressive strength and splitting tensile strength. The compression and splitting tensile tests were carried out on a universal testing machine having maximum capacity of 2000 kN.

Results and Discussion / Результаты и заключение

The compressive and splitting tensile tests were carried out on the concrete specimens at room temperature at the ages of 7, 28 and 56 days. The residual compressive and splitting tensile tests were carried out on the concrete specimens after exposed to 200°C and 400°C temperatures at the age of 56 days. The mass loose were considered by weight the specimens before heating and after exposed them to the target temperature.

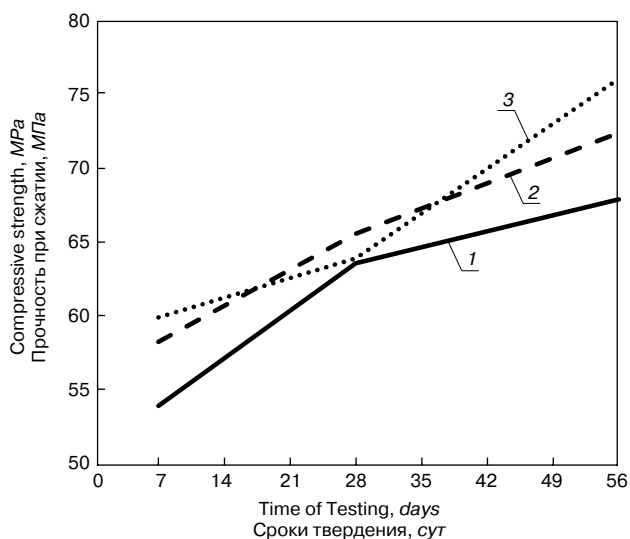


Рис. 3. Влияние наночастиц кремнезема на прочность при сжатии при различных сроках твердения: 1 – контрольный образец; 2 – образец с микрокремнеземом; 3 – образец с микрокремнеземом и нанокремнеземом
Fig. 3. Effect of Nano-silica on compressive strength for different time of curing: 1 – control; 2 – SF; 3 – SF+NS

Compressive Strength. Fig. 3 shows the compressive strength of the concrete mixes at ages 7, 28 and 56 days with added silica fume (SF) 10% and SF 10% with nanosilica (NS) 1%. It can be seen that compressive strength of concrete with SF and SF+NS was improved at 7 days up to 28 days up to 56 days. The improving percentage of compressive strength reaches about 11.1% at 7 days, about 0.53% at 28 days and about 12% at 56 days with respect to the control mixes in case of SF+NS mix. The improving percentage of compressive strength in case of SF mix was 8% at 7 days, about 3% at 28 days and about 6% at 56 days with respect to the control mixes. The mechanisms were mainly due to both the nanofiller effect and the pozzolanic reaction. The ultra-fine size of nanosilica particles can partially fill the large voids and capillary pores to refine the pore structure of cement paste. On the other hand, the pozzolanic reaction of micro and nanosilica can consume Portlandite, not only reducing the crystal size but also causing the hydration products to become more homogenous C–S–H. The above mentioned reasons are more pronounced at the interfacial transition zone (ITZ). The better bond between aggregates and cement paste can contribute to the increased mechanical performances. This improvement on the compressive strength of concrete in this study is consistent with previous studies [6]. The increase can be due to the fact that calcium hydroxide compounds existing in lime solution react with nanoparticles in their surface areas to form additional C–S–H gel thereby increasing compressive strength [7]. The influence of nanosilica on concrete strength was still present at 56 days.

Splitting tensile strength results are shown for control mixes, mixes incorporating SF 10% and mixes incorporating SF 10% with addition of NS 1% in Fig. 4. It can be seen that splitting tensile strength of concrete with SF or with SF+NS was improved at 7 days up to 28 days up to 56 days. The improving percentage of splitting tensile strength for SF+NS mixes reaches about 15% at 7 days, about 19% at 28 days and about 32% at 56 days with respect to the control mixes. The improving percentage of splitting tensile strength was 11% at 7 days; about 33% at 28 days and about 28% at 56 days with respect to the SF mixes. It is common knowledge that the mechanical strength of concrete is inversely proportional to its porosity. At the early age, the use of NS can have two fold benefits to concrete, in both physical and chemical means.

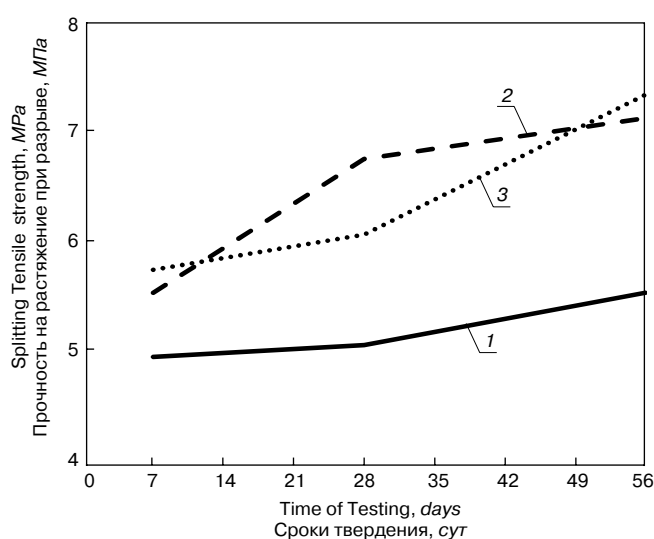


Рис. 4. Влияние наночастиц кремнезема на прочность растяжения при разрыве при различных сроках твердения: 1 – контрольный образец; 2 – образец с микрокремнеземом; 3 – образец с микрокремнеземом и нанокремнеземом
Fig. 4. Effect of Nano-silica on splitting tensile strength for different time of curing: 1 – control; 2 – SF; 3 – SF+NS

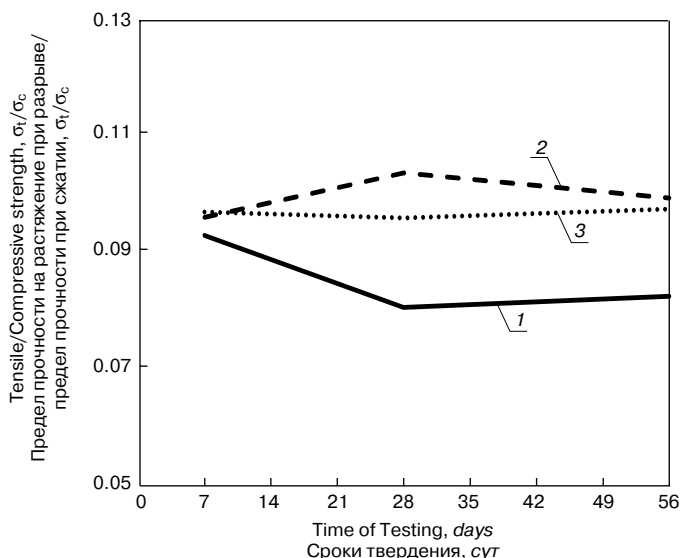


Рис. 5. Соотношение между пределом прочности на растяжение при разрыве и прочностью при сжатии для различного времени отверждения: 1 – контрольный образец; 2 – образец с микрокремнеземом; 3 – образец с микрокремнеземом и нанокремнеземом
Fig. 5. The relation between splitting tensile and compressive strength for different time of curing: 1 – control; 2 – SF; 3 – SF+NS

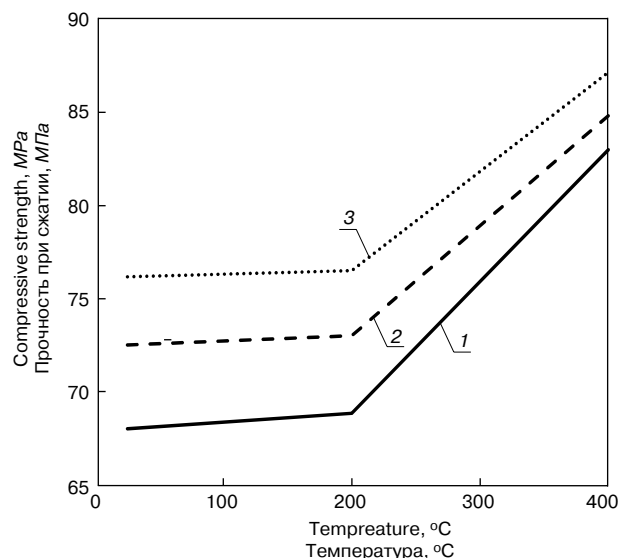


Рис. 6. Влияние наночастиц кремнезема на остаточную прочность при сжатии при различной температуре (200°C, 400°C): 1 – контрольный образец; 2 – образец с микрокремнеземом; 3 – образец с микрокремнеземом и нанокремнеземом
Fig. 6. Effect of nanosilica on residual compressive strength for different temperatures (200°C, 400°C): 1 – control; 2 – SF; 3 – SF+NS

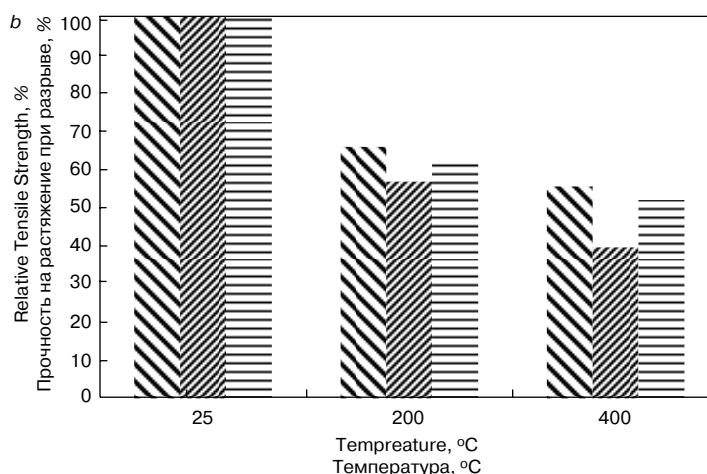
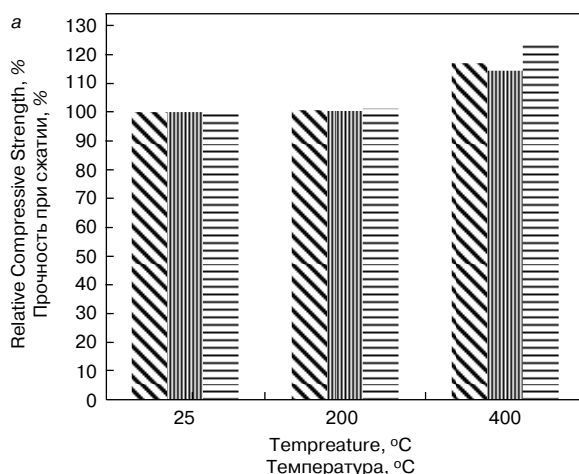


Рис. 7. Соотношение относительной прочности: а – прочность при сжатии; б – прочность на растяжение при разрыве при различной температуре: 1 – контрольный образец; 2 – образец с микрокремнеземом; 3 – образец с микрокремнеземом и нанокремнеземом
Fig. 7. Relative strength ratio: a – compressive strength; b – splitting tensile strength at different temperatures: 1 – control; 2 – SF; 3 – SF+NS

In addition to the cement acceleration effect, NS, similar as silica fume, can increase the packing density by filling the voids between cement grains and particularly the interface between the paste and aggregate. As a result, the cement hydration products can be more compact and homogenous at the early age. With longer curing time, the un-hydrated cement grains continue to hydrate for all the high strength concrete [8].

Fig. 5 shows the relation between the splitting tensile strength and the compressive strength for all mixes at room temperature at ages 7, 28 and 56 days, more researchers found that the relation between the splitting tensile strength and the compressive strength for normal concrete without any additives not exceeds 0.1. On other hand, for high strength concrete was 0.09 and ultra-high strength concrete was funded 0.05. The data in Fig. 5 show that at early ages (7, 28 days curing) the high strength concrete incorporating silica fume and nanosilica not acquired its fully stage of strength, therefore the acquired values were simultaneously converged, but at the age of 56 days there was high rate for

achieve its strength and shows a large disparity in values for the silica-fume mixes and nanosilica with addition of silica-fume mixes with respect to the control mixes due to the reduction in its porosity.

Residual compressive strength. Fig. 6 shows the results of residual compressive strength at 200°C and 400°C at age of 56 days and comparing it with compressive strength at room temperature at 25°C for control mixes, mixes incorporating SF and mixes incorporating SF with addition of NS 1%. The improving percentage of residual compressive strength of concrete incorporating nanosilica 1% and silica fume 10% was 0.43% at 200°C and 14.5% at 400°C with respect to the similar mix at room temperature 25°C. The percentage of residual compressive strength of concrete incorporating silica fume 10% only was 0.7% at 200°C and 17% at 400°C with respect to the similar mix at room temperature 25°C. These ratios are illustrated also in Fig. 7, a. From the above facts, it may be concluded that there is no thermal degradation of C-S-H in high strength concrete incorporating nanosilica 1% specimens thereby, leading to enhanced thermal stability

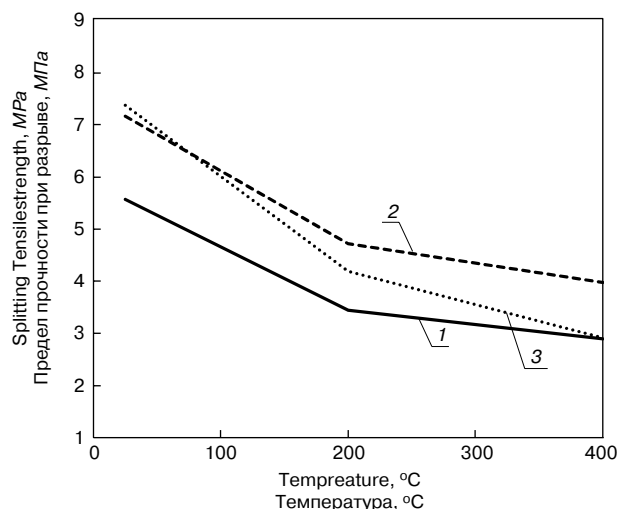


Рис. 8. Влияние наночастиц кремния на предел прочности при разрыве при различной температуре (200°C, 400°C): 1 – контрольный образец; 2 – образец с микрокремнеземом; 3 – образец с микрокремнеземом и нанокремнеземом

Fig. 8. Effect of nanosilica on residual splitting tensile strength for different temperatures (200°C, 400°C): 1 – control; 2 – SF; 3 – SF+NS

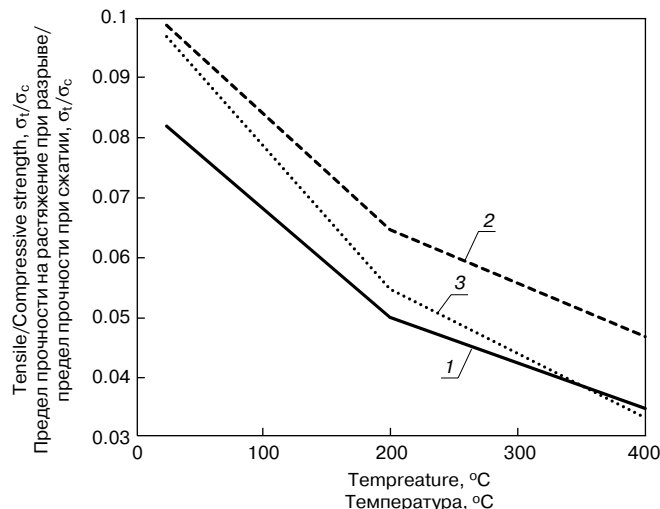


Рис. 9. Соотношение между пределом прочности на растяжение при разрыве и прочностью при сжатии для разной температуры (200°C, 400°C): 1 – контрольный образец; 2 – образец с микрокремнеземом, 3 – образец с микрокремнеземом и нанокремнеземом

Fig. 9. The relation between residual splitting tensile and compressive strength for different temperatures (200°C, 400°C): 1 – control; 2 – SF; 3 – SF+NS

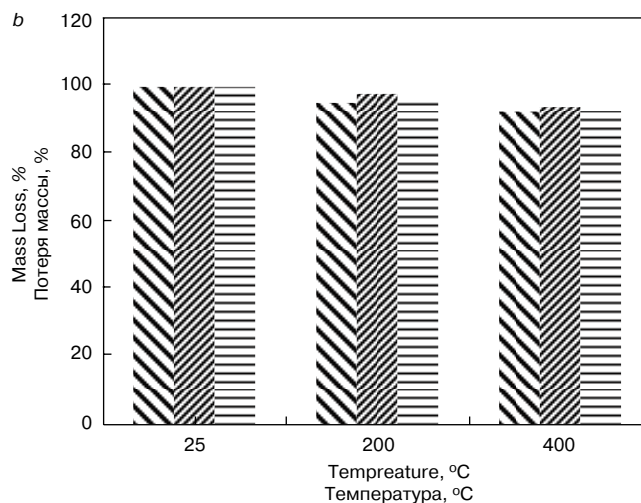
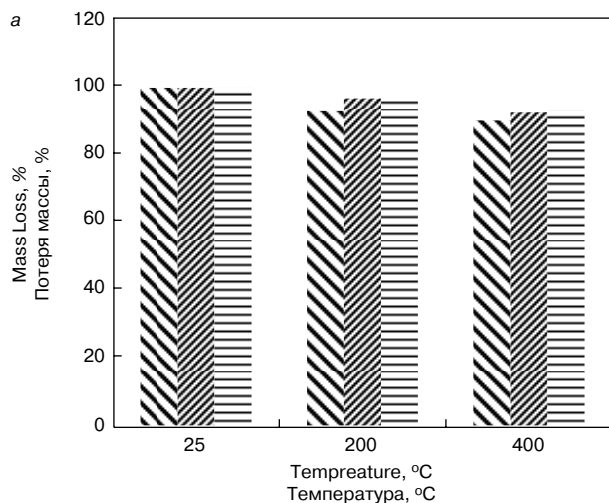


Рис. 10. Потеря массы в зависимости от температуры: а – образец-кубик; б – образец-цилиндр; ▨ – контрольный образец; ▩ – образец с микрокремнеземом; ▪ – образец с микрокремнеземом и нанокремнеземом

Fig. 10. Mass loss against temperatures: a – cubic specimens; b – cylinder specimens; ▨ – control; ▩ – SF; ▪ – SF+NS

up to 400°C. The compressive strength of high strength concrete incorporating nanosilica specimens has increased significantly up to 400°C for 0–2 hrs., exposure duration, whereas in control HSC specimens strength didn't increase beyond 200°C for similar exposure durations. The increase in compressive strength is attributed to the improved stability of C–S–H, as the silicate chain length of C–S–H increases and leads to the formation of high-density volume fraction of C–S–H [1].

Residual splitting tensile strength: Results of splitting tensile strength are shown for control mixes, mixes incorporating SF and mixes incorporating SF with addition of NS 1% in Fig. 8. The figure shows the splitting tensile strength of the concrete mixes at 200°C and 400°C at age of 56 days and comparing it with splitting tensile strength at room temperature at 25°C. The reduction percentage of residual splitting tensile strength of high strength concrete incorporating NS 1% and SF 10% was 43.2% at 200°C and 60.4% at 400°C with respect to the similar mix at room temperature 25°C. The percentage reduction of high strength concrete incorporating SF 10% only was 34% at 200°C and 44.3% at 400°C with re-

spect to the similar mix at room temperature 25°C, as shown in Fig. 7, b. These results agreed fairly well with those obtained by other researchers for similar test conditions [9]. The residual splitting tensile strength of specimens fell markedly. The deteriorating effect of temperatures on splitting tensile strength of high-strength mortars was more severe than on compressive strength. This has been attributed to the development of micro cracks due to the differences in thermal expansion of aggregates particles and cements paste and were more destructive when the specimens were subjected to tensile stresses, as well as the decomposition of the calcium hydroxide within the cement paste [10].

Fig. 9 shows the relation between the residual splitting tensile strength and the residual compressive strength for all mixes at different temperature and at age 56 days. The data in figure reflect clear note about the high losses in the value of splitting tensile strength of concrete as compared to compressive strength due to thermal effect. The deteriorating effect of elevated temperatures on splitting tensile strength of different mixes was more severe than on compressive strength. This may be due to the fact that the micro cracks that form in the

specimens at elevated temperatures were more destructive when the specimens were subjected to tensile stresses. For temperature of 200°C the high strength concrete incorporating SF and NS there was losses in splitting tensile strength about 43.2% and 34% for SF mixes. At 400°C losses in splitting tensile strength about 60% for SF+NS mixes and 44.3% for SF mixes.

Mass losses: The existing water in the cement matrix may be in two forms; evaporable and non-evaporable. The evaporable water includes gel water and capillary water which is physically bound to gel surface or entrapped in capillaries. This water evaporates at low temperatures up to 300°C and may attribute to a higher compressive strength due to the increased friction in failure planes and also acceleration of hydration [12]. Non-evaporable water, which refers to chemically bound water, needs more energy to evaporate in which the chemical compounds in cement matrix decompose. Evaporation of chemically bound water results in microstructural changes and strength loss.

In this study, mass loss was measured to assess moisture loss which could include evaporation of both physically and chemically bound water. As can be seen from Fig. 10, *a* and *b*, mass loss initiated with a low rate at temperatures up to 200°C for all samples. Addition of SF and NS caused a slight increase in the mass loss which suggests that more physically absorbed water existed in the matrix due to the high surface area of SF and NS. The low rate of mass loss in all samples can be explained by further hydration in cement matrix with the presence of silica fume when temperature elevated to 200°C leading to conversion of free water to chemically combined water although the evaporation of physically combined water still existed. From 200°C to 400°C, the mass loss increased which may show the high rate of evaporation of capillary water and the initiation of release of water from C–S–H at 300°C [11].

FESEM Test: The electron micrographs of the control specimens, specimens incorporating SF 10% and specimens incorporating SF 10% with addition of NS 1% after exposure to high temperature (400°C) have been shown in Fig. 11, *a–e*. All the images were taken at a magnification of 30000× to compare the changes. At ambient temperature, hydration products such as C–S–H and CH are observed in control high strength concrete specimens, whereas in specimens incorporating SF 10% and specimens incorporating SF 10% with addition of NS 1%, a dense microstructure with more compact hydration products was observed due to the formation of an additional C–S–H gel. With the increase in temperature, the microstructure becomes denser in both the high strength concrete specimens which are attributed to the acceleration in the rate of hydration leading to the formation of additional hydration products [1]. In specimens incorporating SF 10% with addition of NS 1% microstructure becomes denser at 400°C due to the formation of high-density C–S–H having higher thermal stability, leading to the strength increment as observed from the compressive strength results.

Conclusion / Заключение

Based on the results obtained in this study, the following conclusions can be drawn:

1. The compressive and splitting tensile strength of concrete were improved at room temperature by addition of silica fume, SF or and SF+nanosilica (NS) at different curing ages.
2. The improving percentage of compressive strength in case of SF mix was 8% at 7 days, about 3% at 28 days and about 6% at 56 days with respect to the control mixes.
3. The improving percentage of splitting tensile strength for SF+NS mixes reaches about 15% at 7 days, about 19% at 28 days and about 32% at 56 days with respect to the control mixes.

4. The residual compressive strength of control, SF, and SF+NS specimens have increased significantly up to 400°C.
5. The improving percentage of residual compressive strength of concrete incorporating NS 1% and SF 10% was 0.43% at 200°C and 14.5% at 400°C with respect to the similar mix at room temperature 25°C. The percentage of residual compressive strength of concrete incorporating SF 10% only was 0.7% at 200°C and 17% at 400°C with respect to the similar mix at room temperature 25°C.
6. Microstructural changes revealed that SF and SF+NS specimens have a stable microstructure up to a temperature of 400°C.

References

1. Kumar R., Singh S., Singh L.P. Studies on enhanced thermally stable high strength concrete incorporating silica nanoparticles. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 153, pp. 506–513. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.057>
2. Qing Y.E., Zenan Z., Deyu K., Rongshen C. Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume. *Construction and Building Materials*. 2007. Vol. 21. Iss. 3, pp. 539–545. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.09.001>
3. S. Abd. El. Aleem, Heikal Mohamed, Morsi W.M. Hydration characteristic, thermal expansion and microstructure of cement containing nano-silica. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 59, pp. 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.039>
4. Tao J.I. Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO₂. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35. Iss. 10, pp. 1943–1947. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.07.004>
5. Egyptian Standard Specifications (4756-1/2009)
6. Quercia G., Spiesz P., Husken G., Brouwers H.J.H. SCC modification by use of amorphous nano-silica. *Cement and Concrete Composites*. 2014. Vol. 45, pp. 69–81. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.001>
7. Najjivi A. Investigating the effects of using different types of SiO₂ nanoparticles on the mechanical properties of binary blended concrete. *Composites Part B: Engineering*. 2013. Vol. 54, pp. 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.04.035>
8. Hongjian D.U., Suhuan D.U., Xuemei L.I.U. Effect of nano-silica on the mechanical and transport properties of lightweight concrete. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 82, pp. 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.026>
9. Saemann J.C., Washa G.W. Variation of mortar and concrete properties with temperature. *Aci Materials Journal*. 1957. Vol. 29, pp. 385–395.
10. Mehmet S.C., Ozturan T. Effect of elevated temperatures on the residual mechanical properties of high-performance mortar. *Cement and Concrete Research*. 2002. Vol. 32. Iss. 5, pp. 809–816. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00709-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00709-3)
11. Seleem H.E.D.H., Rashad A.M., Elsokary T. Effect of elevated temperature on physico-mechanical properties of blended cement concrete. *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25, pp. 1009–1017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.078>
12. Farzadnia N., Ali A. Abdullah Abang, Demirboga R. Characterization of high strength mortars with nano alumina at elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 54, pp. 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.08.003>

И.С. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук (irina-yanko@mail.ru), В.Г. РЯБЧЕНКОВА, инженер (1747139@mail.ru), М.П. КОРНЮШИНА, магистр техники и технологии (1747139@mail.ru), И.П. САВРАСОВ, канд. техн. наук (1747139@mail.ru), М.С. ВОСТРОВ, инженер (1747139@mail.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (НИИЖБ), АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Полипропиленовая фибра – эффективный способ борьбы со взрывообразным разрушением бетона при пожаре

Представлены результаты научно-исследовательской работы, в ходе которой изучался один из эффективных методов борьбы с взрывообразным разрушением бетона при пожаре, а именно введение добавки полипропиленовой микрофибры. Исследования проведены путем огневых испытаний натуральных плитных конструкций сплошного сечения, изготовленных из обычного тяжелого бетона с добавкой полипропиленовой микрофибры в количестве 1 кг/м^3 при влажности бетона свыше 4% перед испытаниями. По результатам огневых испытаний установлено практически полное отсутствие взрывообразного разрушения бетона плит перекрытий при пожаре. Также проведены исследования изменения прочностных свойств бетона с добавкой полипропиленовой микрофибры при кратковременном воздействии повышенной и высокой температуры до 600°C . Результаты работы имеют большое практическое значение для обеспечения требуемых пределов огнестойкости при проектировании железобетонных конструкций, работающих во влажных условиях (тоннелей, коллекторов, подземных сооружений), а также для всех монолитных железобетонных конструкций на стадии их возведения.

Ключевые слова: бетон, железобетонные конструкции, полипропиленовая фибра, взрывообразное разрушение, пожар, кратковременный высокотемпературный нагрев, плиты перекрытий.

Для цитирования: Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Корнюшина М.П., Саврасов И.П., Востров М.С. Полипропиленовая фибра – эффективный способ борьбы со взрывообразным разрушением бетона при пожаре // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 15–20.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-15-20>

I.S. KUZNETSOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (irina-yanko@mail.ru), V.G. RYABCHENKOVA, Engineer (1747139@mail.ru), M.P. KORNYUSHINA, Master of Engineering and Technology (1747139@mail.ru), I.P. SAVRASOV, Candidate of Sciences (Engineering) (1747139@mail.ru), M.S. VOSTROV, Engineer (1747139@mail.ru)
Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZHB), JSC "Research Center of Construction" (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Polypropylene Fiber is an Effective Way to Struggle with the Explosion-Like Destruction of Concrete in Case of Fire

The article presents the results of research work, which studied one of the effective methods to combat the explosion-like destruction of concrete in case of fire, namely the introduction of an additive of polypropylene microfiber. The studies were carried out by fire tests of full-scale slab structures of continuous cross-section made of ordinary heavy concrete with the addition of polypropylene microfiber in an amount of 1 kg/m^3 , with a concrete moisture content of more than 4% before the test. According to the results of fire tests, almost complete absence of explosion-like destruction of concrete slabs in case of fire was established. Also, the studies of changes in the strength properties of concrete with the addition of polypropylene microfiber under the short-term exposure to elevated and high temperatures up to 600°C were conducted. The results of the work are of great practical importance to ensure the required limits of fire resistance when designing reinforced concrete structures operating under wet conditions (tunnels, collectors, underground structures), as well as for all monolithic reinforced concrete structures at the stage of their construction.

Keywords: concrete, reinforced concrete structures, polypropylene fiber, explosion-like destruction, fire, short-term high-temperature heating, floor slabs.

For citation: Kuznetsova I.S., Ryabchenkova V.G., Korniyushina M.P., Savrasov I.P., Vostrov M.S. Polypropylene fiber is an effective way to struggle with the explosion-like destruction of concrete in case of fire. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 15–20. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-15-20> (In Russian).

Борьба с пожарами и их последствиями сопровождается всю историю существования человеческого общества и является актуальной в современном мире. Статистика пожаров неумолима и не выявляет позитивных тенденций. Современные тенденции борьбы с пожарами и их последствиями направлены в основном на внедрение системы противопожарных мероприятий, позволяющих минимизировать социальный и экономический ущерб.

В настоящее время одной из основных задач при проектировании зданий и сооружений является обеспечение пожарной безопасности объектов. На стадии проектирования зданий и сооружений различного назначения должны быть обеспечены минимальные нормативные требования пределов огнестойкости строительных конструкций.

Согласно положениям Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», основными критериями обеспечения кон-

структивной пожарной безопасности являются три предела огнестойкости строительных конструкций: по потере несущей способности (R), теплоизолирующей способности (I) и потере целостности (E).

Особенно актуальна на сегодняшний день проблема обеспечения пределов огнестойкости по потере целостности железобетонных конструкций при пожаре, так как железобетонные конструкции с повышенной влажностью (более 3–3,5%) подвергаются интенсивному взрывообразному разрушению, приводящему к уменьшению сечений элементов, снижению их несущей способности, а также к образованию сквозных трещин или отверстий, через которые проникают продукты горения или пламя [1–3].

В условиях повышенной влажности, как правило, эксплуатируются подземные конструкции авто- и железнодорожных тоннелей, метрополитенов, коллекторов, подземные части зданий и сооружений [4].



Рис. 1. Последствия пожара в тоннеле Монблан, 1999 г.



Рис. 2. Изготовление экспериментальных моделей плит перекрытий



Рис. 3. Условия твердения экспериментальных моделей плит перекрытий

Повышенная влажность бетона также наблюдается во всех монолитных железобетонных конструкциях зданий и сооружений на стадии их возведения. Только через год-два после пуска объектов в эксплуатацию и ввода теплового контура равновесная влажность бетона надземных конструкций снижается до 2–3%.

Восстановление значительно поврежденных пожаром железобетонных конструкций зданий и сооружений повышенного уровня ответственности зачастую связано с большими техническими сложностями, в некоторых случаях требуется полная замена поврежденных пожаром конструкций, которая, как правило, приводит к значительным социальным и экономическим ущербам, парализует транспортные магистрали на длительный срок.

Пожары в подземных транспортных сооружениях происходили неоднократно [5]. Картина последствий пожаров в тоннелях однотипна и связана в основном со взрывообразным разрушением бетона.

В 1979 г. в автотранспортном тоннеле Ниходзака (длиной около 2 км) между Токио и Нагоя (Япония) произошла автомобильная авария, приведшая к возникновению пожара. В результате семь человек погибли и двое тяжело ранены. После пожара в результате взрывообразного разрушения бетона получили значительные повреждения обделки тоннеля с разрушением бетона на глубину до 25 см. Восстановление тоннеля длилось два месяца.

Пожар в тоннеле Монблан между Францией и Италией (длиной 12 км) произошел в 1999 г. в результате возгорания грузовика (рис. 1). Тушение пожара длилось 56 ч. В пожаре погибло 40 чел. Бетонные своды на участке около 900 м подверглись интенсивному взрывообразному разрушению и глубоко растрескались, однако скальные породы не обнажились. На участке около 1 км свод протекал от грунтовых вод. Тоннель восстанавливали три года.

В 2001 г. в альпийском тоннеле Сен-Готард, соединяющем Швейцарию и Италию, произошел пожар в результате столкновения двух грузовиков. В результате пожара погибло 11 чел. В тоннеле произошло несколько обрушений, длина завалов достигла 300 м.

Пожары в железнодорожном тоннеле под Ла-Маншем между Великобританией и Францией (длиной 51 км) случались в 1996, 2006 и 2008 гг. При этом значительный ущерб был причинен железобетонным обделкам тоннеля по причине того же взрывообразного разрушения. Пожары нанесли государству значительный ущерб. В 2008 г. возгорание началось с грузовика, который находился в одном из грузовых поездов. Движение сразу же было остановлено. После пожара тоннель был частично открыт через несколько дней, однако для того чтобы

привести его в надлежащее состояние, понадобилось 60 млн евро и четыре месяца восстановительных работ.

Неоднократно возникали пожары и в российских автотранспортных тоннелях. Ряд пожаров произошли в Лефортовском тоннеле глубокого заложения города Москвы: в 2006, 2007 (дважды), 2009 гг. В 2008 г. был пожар в тоннеле на Новинском бульваре (пересечение Садового кольца с улицей Новый Арбат). Как правило, загорались легковые автомобили и пожары носили локальный характер.

Перечень пожаров можно продолжить, но это не является тематикой данной работы, а лишь характеризует важность проблемы борьбы с пожарами и их последствиями в тоннелях.

Основной причиной возникновения значительных повреждений железобетонных конструкций обделок тоннелей являлось взрывообразное разрушение бетона при пожаре, зачастую приводящее к потере целостности железобетонных конструкций.

В российской практике строительства до настоящего времени существовал единственный способ борьбы со взрывообразным разрушением бетона при пожаре путем применения противоткольных сеток с их установкой в середине толщины защитного слоя бетона конструкций. Этот метод достаточно эффективный, так как позволяет значительно снизить интенсивность взрывообразного разрушения бетона. Но практически не всегда возможно или технически сложно применение противоткольных сеток, особенно при сравнительно небольшой толщине защитного слоя бетона (до 30 мм) или при сложной конфигурации сечения конструкции.

Европейский опыт проектирования железобетонных конструкций из высокопрочных бетонов в части борьбы со взрывообразным разрушением бетона при пожаре показывает, что эффективность достигается путем введения в бетон добавки из полипропиленовой микрофибры в количестве 2 кг/м³ при эффективной длине волокон микрофибры 6 и 12 мм [6–9]. Этот метод включен в раздел 6 Европейского стандарта Eurocode 2, часть 1–2* для высокопрочных бетонов.

Поскольку проблема взрывообразного разрушения бетона при пожаре существует не только для высокопрочных бетонов, но и для обычных тяжелых бетонов с повышенной влажностью, в 2017 г. специалистами АО «НИЦ «Строительство» (НИИЖБ им. А.А. Гвоздева) инициирована научно-исследовательская работа с целью определения эффективности применения добавки полипропиленовой микрофибры для обычного тяжелого бетона класса по прочности В45 на основе огневых испытаний натуральных экспериментальных плитных конструкций**. Исследования проведены в рамках

* Европейский стандарт EN 1992-1-2. Еврокод 2: Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–2. Общие правила – Определение огнестойкости.

** Отчет по научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе «Проведение огневых испытаний и формирование требований к огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций»: В 2 т. Руководитель работ зав. лаб. № 6 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева И.С. Кузнецова. М.: 2017. Т. 1. 271 с. Т. 2. 277 с.

государственного задания, утвержденного Минстроем России по реализации комплекса мероприятий по развитию нормативно-технической и научной базы в области строительства с целью повышения уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях в соответствии с требованиями Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Огневым испытаниям подвергались крупногабаритные и малогабаритные экспериментальные модели железобетонных плит перекрытий сплошного сечения, изготовленные из трех видов составов бетонов:

– серии А – из обычного тяжелого бетона класса В45 на гранитном заполнителе;

– серии М – из обычного тяжелого бетона класса В45 на гранитном заполнителе с добавкой полипропиленовой микрофибры в количестве 1 кг/м^3 *;

– серии К – из обычного тяжелого бетона класса В45 на гранитном заполнителе с добавкой полипропиленовой микрофибры в количестве 1 кг/м^3 в сочетании со стеклопластиковой макрофиброй в количестве 8 кг/м^3 .

Результаты испытаний натуральных плит перекрытий серии К (из бетона с добавкой стеклопластиковой макрофибры) в данной статье не представлены, так как выявлена высокая токсичность воздушной среды в процессе огневых испытаний (начиная с первых минут огневого воздействия, с усилением эффекта токсичности во времени), что обуславливает невозможность применения обычного тяжелого бетона с добавкой стеклопластиковой макрофибры для изготовления железобетонных конструкций зданий и сооружений с позиций обеспечения пожарной безопасности.

Все крупногабаритные модели плит перекрытий имели размеры $4200 \times 1200 \times 140 \text{ мм}$, с односторонним армированием горячекатаной стержневой арматурой класса А500С современного способа производства в количестве семи стержней диаметром 16 мм при толщине нижнего защитного слоя бетона (касательно к арматуре) 25 мм. Плиты рассчитаны с учетом нормативной равномерно распределенной кратковременной нагрузки, равной 400 кг/м^2 .

Малогабаритные модели плит перекрытий имели размеры $1100 \times 1100 \times 50 \text{ мм}$, имитировали фрагменты полок ребристых плит перекрытий, которые наиболее подвержены взрывообразному разрушению при пожаре с образованием сквозных отверстий (установлено из опыта обследования зданий после пожаров). Армирование малогабаритных плит производилось плоскими сварными сетками из проволочной арматуры класса Вр-I диаметром 5 мм с шагом $200 \times 200 \text{ мм}$ по ГОСТ 8478–81.

Изготовление образцов произведено с применением товарного бетона (рис. 2). Твердение плит осуществлялось в течение 28 сут с ежедневным обильным поливом водой для обеспечения повышенной влажности бетона (рис. 3).

Огневые испытания экспериментальных моделей плит проведены на специальных огневых установках на производственной базе ВНИИПО (г. Балашиха) по методикам ГОСТ 30247.0–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования» и ГОСТ 30247.1–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции». Все модели плит перекрытий испытывались под действием заданной равномерно распределенной нагрузки.

При этом результаты огневых испытаний малогабаритных железобетонных плит оценивались по двум пре-



Рис. 4. Огневая установка с двумя крупногабаритными плитами перекрытий в процессе огневых испытаний



Рис. 5. Взрывообразное разрушение бетона со стороны обогреваемой бетонной поверхности плиты марки А после огневого испытания



Рис. 6. Вид обогреваемой бетонной поверхности плиты марки М после испытания

дельным состояниям: по потере целостности и теплоизолирующей способности, а крупногабаритных – по трем предельным состояниям: по потере несущей способности, теплоизолирующей способности и целостности.

Непосредственно перед каждым огневым испытанием контролировалась фактическая влажность бетона малогабаритных и крупногабаритных моделей плит перекрытий по методике ГОСТ 12730 (производились сколы кусков бетона в угловых зонах). Перед огневыми испытаниями фактическая влажность бетона крупногабаритных экспериментальных плит перекрытий варьировалась в пределах 4,18–6,02%, малогабаритных плит – в пределах 4,96–7,08%.

Крупногабаритные плиты перекрытий устанавливались на экспериментальную огневую установку с двухсторонним шарнирным опиранием (при рабочем пролете 4000 мм) и подвергались одностороннему тепловому воздействию по стандартному температурному режиму согласно ГОСТ 30247.0. Одновременно производились испытания двух моделей плит для создания единого температурного режима в огневой камере (рис. 4).

* СТО 36554501-006–2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций. АО «НИЦ «Строительство».



Рис. 7. Вид экспериментальной огневой установки с загрузкой малогабаритной плиты перекрытия

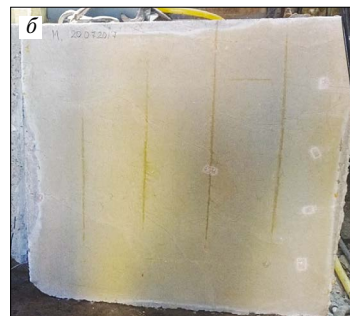


Рис. 8. Характерные виды обогреваемой поверхности образцов после испытаний: а – из обычного бетона; б – из обычного бетона с добавкой полипропиленовой микрофибры

В ходе нагружения и в процессе проведения испытаний контролировались прогибы плит при помощи прогибомера, установленного в середине пролета одной из плит. Во время огневых испытаний автоматически на дисплее компьютера фиксировались зависимости температура – прогиб – время по показаниям термомпар, установленных в характерных точках и зонах конструкций.

По результатам огневых испытаний крупногабаритных моделей плит перекрытий установлено следующее.

1. В контрольных плитах серии А присутствовало взрывообразное разрушение бетона со стороны обогреваемой поверхности (рис. 5).

2. В плитах серии М (обычный тяжелый бетон с добавкой полипропиленовой микрофибры) взрывообразное разрушение бетона отсутствовало, а на обогреваемой поверхности наблюдалось равномерное вздутие и разрыхление поверхностной структуры бетона (рис. 6).

В ходе огневых испытаний установлено, что фактические пределы огнестойкости крупногабаритных плит перекрытий, изготовленных из бетона с добавкой полипропиленовой микрофибры, несколько ниже (на 9%) пределов огнестойкости плит из обычного тяжелого бетона без добавки микрофибры.

Огневые испытания малогабаритных образцов плит перекрытий марки А проведены на экспериментальной огневой установке для теплофизических исследований на производственной базе ВНИИПО. Плиты устанавливались на экспериментальную огневую установку с опиранием по четырем сторонам и подвергались одностороннему тепловому воздействию по стандартному температурному режиму согласно ГОСТ 30247.0 (рис. 7). Рабочий пролет плит составлял 1000 мм.

По результатам огневых испытаний малогабаритных плит перекрытий установлено, что в плитах марки А, изготовленных из обычного тяжелого бетона, наблюдалось взрывообразное разрушение бетона начиная с десятой минуты огневого воздействия и продолжалось около 0,5 ч. Предел огнестойкости малогабаритных плит наступил по потере теплоизолирующей способности (температура на необогреваемой поверхности достигала 220°C) через 58 мин от начала огневого воздействия.

В плитах марки М, изготовленных из обычного тяжелого бетона с добавкой полипропиленовой микрофибры, взрывообразное разрушение бетона полностью отсутствовало в процессе огневых испытаний. Предел огнестойкости плит марки М наступил по потере теплоизолирующей способности через 75 мин от начала огневого воздействия.

После испытаний на обогреваемой поверхности малогабаритных плит перекрытий марки А (из обычного тяжелого бетона) наблюдалось взрывообразное разрушение бетона с оголением арматурной сетки (рис. 8, а). В плитах марки М (из обычного тяжелого бетона с добавкой полипропиленовой микрофибры) взрывообразное разрушение отсутствовало (рис. 8, б).

Таким образом, в ходе огневых испытаний натуральных моделей плит перекрытий установлено, что добавка полипропиленовой микрофибры является эффективным способом предотвращения взрывообразного разрушения бетона при пожаре.

В работе также проведены исследования влияния добавки полипропиленовой микрофибры на прочностные свойства обычного тяжелого бетона при нагреве. Исследования проведены на образцах-кубах габаритами 100×100×100 мм. Нагрев партий бетонных образцов производился в лабораторной электрокамерной печи до температуры от 100 до 600°C с шагом температуры 100°C. Каждая партия образцов нагревалась до заданной температуры с последующей выдержкой при постоянной заданной температуре в течение 1,5–2 ч и дальнейшим охлаждением в пространстве печи. Номинальные (эталонные) образцы не подвергались нагреву. Дальнейшие лабораторные испытания партий бетонных образцов кубов в охлажденном состоянии после нагрева, а также партии номинальных образцов производились в испытательной лаборатории Сертификационного центра АО «НИЦ «Строительство» по методике ГОСТ 10180–2012.

По результатам испытаний построена зависимость изменения средней кубиковой прочности при сжатии в охлажденном состоянии после нагрева в диапазоне температуры от 20 до 600°C (рис. 9), а также выведены коэффициенты условий работы бетона γ_{br} (таблица) в охлажденном состоянии после нагрева. При этом установлено, что прочность при сжатии обычного тяжелого бетона с добавкой полипропиленовой микрофибры в охлажденном состоянии несколько ниже (на 11–35%) значения прочности обычного тяжелого бетона (без добавки микрофибры), что объясняется ослаблением внутренних структурных взаимосвязей в бетоне за счет введения в него волокон микрофибры. В нормальных условиях (20°C) разница значений прочностей на сжатие рассматриваемых составов бетонов составляет 15%, после нагрева до температуры в диапазоне 200–400°C эта разли-

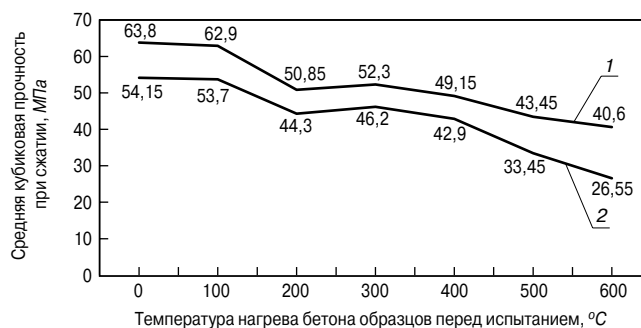


Рис. 9. Динамика изменения кубиковой прочности разных видов бетона в охлажденном состоянии после нагрева: 1 – образец серии А; 2 – образец серии М

Коэффициенты условий работы исследованных видов бетонов в охлажденном состоянии после нагрева по критерию прочности на сжатие

Вид бетона	Значения коэффициентов условий работы бетона γ_{bt} в охлажденном состоянии в зависимости от температуры нагрева, °С						
	20	100	200	300	400	500	600
Обычный тяжелый бетон класса В45 на гранитном заполнителе	1	0,99	0,80	0,82	0,77	0,68	0,64
Обычный тяжелый бетон класса В45 на гранитном заполнителе с добавкой полипропиленовой микрофибры	1	0,99	0,82	0,85	0,79	0,62	0,49
Тяжелый бетон на силикатном заполнителе (по данным СТО 36554501-006–2006 [1])	1	–	0,95	0,9	0,8	0,7	0,5

ца несколько уменьшается – до 12%, а затем возрастает и после нагрева до 600°C достигает порядка 35%. Динамика снижения прочности в охлажденном состоянии после нагрева обычного тяжелого бетона и того же бетона с добавкой полипропиленовой микрофибры близка по характеру и интенсивности (рис. 9).

Полученные коэффициенты условий работы γ_{bt} обычного тяжелого бетона класса В45 с добавкой полипропиленовой микрофибры применимы для расчетного обоснования огнестойкости и огнесохранности несущих железобетонных конструкций, изготовленных из такого бетона.

Анализ полученных коэффициентов условий работы для обычного тяжелого бетона класса В45 на гранитном заполнителе, представленных в таблице, выявил некоторое их отличие от соответствующих значений, приведенных в СТО 36554501-006–2006*. Данное отличие свидетельствует о необходимости проведения исследований прочностных свойств разных классов бетонов при нагреве. Особенно это касается высокопрочных бетонов классов В60 и выше, востребованных в условиях современного монолитного строительства.

Следует также отметить, что доля полипропиленовых волокон в объеме бетонной смеси, необходимая для уменьшения или исключения взрывообразного разрушения бетона, может варьироваться или корректироваться в зависимости от уровня нагрузок, прочности при сжатии, а также количества стальной арматуры, необходимых для каждого конкретного проекта**. Следовательно, для сооружений повышенного уровня ответственности на стадии проектирования целесообразно экспериментальное обоснование ожидаемых результатов и определение (уточнение) коэффициентов условий работы при температурах для конкретного класса бетона с учетом вводимых добавок.

Выводы

Добавка в бетон полипропиленовой микрофибры в количестве 1 кг/м³ является эффективным способом пре-

дотвращения взрывообразного разрушения при пожаре для железобетонных плит перекрытий сплошного сечения и тонкостенных плитных конструкций и может альтернативно применяться взамен противооткольных сеток.

Введение добавки полипропиленовой микрофибры в бетон возможно осуществлять непосредственно в миксер бетоновоза в условиях стройплощадки с последующим перемешиванием бетонной смеси в течение 5–7 мин, что позволяет вполне равномерно распределить микрофибру по объему смеси и является достаточно эффективной технологичной операцией по сравнению с установкой противооткольных сеток.

На стадии проектирования рекомендуется предусматривать применение добавки полипропиленовой микрофибры в бетон с целью исключения взрывообразного разрушения при пожаре, обеспечения огнестойкости и огнесохранности подземных конструкций авто- и железнодорожных тоннелей, метрополитенов, коллекторов, подземных частей зданий и сооружений повышенного уровня ответственности. За рубежом имеется опыт применения железобетонных конструкций тоннельных обделок из бетона с добавлением полимерной фибры [10, 11].

1. В расчетах огнестойкости и огнесохранности необходимо учитывать коэффициенты условий работы обычного тяжелого бетона с добавкой полипропиленовой микрофибры при температурных воздействиях, представленные в таблице, если нет иных результатов исследований с привязкой к конкретному проекту.

2. Установленные коэффициенты условий работы γ_{bt} для обычного тяжелого бетона класса В45 на гранитном заполнителе отличаются от соответствующих значений, приведенных в табл. 5.1 СТО 36554501-006–2006***, что свидетельствует о необходимости проведения дальнейших испытаний по прочности на сжатие при температурных воздействиях для различных классов бетонов, и в особенности для высокопрочных бетонов, наиболее подверженных взрывообразному разрушению.

Список литературы

1. Зенков Н.И. Строительные материалы и поведение их в условиях пожара. М.: Высшая школа МВД РФ, 1974.
2. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1986.
3. Милованов А.Ф., Камбаров Х.У. Расчет железобетонных конструкций на воздействие температуры. Ташкент: Укитувчи, 1994.

References

1. Zenkov N.I. Stroitel'nye materialy i povedenie ikh v usloviyakh pozhara. [Construction materials and their behavior in the conditions of the fire]. Moscow: The higher school of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation. 1974.
2. Milovanov A.F. Ognestoikost' zhelezobetonnykh konstruktсий [Fire resistance of reinforced concrete designs]. Moscow: Stroyizdat. 1986.
3. Milovanov A.F., Kambarov Kh.U. Raschet zhelezobetonnykh konstruktсий na vozdeistvie temperatury

* СТО 36554501-006–2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. АО «НИЦ «Строительство».

** Отчет об испытаниях на пожарную опасность № 13331 от 25.05.2016 г. «Огнестойкость железобетонного блока тоннельной обделки, изготовленного по альбому рабочих чертежей 12-4005-Л-Р-02-КЖ1.1. ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 2016.

*** СТО 36554501-006–2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. АО «НИЦ «Строительство».

4. Новак С.В. Зависимость предела огнестойкости строительных бетонных конструкций от влажности бетона. *Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza*. 2015. Т. 39. С. 129–136.
 5. Голованов В.И., Павлов В.В. Экспериментальные исследования огнестойкости блоков обделки тоннельных коллекторов // *Пожарная безопасность*. 2011. № 4. С. 81–89.
 6. Khoury G.A. Explosive spalling of concrete in fire. Influence of load level and fiber length. London: ADFIL Construction Fibres Ltd. 2010. 14 p.
 7. Khoury G.A. Explosive spalling of concrete in fire. Role of fibre diameter. London: ADFIL Construction Fibres Ltd. 2010. 20 p.
 8. Lakshmi M.A. Seetha, Saranya V., Surdeep S. Experimental study on the mechanical properties of concrete with polypropylene fiber. *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)*. 2014. Vol. 3. Iss. 4, pp. 70–74. <http://www.irjes.com/Papers/vol3-issue4/Vesion%202/J347074.pdf>
 9. Larbi J.A., Polder R.B. Effects of polypropylene fibres in concrete: Microstructure after fire testing and chloride migration. *Heron*. 2007. Vol. 52. No. 4, pp. 289–306. <http://www.irjes.com/Papers/vol3-issue4/Vesion%202/J347074.pdf>
 10. Высокоскоростная железнодорожная магистраль Милан – Генуя // *Транспортное строительство*. 2016. № 9. С. 33–34.
 11. Shuttleworth P. Fire protection of concrete tunnel linings. *Tunnel management international*. 2002. Vol. 3. Iss. 2, pp. 39–44.
4. Novak S.V. Zavisimost' predela ognestoikosti stroitel'nykh betonnykh konstruksii ot vlazhnosti betona [The dependence of the fire resistance of building concrete structures from the moisture content of concrete]. *Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza*. 2015. Vol. 39, pp. 129–136. (In Russian).
 5. Golovanov V.I., Pavlov V.V. [Experimental studies of the fire resistance of the tunnel collector lining blocks] *Eksperimental'nye issledovaniya ognestoikosti blokov obdelki tunnel'nykh kollektorov. Pozharnaya bezopasnost'*. 2011. No. 4, pp. 81–89. (In Russian).
 6. Khoury G.A. Explosive spalling of concrete in fire. Influence of load level and fiber length. London: ADFIL Construction Fibres Ltd. 2010. 14 p.
 7. Khoury G.A. Explosive spalling of concrete in fire. Role of fibre diameter. London: ADFIL Construction Fibres Ltd. 2010. 20 p.
 8. Lakshmi M.A. Seetha, Saranya V., Surdeep S. Experimental study on the mechanical properties of concrete with polypropylene fiber. *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)*. 2014. Vol. 3. Iss. 4, pp. 70–74. <http://www.irjes.com/Papers/vol3-issue4/Vesion%202/J347074.pdf>
 9. Larbi J.A., Polder R.B. Effects of polypropylene fibres in concrete: Microstructure after fire testing and chloride migration. *Heron*. 2007. Vol. 52. No. 4, pp. 289–306. <http://www.irjes.com/Papers/vol3-issue4/Vesion%202/J347074.pdf>
 10. The high speed railway line Milan – Genoa. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2016. No. 9, pp. 33–34. (In Russian).
 11. Shuttleworth P. Fire protection of concrete tunnel linings. *Tunnel management international*. 2002. Vol. 3. Iss. 2, pp. 39–44.

Реклама

ООО «АКВАБАРЬЕР»

**16 лет на передовой
рынка стройматериалов**

**СИСТЕМА ПРОДУКТОВ
АКВАСТОП**



- гидроизоляционные шпонки
- деформационные швы
- декоративные деформационные швы
- декоративные профили для швов
- гидрофильные (набухающие) профили
- инъекционные системы

www.aquabarrier.ru

УДК 699.88

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-21-26>

Г.С. КАРДУМЯН, канд. техн. наук, доцент (niizb2011@mail.ru),
С.И. ИВАНОВ, канд. техн. наук (5378018@mail.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (НИИЖБ), АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Система защиты железобетонных конструкций от подземных вод «белая ванна»

Представлены новые российские нормативные документы СП 250.1325800.2016 «Здания и сооружения. Защита от подземных вод» и СТО НОСТРОЙ 2.7.156–2014 «Конструкции бетонные и железобетонные. Устройство водонепроницаемых конструкций. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ», гармонизированные с европейскими и устанавливающие требования к проектированию, а также правила выполнения и контроля работ при устройстве водонепроницаемых конструкций по системе защиты типа А (первичная защита, или «белая ванна»). Показана необходимость выполнения комплекса конструктивных и технологических мероприятий для обеспечения герметичности сооружения на период эксплуатации в подземных водах, в том числе без дополнительной (вторичной) защиты и дренажа. Рассмотрены принципы выполнения расчета термонапряженного состояния железобетонных конструкций и их расчета на трещиностойкость для обеспечения конструктивных требований водонепроницаемых конструкций по системе защиты «белая ванна». Показана целесообразность применения низкотермичных модифицированных бетонов для повышения трещиностойкости ограждающих конструкций, а также фактические цифры увеличения расхода арматуры при учете расчетных требований по трещиностойкости. Подтверждена экономическая целесообразность применения такого способа гидроизоляции.

Ключевые слова: водонепроницаемые конструкции без дополнительной (вторичной) защиты, первичная защита, «белая ванна», расчет термонапряженного состояния, расчет трещиностойкости, модификаторы бетона, Эмбэлит, гидрошпонка.

Для цитирования: Кардумян Г.С., Иванов С.И. Система защиты железобетонных конструкций от подземных вод «белая ванна» // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 21–26. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-21-26>

G.S. KARDUMYAN, Candidate of Sciences ((Engineering), Docent (niizb2011@mail.ru), S.I. IVANOV, Candidate of Sciences ((Engineering), (5378018@mail.ru) Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZHB), JSC "Research Center of Construction" (6, 2nd Institutskaia Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

“White Bath” Protection System of Reinforced Concrete Structures against Underground Water

New Russian regulations SP 250.1325800.2016 “Buildings and structures. Protection against groundwater” and SТО NOSTROY 2.7.156–2014 “Structures of concrete and reinforced concrete. Designs of waterproof structures. Rules, control of execution and requirements for operation results” harmonized with European and establish the requirement for designing as well as the rules of execution and work control, when constructing water-proofing structures according to the protection system of A type (primary protection or “white bath”, are presented. It is shown that it is necessary to perform a complex of structural and technological measures to ensure the tightness of the structure for the period of operation in groundwater, including without additional (secondary) protection and drainage. The principles of calculation of the thermal stress state of reinforced concrete structures and their calculation for crack resistance to ensure the structural requirements of waterproof structures according to the “white bath” protection system are considered. The expediency of application of low-heat modified concretes to increase the crack resistance of enclosing structures, as well as the actual figures of increasing the consumption of reinforcement with due regard for the design requirements for crack resistance are shown. The economic feasibility of using this method of waterproofing is confirmed.

Keywords: water-proof structures without additional (secondary) protection, primary protection, “white bath”, calculation of thermal stress state, calculation of crack resistance, concrete modifiers of Embelit type, waterstop.

For citation: Kardumyan G.S., Ivanov S.I. “White bath” protection system of reinforced concrete structures against underground water. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 21–26. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-21-26> (In Russian).

В условиях стесненной городской застройки надежным комплексным решением вопроса по защите зданий от подземных вод является устройство водонепроницаемых монолитных или сборно-монолитных железобетонных конструкций, одновременно выполняющих несущую функцию без дополнительной внешней изоляции с обязательным обеспечением уплотнения (герметизации) стыков, сопряжений, швов — так называемая первичная защита, или «белая ванна». В этом случае водонепроницаемый бетон применяется совместно с гидрошпонками и при необходимости водонабухающими лентами, инъекционными трубками, ватерстопами и др. Авторы статьи имеют непосредственное отношение к разработке нормативной документации и внедрению технологии «белая ванна» с учетом зарубежного и собственного опыта, для разъяснения ошибочного понимания такого способа гидроизоляции, сложившегося в строительной индустрии России в настоящее время: просто увеличения марки бетона по водонепроницаемости для отмены вторичной защиты конструкций недоста-

точно без выполнения правильного проектирования и необходимых конструктивных и технологических операций при возведении водонепроницаемых конструкций!

Основные требования к проектированию, конструктивным, технологическим мероприятиям, материалам, бетонным смесям и бетонам системы гидроизоляции «белая ванна», обозначаемой в СП как «система защиты типа А», устанавливает новый свод правил — СП 250.1325800.2016 «Здания и сооружения. Защита от подземных вод». СТО НОСТРОЙ 2.7.156–2014 «Конструкции бетонные и железобетонные. Устройство водонепроницаемых конструкций. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ» конкретизирует СП 250.1325800.2016 и устанавливает правила выполнения и контроля бетонных и гидроизоляционных работ при устройстве водонепроницаемых конструкций в соответствии с СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции», СТО НОСТРОЙ 2.6.54–2011 «Конструкции монолитные бетонные и железобетонные. Технические требо-

вания к производству работ, правила и методы контроля» и с учетом рекомендаций и требований зарубежных стандартов.

Способ гидроизоляции — устройство водонепроницаемых конструкций — система защиты типа А («белая ванна») обеспечивается выполнением комплекса конструктивных требований и технологических мероприятий. Причем независимо от типа выбранной системы защиты (А, В или С) для сооружений из железобетона следует выполнять указанные ниже требования и мероприятия, способствующие получению бездефектных и непроницаемых конструкций и их сопряжений (п. 5.1 СП 250.1325800.2016).

Основные конструктивные требования представлены в [1–4], п. 9.2 СП 250.1325800.2016 и включают в себя:

- разбивку ограждающих конструкций, соприкасающихся с грунтом (фундаментные плиты, стены и плиты покрытия подземной части здания), на отдельные укрупненные элементы (захватки) швами;

- расчет термонапряженного состояния железобетонных конструкций с целью выбора оптимального режима ухода за твердеющим бетоном;

- назначение армирования с учетом требований по трещиностойкости конструкций согласно требованиям СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» и СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии»;

- устройство непроницаемых технологических и деформационных швов с применением уплотняющих элементов (гидрошпонок и ватерстопов) для обеспечения герметичности сооружения.

Основные технологические мероприятия подробно представлены в [1–4], п. 9.3 СП 250.1325800.2016, СТО НОСТРОЙ 2.7.156–2014 и включают в себя следующие принципы:

- выполнение требований к материалам, бетонным смесям и бетонам по п. 9.4 СП 250.1325800.2016 и разделу 5 СТО НОСТРОЙ 2.7.156–2014;

- снижение экзотермии и усадки за счет применения модифицированных бетонов, обеспечивающих проектный класс по прочности на сжатие и заданные марки по морозостойкости и водонепроницаемости при минимальном расходе цемента, что и способствует повышению трещиностойкости конструкций. В проектах с научно-техническим сопровождением авторов для устройства водонепроницаемых конструкций обосновано исследованием [1–5] применение низкотермичных бетонов с модификаторами расширяющего действия Эмбэлит типа Б по ГОСТ Р 56178–2014 «Модификаторы органоминеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия» и соответствующим техническим условиям ТУ 5870-176-46854090–2004 с Изменением № 1 «Модификатор бетона Эмбэлит. Технические условия». Расширяющие добавки сульфоалюминатного типа или оксидные, как правило, повышают экзотермию бетона в процессе твердения [6]. Поэтому для обоснования возможности применения этих видов расширяющих добавок для бетонов системы защиты «белая ванна» необходимо выполнить измерения тепловыделения комплексного вяжущего на их основе по ГОСТ 24316–80 «Бетоны. Метод определения тепловыделения при твердении».

Представленное разделение на конструктивные и технологические требования условное (например, расчет термонапряженного состояния помогает выбрать режимы ухода за бетоном, но и результаты расчета зависят от принятой разбивки на блоки (захватки) бетонирования и технологии ухода), однако позволяет систематизировать подход к расчету и назначению пара-

метров конструкций и технологических режимов ухода за бетоном.

Статья посвящена в основном вопросам выполнения расчетов с целью обеспечения конструктивных требований к водонепроницаемым конструкциям системы защиты «белая ванна», так как технологические принципы подробно опубликованы ранее. Выполняемые расчеты условно можно разделить на две основные группы:

- расчет термонапряженного состояния;
- расчет трещиностойкости.

Расчет термонапряженного состояния железобетонных конструкций выполняется в два этапа.

1. Расчет распределения температуры в процессе твердения по сечению.

2. Расчет напряжений в бетоне молодого возраста, вызванных температурной нагрузкой и граничными условиями закрепления конструкции.

На первом этапе решается нестационарная задача теплопроводности, в результате которой находится распределение температуры по сечениям и объему конструкции [2, 7]. По результатам расчета определяется изменение температуры и разности температур между поверхностью и ядром в зависимости от граничных условий и времени твердения бетона.

Основные методики выполнения расчетов на втором этапе представлены в работе [8], однако инженерная методика, адаптированная для применения при проектировании, в нормативной и специальной литературе не представлена.

В результате на практике (при разработке регламентов бетонных работ) второй этап расчета не выполняется, оценка напряженного состояния не выполняется, вместо этого пользуются полуэмпирическими данными СП 70.13330.2012 о допустимом перепаде температуры по сечению, при котором не возникает трещин.

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева разработана методика инженерного расчета термонапряженного состояния с учетом положений ранее разработанных рекомендаций [7] и возможностей современных программных комплексов, реализующих метод конечных элементов. Методика была опробована при расчете подземных конструкций нескольких объектов, возведенных в последнее десятилетие в России (Белоярская АЭС, многофункциональный комплекс «Лакта-Центр» в Санкт-Петербурге, футбольный стадион в Ростове-на-Дону, ряд жилых и общественных зданий в Москве и др.).

Согласно разработанной методике **на первом этапе расчетов** используется любой программный комплекс, позволяющий моделировать объемные тела и решать нестационарную задачу теплопроводности (CalculiX, Atena, Ansys, Abaqus и др.).

Теплоемкость, теплопроводность и объемный вес бетона принимаются постоянными для всех временных интервалов с учетом особенностей рецептуры [9]. Теплопроводность железобетона конструкций задается с учетом армирования. Для бетона проектного номинального состава принимается соответствующая расчетная модель тепловыделения, учитывающая динамику температурного режима. Характеристики тепловыделения принимаются по [7] или определяются по ГОСТ 24316–80.

Следует отметить, что характеристики тепловыделения бетонов могут значительно отличаться в зависимости от вида цемента и добавок [6, 10], поэтому предпочтение следует отдавать прямым методам определения тепловыделения по ГОСТ 24316–80, при применении которых отличие расчетной максимальной температуры от фактической не превышает 3–5°C согласно [2].

Основание моделируется с приведенными теплофизическими характеристиками грунта и бетона, соответствующими фактической конструкции подготовки или свайного основания.

Теплоотдача по внешней поверхности слоев фундаментной плиты моделируется с переменными коэффициентами теплоотдачи и внешней температурой согласно принятым условиям строительства по ГОСТ 24316–80 и ухода за бетоном [7]. Контакт по внутренним поверхностям (между блоками-захватками бетонирования) принимается с учетом передачи тепла без потерь.

На втором этапе расчетов может быть использован программный комплекс, позволяющий моделировать объемные тела, прикладывать на них нагрузку в виде температурных полей из результатов расчета первого этапа и рассчитывать напряжения с учетом граничных условий (CalculiX, Atena, Abaqus и др.).

Решается статическая задача, в результате которой определяется распределение напряжений по объему конструкции.

Температурные нагрузки принимаются из решения задачи теплопроводности в соответствии с рассматриваемым временным интервалом при заданном коэффициенте линейного расширения материала.

Расчетная модель для статического расчета на период возведения представляет собой трехмерную модель конструкции на жестком основании. Граничные условия задаются в виде контакта трения между нижней или боковой поверхностью конструкции и основанием. Характеристики контакта принимаются в уровне сопряжения гидроизоляции подготовки с бетоном (при отсутствии фактических данных допускается принимать $\mu=0,5$ согласно [11]).

В ходе решения учитывается изменение прочности и модуля упругости бетона с возрастом [12, 13]. Зависимость физико-механических характеристик материала плиты задается от времени наблюдения (t). Для каждого промежуточного интервала в момент времени t_0 устанавливается условный коэффициент ползучести $\varphi(t, t_0)$ по методике [14], учитывающей развитие ползучести во времени и условия твердения бетона.

Дополнительно учитываются реологические свойства (ползучесть) бетона, проявляющиеся к моменту наблюдения (t). Для каждого промежуточного интервала в момент времени t_0 устанавливается условный коэффициент ползучести $\varphi(t, t_0)$ по методике [14], учитывающей развитие ползучести во времени и условия твердения бетона.

Следует иметь в виду, что наличие в составе бетонной смеси суперпластификаторов может существенно повлиять на деформационные свойства бетонов как при кратковременном, так и при длительном нагружении [15–17]. Кроме того, при высоких значениях контракционной усадки в ранний период твердения повышается вероятность раннего трещинообразования [18–20].

За критерий трещинообразования принимается достижение напряжений в конечном элементе R_{ult} – приведенной прочности, равной сумме нормативного значения прочности бетона на растяжение ($R_{bt,n}$) для соответствующего возраста и напряжений, приходящихся на арматуру $\sigma_s = \varepsilon_{bt} E_s$, где $\varepsilon_{bt} = 0,00015$ согласно СП 63.13330.2012 п. 8.1.32.

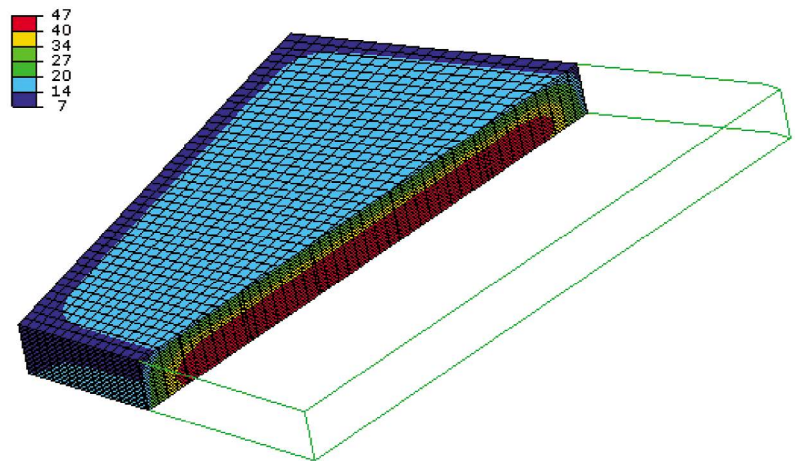


Рис. 1. Пример результатов расчета распределения температуры по сечению фундаментной плиты (высота сечения 3,5 м, размеры 22×25 м)

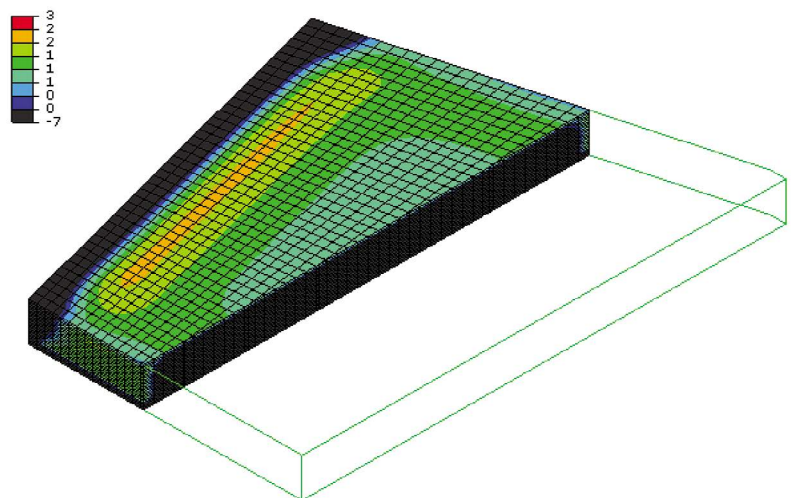


Рис. 2. Пример результатов расчета распределения растягивающих напряжений (в МПа) по сечению фундаментной плиты (высота сечения 3,5 м, размеры 22×25 м) в промежуточном возрасте

Результатом расчетов термонапряженного состояния по описанной методике являются:

- распределение температуры по сечению в зависимости от времени и режима ухода за бетоном (рис. 1);
- распределение напряжений на поверхности и по сечению с указанием участков и глубины наиболее вероятного образования трещин в зависимости от времени и режима ухода за бетоном (рис. 2);
- рекомендации по наиболее оптимальным режимам бетонирования (рекомендуемый состав бетона, размещение захваток, последовательность бетонирования) и ухода (места и срок снятия или укладки утеплителя, устройства тента, тепляка) в период твердения бетона;
- возможность оперативной расчетной оценки последствий в случае существенного отступления фактических условий ухода за бетоном от принятых при проектировании (аномально низкие температуры зимой, аварийное подтопление и др.) (рис. 3).

На рис. 3 представлены результаты сравнения фактической и рассчитанной температуры, определенных по справочным данным. Для ядра сечения отличие достигает 10°C , что существенно превышает $3\text{--}5^\circ\text{C}$ по данным [2]. Наиболее вероятная причина – различие в исходных данных для расчета: при расчетах, представленных на рис. 3, принимались справочные данные, при

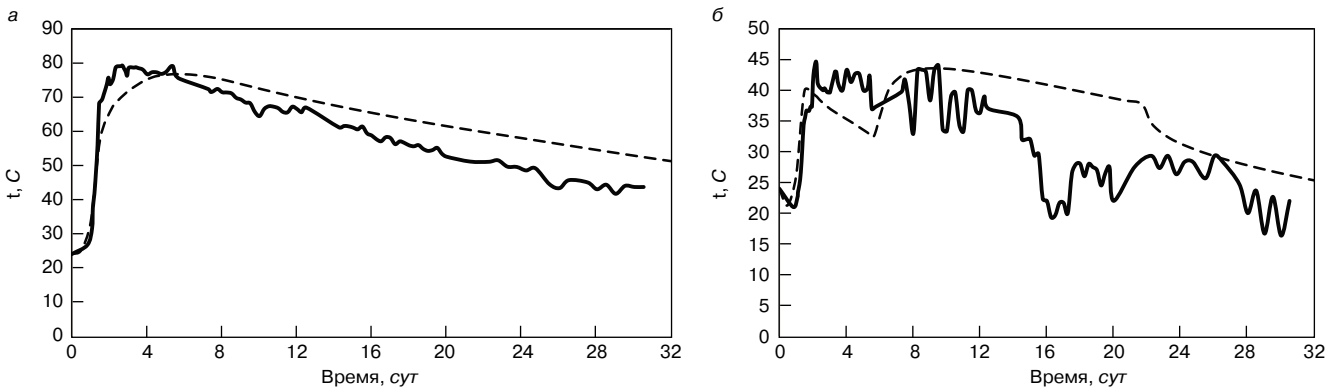


Рис. 3. Пример сопоставления расчетной (пунктир) и фактической (сплошная) температуры фундаментной плиты в ядре (а) и на поверхности (б)

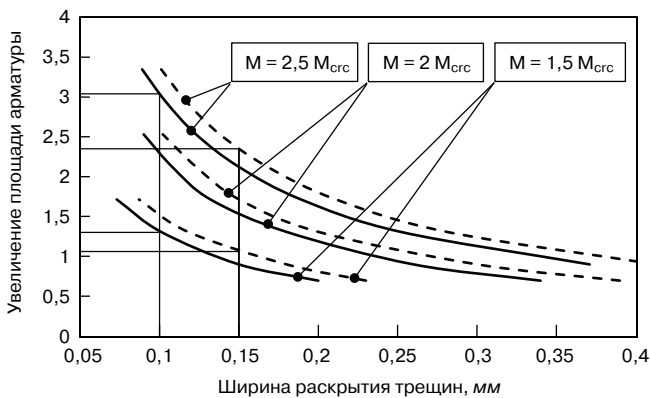


Рис. 4. Зависимость увеличения количества арматуры от допустимой ширины раскрытия трещин

расчетах [2] принимались результаты испытаний по ГОСТ 24316–80.

Представленная методика расчетов термонапряженного состояния железобетонных конструкций не позволяет определить ширину раскрытия трещин, однако позволяет оценить вероятность и разработать условия, при которых не возникают сквозные (п. 9.1 и п. 9.2.5–9.2.6 СП 250.1325800.2016) и несквозные силовые трещины.

Расчет трещиностойкости. Основная сложность при проектировании водонепроницаемых конструкций заключается в назначении армирования с учетом требований по трещиностойкости конструкций, которые отличаются от требований к обычным железобетонным конструкциям согласно СП 63.13330.2012. Дело в том, что согласно СП 250.1325800.2016, предельно допустимая ширина раскрытия несквозных трещин определяется в соответствии с табл. Ж. 4 СП 28.13330.2017. Согласно п. 9.2.7 СП 250.1325800.2016 количество арматуры «в направлении действия растягивающих напряжений» должно назначаться по расчету трещиностойкости, выполняемому по СП 63.13330.2012. Расчет трещиностойкости следует выполнять с учетом предельно допустимого значения непродолжительного и продолжительного раскрытия трещин, отличающегося от значений п. 8.2.6 СП 63.13330.2012, обычно принимаемых при проектировании.

Так, например, для сооружения II класса по условиям эксплуатации (табл. 5.2 СП 250.1325800.2016) следует учитывать предельно допустимые значения ширины раскрытия трещин:

– 0,15 и 0,1 мм для фундаментной плиты и нижних сечений наружных стен вместо 0,4 и 0,3 мм (при непродолжительном и продолжительном раскрытии);

– 0,2 и 0,15 мм для верхних сечений наружных стен и плиты покрытия вместо 0,4 и 0,3 мм (при непродолжительном и продолжительном раскрытии).

В результате ужесточения требований по допустимой ширине раскрытия трещин требуемое количество арматуры должно увеличиваться. На рис. 4 для примера (рассмотрена фундаментная плита из бетона класса В40 толщиной 1,2 м) показаны зависимости увеличения требуемого количества арматуры (по оси У приведено отношение требуемого по СП 28.13330.2017 количества арматуры к требуемому по СП 63.13330.2012) от ограничения по допустимой ширине раскрытия трещин (показано по оси X) для изгибаемого элемента. Сплошной линией показаны зависимости, полученные при расчете с учетом продолжительного раскрытия трещин, пунктирной – с учетом непродолжительного раскрытия трещин. Рассмотрено три расчетных случая, когда момент от кратковременного действия нагрузки в 1,5–2,5 раза больше момента, воспринимаемого нормальным сечением при образовании трещин.

Из рис. 4 следует, что для рассмотренного примера требуемое из условия ограничения ширины раскрытия трещин армирование может увеличиваться в 1,1–3 раза.

Однако, как правило, сечения, в которых обеспечено указанное выше требование СП 63.13330.2012, но не выполняются требования СП 28.13330.2017, расположены в местах наибольших положительных моментов (около 10% площади плиты) и только со стороны подземных вод (рис. 5).

Теоретическое увеличение количества арматуры, определенное в предположении симметричного армиро-

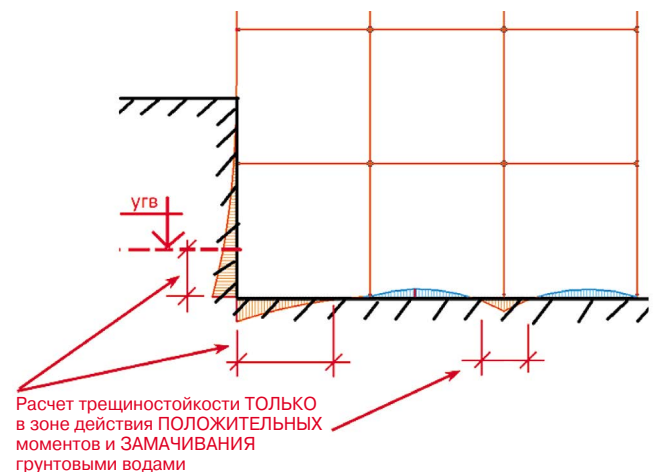


Рис. 5. Схема участков, для которых требуется расчет трещиностойкости

вания (требуется только увеличение половины первоначального армирования и только со стороны положительных моментов), для представленного на рис. 4 примера составит ориентировочно $0,5 \cdot 0,1 \cdot (1,1 - 3) \cdot 100\% = 6 - 15\%$.

На практике с учетом имеющихся запасов, закладываемых при проектировании и с учетом действия сжимающих сил, увеличения армирования или не требуется вовсе, или оно составляет не более 10%.

Возведение ограждающих конструкций подземных частей сооружений по системе защиты «белая ванна» связано со сложными инженерными решениями, поэтому требует высокого уровня культуры производства работ на всех стадиях строительного процесса: установку уплотняющих элементов в швы должны производить квалифицированные специалисты при авторском надзоре специалистов фирмы-поставщика; бетонные работы и процессы ухода за конструкциями следует производить согласно технологическому регламенту, разработанному специализированной организацией.

На сегодняшний день только в г. Москве и области уже возведены подземные части более 20 сооружений, в том числе многоуровневые для высотных зданий и небольшие по размерам для объектов социального назначения (поликлиники и общеобразовательные школы) с применением способа защиты от подземных вод «белая ванна».

При сравнении технико-экономических показателей традиционного (ЕПДМ мембрана) и примененного (устройство водонепроницаемых конструкций по типу А «белая ванна») решений по гидроизоляции для одного из объектов г. Москвы было установлено, что в период строительства удельная стоимость железобетона фундаментной плиты увеличилась на 250 р./м³, или 0,8% (за счет увеличения затрат на бетон с модификатором Эмбэлит и дополнительную арматуру), однако в период эксплуатации (около восьми лет наблюдений) затрат на ремонт водонепроницаемых конструкций не потребовалось.

При традиционной оклеечной гидроизоляции стоимость одного цикла ремонта протечек инъектированием полимерными составами составляет 50–150 р./м³ бетона конструкции и более. Учитывая, что в большинстве случаев одного цикла ремонта недостаточно, например из-за миграции очагов фильтрации в стенах, и уже через несколько лет эксплуатации затраты на ремонт значительно превышают затраты на устройство водонепроницаемых конструкций («белой ванны»).

Часто при применении традиционной оклеечной гидроизоляции или ЕПДМ мембраны проектом предусматривается система дренажа на весь период эксплуатации сооружения. При устройстве водонепроницаемых конструкций по типу А дренаж следует предусма-

тривать только на период возведения конструкций подземной части здания. В этом случае применение «белой ванны» сильно удешевляет проект и затраты на модифицированный бетон и дополнительное армирование по сравнению со стоимостью системы дренажа уже не принимаются в расчет.

С учетом результатов накопленного опыта инициатором внедрения системы защиты от подземных вод без устройства дополнительной (вторичной) защиты все чаще становится подрядчик по производству строительных работ, а не только заказчик или эксплуатирующая здание организация, что свидетельствует не только о «долгосрочной», но и о «краткосрочной» (в пределах гарантийного срока подрядной организации – до двух лет с момента завершения строительства) экономической эффективности затрат.

Выводы.

Основные требования к проектированию системы защиты типа А («белая ванна») установлены в СП 250.1325800.2016, а правила выполнения и контроля работ при возведении водонепроницаемых конструкций – в СТО НОСТРОЙ 2.7.156–2014 и распространяются на все сооружения из железобетона независимо от применяемой системы защиты типов А, В или С для обеспечения их герметичности и долговечности в процессе эксплуатации.

Существующая нормативная база позволяет выполнять необходимые расчеты для обеспечения комплекса требований системы защиты от подземных вод типа А («белая ванна»). Точность результатов расчетов температуры существенно зависит от принимаемых исходных данных по тепловыделению вяжущего. Для обеспечения необходимой точности расчетов рекомендуется принимать результаты испытаний по ГОСТ 24316–80.

Теоретическое увеличение армирования при учете требований по трещиностойкости водонепроницаемых конструкций не превышает 15–20%. На практике с учетом запасов, принимаемых при проектировании, увеличения армирования или не требуется, или оно составляет не более 10%.

Экономическая эффективность внедрения «белой ванны» подтверждается не только заказчиком, но и подрядными организациями уже в период гарантийного срока – в течение двух лет после ввода объекта в эксплуатацию.

Внедрение способа гидроизоляции путем устройства водонепроницаемых ограждающих конструкций системы защиты типа А не ведет к удорожанию возведения подземной части сооружения, а значительно снижает стоимость мероприятий по обеспечению его долговечности в период эксплуатации.

Список литературы

1. Кардумян Г.С. Низкотермичные бетоны с компенсированной усадкой, модифицированные комплексной добавкой «ЭМБЭЛИТ», для водонепроницаемых конструкций по системе «Белая ванна» // *Строительные материалы*. 2012. № 11. С. 49–55.
2. Шифрин С.А., Кардумян Г.С. Использование органо-минеральных модификаторов серии МБ для снижения температурных напряжений в бетонированных массивных конструкциях // *Строительные материалы*. 2007. № 9. С. 9–11.
3. Usherov-Marshak A., Sopov V., Kardumyan G., Kapriyelov S. Influence of Organic and mineral Admixtures

References

1. Kardumyan G.S. Nizkotermichnye the concrete with the compensated shrinkage modified by complex EMBELIT additive for waterproof designs on the White Bathtub system. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 11, pp. 49–55. (In Russian).
2. Shifrin S.A., Kardumyan G.S. Use of organomineralny modifiers of the MB series for decrease in temperature tension in the concreted massive designs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 9, pp. 9–11. (In Russian).
3. Usherov-Marshak A., Sopov V., Kardumyan G., Kapriyelov S. Influence of Organic and mineral Admixtures on Early Hydration of Cement. *16 International*

- on Early Hydration of Cement. *16 International Baustofftagung*. 20–23 Sept. 2006. Weimar. Band 2, pp. 653–659.
4. Kardumyan G. Non-shrinkage low cement concrete of low permeability and exothermicity for crack resistant massive structures. *17 International Baustofftagung*. 26–29 Sept. 2009. Weimar. Band 2, pp. 523–529.
 5. Kardumyan G., Kaprielov S. New Generation of multi-component modifiers for producing high-strength concrete with compensated shrinkage and expansion. *16 International Baustofftagung*. 20–23 Sept. 2006. Weimar. Band 2, pp. 43–50.
 6. Несветаев Г.В., Виноградова Е.В. О влиянии суперпластификаторов и расширяющей добавки на тепловыделение портландцемента в ранний период твердения. *Наука, техника и технология XXI века: Материалы Второй Всероссийской научно-технической конференции*. 2005. Нальчик. Ч. 2. С. 130–135.
 7. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях. М.: РААСН, НИИЖБ, 2005.
 8. Арлеинов П.Д., Крылов С.Б. Современное состояние нелинейных расчетов железобетонных конструкций // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2017. № 3. С. 50–53.
 9. Несветаев Г.В. Бетоны. Ростов н/Д: Феникс, 2013. 381 с.
 10. Несветаев Г.В., Корчагин И.В., Потапова Ю.И. О тепловыделении портландцемента в присутствии суперпластификатора // *Научное обозрение*. 2014. № 8. С. 907–913.
 11. Design and Construction of Post-Tensioned Slabs-on-Ground. Post-Tensioning Institute. Phoenix, Arizona. 1982. 89 p.
 12. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Прочность цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении // *Бетон и железобетон*. 2013. № 5. С. 6–8.
 13. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Модуль упругости цементного камня и бетона. Ростов н/Д: РГСУ, 2013. 81 с.
 14. EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of Concrete. Structures – Part 1: General rules and rules for buildings.
 15. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны: модуль упругости и мера ползучести // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 68–71.
 16. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Модуль упругости цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении // *Бетон и железобетон*. 2013. № 6. С. 10–13.
 17. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. О ползучести цементного камня и бетона с модифицирующими добавками // *Бетон и железобетон*. 2014. № 4. С. 6–8.
 18. Несветаев Г.В., Щербинина Т.А. К вопросу нормирования усадки цементных бетонов // *Наукоедение*. 2015. Т. 7. № 5 (30). С. 145.
 19. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С., Та Ван Фан, Хомич Л.А., Блягоз А.М. Контракция портландцемента в присутствии суперпластификаторов и минеральных модификаторов // *Новые технологии*. 2012. Вып. 4. С. 125–128.
 20. Несветаев Г.В., Корчагин И.В., Потапова Ю.И. О контракции портландцемента в присутствии суперпластификатора // *Научное обозрение*. 2014. № 7. С. 842–846.
 - Baustofftagung*. 20–23 Sept. 2006. Weimar. Band 2, pp. 653–659.
 4. Kardumyan G. Non-shrinkage low cement concrete of low permeability and exothermicity for crack resistant massive structures. *17 International Baustofftagung*. 26–29 Sept. 2009. Weimar. Band 2, pp. 523–529.
 5. Kardumyan G., Kaprielov S. New Generation of multi-component modifiers for producing high-strength concrete with compensated shrinkage and expansion. *16 International Baustofftagung*. 20–23 Sept. 2006. Weimar. Band 2, pp. 43–50.
 6. Nesvetayev G.V., Vinogradova E.V. About influence of supersofterners and the expanding additive on heat release of the portlandtsement during the early period of curing. *Science, equipment and XXI centuries technology: Materials of the second All-Russian scientific and technical conference*. 2005. Nalchik. Part 2, pp. 130–135. (In Russian).
 7. Rukovodstvo po progrevu betona v monolitnykh konstruktivnykh [The guide to warming up of concrete in monolithic designs]. Moscow: RAASN, NIIZhB, 2005.
 8. Arleninov P.D., Krylov S.B. Current state of nonlinear analysis of reinforced concrete structures. *Seismostoiikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii*. 2017. No. 3, pp. 50–53. (In Russian).
 9. Nesvetaev G.V. Betony [The Concrete]. Rostov-on-Don: Fenics, 2013. 381 c.
 10. Nesvetayev G.V., Korchagin I.V., Potapova Yu.I. About heat release of the portlandtsement in the presence of supersofterner. *Nauchnoe obozrenie*. 2014. No. 8, pp. 907–913. (In Russian).
 11. Design and Construction of Post-Tensioned Slabs-on-Ground. Post-Tensioning Institute. Phoenix, Arizona. 1982. 89 p.
 12. Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S. Prochnost of a cement stone with supersofterners and organomineralny modifiers taking into account its own deformations when curing. *Beton i zhelezobeton*. 2013. No. 5, pp. 6–8. (In Russian).
 13. Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S. Modul' uprugosti tsementnogo kamnya i betona [Modul of elasticity of a cement stone and concrete]. Rostov-on-Don: RGSU, 2013. 81 p.
 14. EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of Concrete. Structures. Part 1: General rules and rules for buildings.
 15. Nesvetayev G.V., Davidyuk A.N. The self-condensed concrete: module of elasticity and measure of creep. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 68–71. (In Russian).
 16. Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S. Modul of elasticity of a cement stone with supersofterners and organomineralny modifiers taking into account its own deformations when curing. *Beton i zhelezobeton*. 2013. No. 6, pp. 10–13. (In Russian).
 17. Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S. About creep of a cement stone and concrete with the modifying additives. *Beton i zhelezobeton*. 2014. No. 4, pp. 6–8. (In Russian).
 18. Nesvetayev G.V., Shcherbinina T.A. To a question of rationing of shrinkage of cement concrete. *Naukovedenie*. 2015. Vol. 7. No. 5 (30), pp. 145. (In Russian).
 19. Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S., That Wang Fang, Homich L.A., Blyagoz A.M. Kontraktion of the portlandtsement in the presence of supersofterners and mineral modifiers. *Novye tekhnologii*. 2012. Iss. 4, pp. 125–128. (In Russian).
 20. Nesvetayev G.V., Korchagin I.V., Potapova Yu.I. About a counteraction of the portlandtsement in the presence of supersofterner. *Nauchnoe obozrenie*. 2014. No. 7, pp. 842–846. (In Russian).

УДК 666.9

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-27-30>

Л.В. МОРГУН¹, д-р техн. наук (konst-ivm@yandex.ru), Д.А. ВОТРИН¹, преподаватель-исследователь (rstvnd@gmail.com);
В.Н. МОРГУН², канд. техн. наук (vlad_morgun@bk.ru)

¹ Донской государственной технической университет (344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

² Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета (344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42)

Влияние диаметра дисперсной арматуры на скорость фазового перехода в фибропенобетонных смесях

Показана актуальность решения одной из проблем технологии пенобетонов, заключающаяся в сокращении периода фазового перехода пенобетонных смесей из вязко-пластичного состояния в упругое. Научно обоснована возможность достижения поставленной цели путем уменьшения диаметра армирующего волокна. Данное явление объяснено взаимосвязью между параметрами зета-потенциала на поверхности волокон и величиной диаметра дисперсной арматуры, а также разницей в количестве фибры при разных диаметрах на единицу массы. В проведенных исследованиях использовано несколько типов фибры в качестве армирующей добавки в пенобетон, которые были равны по длине, но отличались по диаметру сечения – 18, 100, 150 мкм. Экспериментально установлено, что уменьшение диаметра волокна (на примере полиамидной фибры) на порядок, обеспечивает повышение пластической прочности смесей в пять раз в конце третьего часа твердения. Представлены фото примененных типов фибры после разрушения экспериментальных образцов. Визуально установлено (при увеличении в 200 раз), что использование фибры минимального диаметра обеспечивает наилучшую адгезию новообразований цементного камня к поверхности волокна. Рассмотрена взаимосвязь между общим количеством армирующих волокон и начальной пластической прочностью пенобетонной смеси. Экспериментально установлено, что при уменьшении диаметра дисперсной арматуры в пять раз, начальное значение пластической прочности повышается на 39%.

Ключевые слова: кинетика пластической прочности, фибропенобетонная смесь, диаметр волокна, зета-потенциал.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках программы «У.М.Н.И.К.–2016» (договор № 0033960).

Для цитирования: Моргун Л.В., Вотрин Д.А., Моргун В.Н. Влияние диаметра дисперсной арматуры на скорость фазового перехода в фибропенобетонных смесях // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 27–30. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-27-30>

L.V. MORGUN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (konst-ivm@yandex.ru), D.A. VOTRIN¹, Engineer (rstvnd@gmail.com);

V.N. MORGUN², Candidate of Sciences (Engineering) (vlad_morgun@bk.ru)

¹ Don State Technical University (1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation)

² Academia of Architecture and Arts of the Southern Federal University (105/42, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation)

Influence of the Disperse Reinforcement Diameter on the Speed of Phase Transfer in Fibro-Foam Concrete Mixes

The actuality of solving one of the problems of foam concrete technology, which consists in reducing the period of phase transfer of foam concrete mixes from visco-plastic to elastic state, is shown. The possibility of achieving this goal by reducing the diameter of the reinforcing fiber is scientifically substantiated. This phenomenon is explained by the interrelation between the parameters of the zeta potential on the surface of the fibers and the size of the diameter of the disperse reinforcement, as well as the difference in the number of fibers at different diameters per mass unit. In the conducted studies several types of fiber were used as a reinforcing additive in foam concrete, which were equal in length, but differed in cross-section diameter – 18, 100, 150 microns. It is experimentally established that the reduction of the fiber diameter (on the example of polyamide fiber) by an order, provides an increase in the plastic strength of the mixtures by 5 times at the end of the third hour of hardening. Photos of the applied types of fiber after destruction of experimental samples are presented. It is visually established (at an increase in 200 times) that the use of fiber of the minimum diameter provides the best adhesion of new formations of a cement stone to a fiber surface. The interrelation between the total number of reinforcing fibers and the initial plastic strength of the foam concrete mixture is considered. It is experimentally established that with a decrease in the diameter of the disperse reinforcement by 5 times, the initial value of the plastic strength increases by 39%.

Keywords: kinetics of plastic strength, fibro-foam concrete mix, fiber diameter, zeta potential, polyamide fiber, adhesion of hard phase particles.

The work was financially supported by the Federal Fund for the Promotion of the Development of Small Forms of Enterprises in Scientific-Technical Sphere within the program “U.M.N.I.K.–2016” (contract № 0033960).

For citation: Morgun L.V., Votrin D.A., Morgun V.N. Influence of the disperse reinforcement diameter on the speed of phase transfer in fibro-foam concrete mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 27–30. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-27-30> (In Russian).

Проблемы энерго- и ресурсосбережения в современном строительном комплексе являются в настоящее время одними из самых важных [1], потому что строительство и объекты инфраструктуры потребляют более 60% энергии, вырабатываемой в мире [2]. Именно поэтому начиная со второй половины XX в. все промышленно и технологически развитые страны активно развивают производство строительных изделий из газонаполненных бетонов [3, 4].

Несмотря на популярность применения в строительстве изделий из газонаполненных бетонов, до настоящего времени не существует единой точки зрения на закономерности формирования их структуры в зависимости от ряда рецептурных и технологических факторов [5]. Отсутствие достоверного знания не позволяет

на практике стабильно изготавливать продукцию высокого качества. В то же время проблема совершенствования свойств пенобетонов неавтоклавно твердения продолжает быть актуальной.

Известно [5, 6], что важнейшей причиной накопления дефектов в затвердевшем газонаполненном бетоне является длительность фазового перехода смесей из вязкопластичного состояния в упругое. Известно также, что одним из эффективных приемов, способствующих комплексному улучшению эксплуатационных свойств таких бетонов, является дисперсное армирование их синтетическими волокнами [6–8].

Современная промышленность, поставляющая синтетическую фибру, для улучшения эксплуатационных свойств бетонов предлагает стройиндустрии довольно

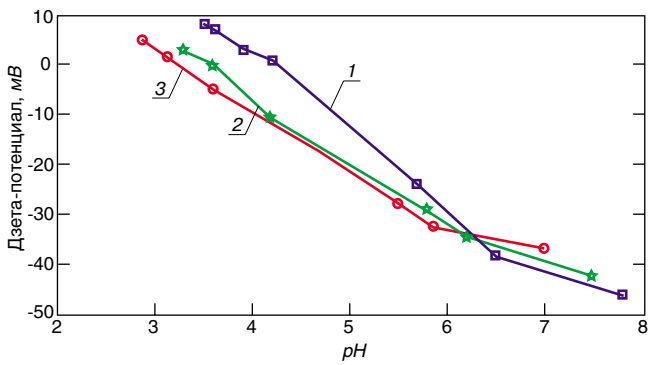


Рис. 1. Влияние диаметра фибры (1 – 25 мкм; 2 – 29 мкм; 3 – 43 мкм) на ее ζ -потенциал в зависимости от степени щелочности среды [11]

широкий выбор материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами [9, 10]. Из литературы, посвященной свойствам синтетических волокон [11, 12, 7], известно, что размеры поперечного сечения волокон управляют величиной поверхностного потенциала и их механическими свойствами. Поскольку величина поверхностной энергии фибры является важным инструментом влияния на скорость формирования межпоровых перегородок [8, 13], то именно поэтому авторами было принято решение о необходимости экспериментального изучения этой зависимости.

Исходя из того, что рост фрактальных кластеров в дисперсной системе фибропенобетонной смеси происходит путем перемещения в жидкой фазе твердых зернистых частиц и их адсорбции на поверхности фибры, эти перемещения подчиняются воздействию ее силового поля [14, 15]. Поэтому можно предположить, что размеры и скорость образования жестких кластеров будут зависеть от геометрических параметров волокна, в частности от диаметра.

Исследования показали [11, 16], что поверхность любой фибры обладает электрокинетическим потенциалом. Перемещение дисперсных частиц твердой фазы к поверхности заряженного волокна сопровождается ионным сорбционным взаимодействием между различными зарядами [13, 17].

Из графика (рис. 1) следует, что с уменьшением диаметра волокна увеличивается дзета-потенциал поверхности фибры. Данный факт обусловлен тем, что с уменьшением толщины волокон увеличивается плотность химических групп на их поверхности [11]. Поэтому поверхностные химические группы легче ионизируются, что и предопределяет рост плотности адсорбционного слоя вокруг волокон. Последнее должно способствовать повышению адгезии зернистых частиц твердой фазы вокруг фибры.

Исходя из изложенного можно предположить, что между диаметром армирующего волокна в пенобетонной смеси и скоростью ее фазового перехода должна существовать корреляционная связь. В связи с этим было проведено исследование влияния диаметра дисперсной арматуры (на примере полиамидного волокна) на скорость формирования упругой структуры в фибропенобетонной смеси.

Для данного исследования были отобраны три типа полиамидного (ПА) волокна одинаковой длины (18 мм) с варьируемой величиной диаметра. Диаметр армирующих волокон рецептуры 1 составлял 18 мкм, рецептуры 2 – 100 мкм, рецептуры 3 – 150 мкм. Диаметр волокон подбирался исходя из их доступности на рынке РФ.

Пенобетонные смеси изготавливались по одностадийной технологии в лабораторном смесителе емкостью 60 л. Смеси готовились идентичными по всем параметрам рецептуры с содержанием дисперсной арматуры

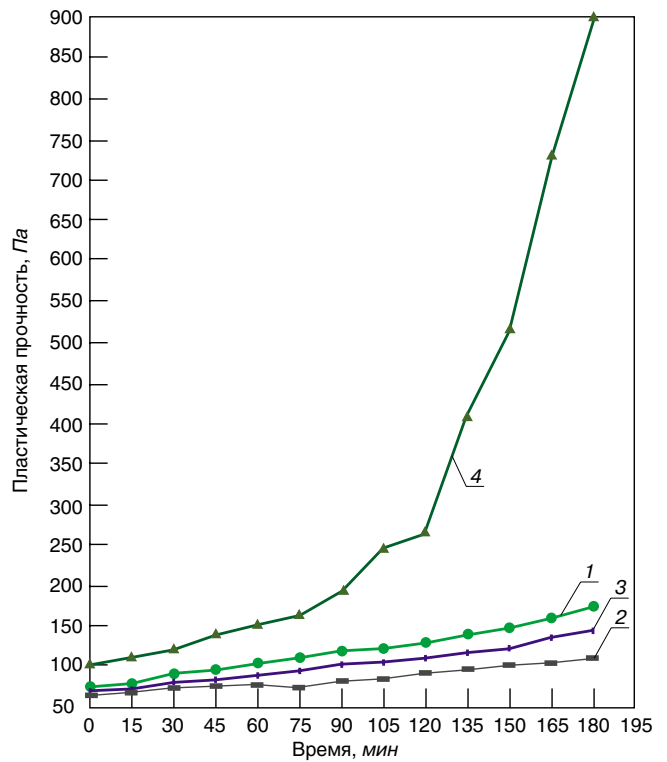


Рис. 2. Влияние диаметра армирующих волокон на кинетику пластической прочности фибропенобетонной смеси. Средняя плотность бетона 900 кг/м³: 1 – ПА \varnothing 0,1 мм; 2 – пенобетонная смесь; 3 – ПА \varnothing 0,15 мм; 4 – ПА \varnothing 0,018 мм

1,5% от массы твердых компонентов для проектной средней плотности бетона 900 кг/м³. Испытания проводились по методике [18]. Полученные экспериментальные данные представлены в таблице и на рис. 2.

Анализ полученных данных показывает, что диаметр применяемой фибры можно считать важным инструментом управления кинетикой пластической прочности пенобетонных смесей. Чем меньше диаметр, тем при прочих равных рецептурных соотношениях быстрее увеличивается пластическая прочность исследуемого материала.

Величина пластической прочности в конце третьего часа твердения смеси, армированной фиброй из ПА \varnothing 18 мкм, в пять раз превышает значения смеси с ПА \varnothing 100 мкм и в шесть раз по сравнению со смесью, содержащей ПА фибру \varnothing 150 мкм (900,34 Па; 175,84 Па и 146,14 Па соответственно). Помимо этого из графиков следует, что с уменьшением диаметра армирующего волокна кривая набора пластической прочности показывает более выраженный экспоненциальный рост.

Вторым фактором, влияющим на скорость набора пластической прочности, стало общее число армирующих волокон в смеси. При увеличении числа волокон уменьшается среднее расстояние между ними. Поскольку каждое волокно – это протяженная поверхность твер-

Уравнения аппроксимирующих линий пластической прочности фибропенобетонных смесей в зависимости от типа фибры

Тип фибры в смеси	Общий вид уравнения пластической прочности	Величина достоверности аппроксимации
ПА \varnothing 18 мкм	$\tau = 82,278e^{0,012x}$	$R^2 = 0,9397$
ПА \varnothing 100 мкм	$\tau = 78,28e^{0,0045x}$	$R^2 = 0,9887$
ПА \varnothing 150 мкм	$\tau = 72,78e^{0,0038x}$	$R^2 = 0,9816$

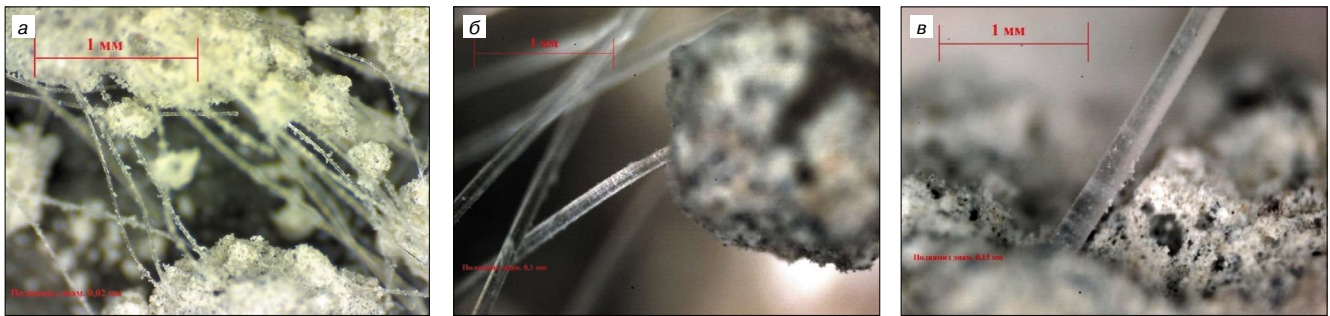


Рис. 3. Поверхность волокон, извлеченных из фибропенобетона: а – ПА \varnothing 18 мкм; б – ПА \varnothing 100 мкм; в – ПА \varnothing 150 мкм; увеличение в 200 раз

дой фазы, то от его количества должна зависеть скорость фазового перехода (рис. 2). При уменьшении диаметра волокна в пять раз начальные значения пластической прочности смеси с ПА \varnothing 18 мкм и ПА \varnothing 100 мкм отличаются на 39%.

Фотографии волокон (увеличение $\times 200$), обнаженных в результате разрушения образцов фибропенобетона (через 50 сут), показали разницу в интенсивности адгезии дисперсных частиц твердой фазы к поверхности фибры (рис. 3). Поверхность полиамидного волокон диаметром 18 мкм визуальна на 35–40% покрыта зернистыми частицами новообразований цементного камня. Волокна из полиамида диаметром 100 и 150 мкм имеют

на своей поверхности гораздо меньшее число зернистых частиц (менее 10%).

Выводы

Научно обоснована возможность управления скоростью фазового перехода пенобетонных смесей из вязкопластичного состояния в упругое с помощью минимизации диаметра фибры, используемой для дисперсного армирования.

Экспериментально установлено, что величину пластической прочности и скорость фазового перехода можно регулировать, опираясь на такой геометрический параметр фибры, как ее диаметр.

Список литературы

1. Киселева Е.А. Энерго- и ресурсосбережение – основа устойчивого развития города и территории // *Вестник МГСУ*. 2011. № 6. С. 630–634.
2. Papon P. Energy Nechnology Perspectives 2017: Catalysing Energy Nechnology Transfomations. Paris: IEA, 2017. 443 p.
3. Сажнев Н.П., Шелег Н.К., Сажнев Н.Н. Производство, свойства и применение ячеистого бетона автоклавного твердения // *Строительные материалы*. 2004. № 3. С. 2–6.
4. Песцов В.И., Оцоков К.А., Вылегжанин В.П., Пинскер В.А. Эффективность применения ячеистых бетонов в строительстве России // *Строительные материалы*. 2004. № 3. С. 6–8.
5. Моргун Л.В., Смирнова П.В., Костыленко К.И., Пушенко О.В., Богатина А.Ю. Влияние процессов раннего структурообразования на свойства фибропенобетонов. *Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: Сборник трудов МНК*. 2011. Т. 2. С. 125–129.
6. Моргун В.Н., Моргун Л.В. Структура межпоровых перегородок в пенобетонных смесях // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 84–87.
7. Богатина А.Ю. Конструкционные фибропенобетоны для зданий гражданского типа. Дисс... канд. техн. наук. Ростов н/Д, 2005. 267 с.
8. Моргун Л.В. Структурообразование и свойства фибропенобетонов неавтоклавного твердения: Теория и методология рецептурно-технологического регулирования. Дисс... д-ра техн. наук. Ростов н/Д, 2005. 336 с.
9. Перепелкин К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности // *Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева*. 2002. Т. XLVI. № 1. С. 31–48. <http://fhmas.chem.msu.ru/rus/jvho/2002-1/31.pdf> (дата обращения 20.12.2017).
10. Вотрин Д.А. Обзор возможности применения волокон для производства фибропенобетона. *Строительство и Архитектура-2015. Современное состояние и перспективы развития инженерно-экологических систем, строительных технологий, материалов и ка-*

References

1. Kiseleva E.A. Energy and resource saving – the basis for sustainable development of the city and territory. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 6, pp. 630–634. (In Russian).
2. Papon P. Energy Nechnology Perspectives 2017: Catalysing Energy Nechnology Transfomations. Paris: IEA. 2017. 443 p.
3. Sazhnev N.P., Sheleg N.K., Sazhnev N.N. Production, properties and application of autoclaved aerated concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 3, pp. 2–6. (In Russian).
4. Pestsov V.I., Otsokov K.A., Vylegzhanin V.P., Pinsker V.A. Efficiency of the use of cellular concrete in the construction of Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 3, pp. 6–8. (In Russian).
5. Morgun L.V., Smirnova P.V., Kostylenko K.I., Pushenko O.V., Bogatina A.Yu. Influence of early structure formation processes on properties of fibropenobetona. *Integration, partnership and innovations in building science and education: collection of works ISC*. 2011. Vol. 2, pp. 125–129. (In Russian).
6. Morgun V.N., Morgun L.V. Structure of interporal partitions in foam concrete mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 84–87. (In Russian).
7. Bogatina A.U. Structural fibrous concrete for civil buildings. Cand. Diss. (Engineering). Rostov-on-Don. 2005. 267 p. (In Russian).
8. Morgun L.V. Structurization and properties of non-autoclaved hardening fibro-foam concrete: Theory and methodology of prescription and technological regulation. Doct. Diss. (Engineering). Rostov-on-Don. 2005. 336 p. (In Russian).
9. Perepyolkin K.E. Modern chemical fibers and prospects for their use in the textile industry. *Zhurnal Rossiyskogo khimicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva*. 2002. Vol. XLVI. No. 1, pp. 31. <http://fhmas.chem.msu.ru/rus/jvho/2002-1/31.pdf> (data of access 20.12.2017). (In Russian).
10. Votrin D.A. Overview of the possibility of using fibers for the production of fibrous foam. *Construction and Architecture-2015. Current state and prospects of development of engineering-ecological systems, construction technologies, materials and quality in construction: Materials of the international scientific-practical conference*. Rostov-on-Don. 2015, pp. 375–378. (In Russian).



- чества в строительстве: *Материалы международной научно-практической конференции*. Ростов н/Д, 2015. С. 375–378.
11. Roy S., Ghosh S., Bhowmick N. Study the effect of denier and fiber cut length on zeta potential of nylon and polyester fibers for sustainable // *Journal of Environmental Research and Development*. 2016. Vol. 11. № 2. Pp. 392–397. <http://www.jerad.org/disabstract.php?vID=16100470> (дата обращения 15.09.2017).
 12. Fathiah M.Z., Edyvean R.G. The role of ionic strength and mineral size to zeta-potential for the adhesion of p. putida to mineral surfaces // *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Biotechnology and Bioengineering*. 2015. Vol. 9. No. 7, pp. 805–810.
 13. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. М.: Наука, 1991. 136 с.
 14. Фадеева В.С. Формирование структуры пластичных паст строительных материалов при машинной переработке. М.: Стройиздат, 1972. 222 с.
 15. Plank J., Hirsch C. Impact of zeta-potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption // *Cement and Concrete Research*. 2007. No. 37, pp. 537–542. DOI:10.1016/j.cemconres.2007.01.007.
 16. Yilmaz F. Polymer Science. Croatia, Rijeka: InTech, 2013. 256 p.
 17. Nascimento A.C., Moreira J.V. Influence of zeta potential in physical and mechanical properties of recycled paper // *International journal of innovative research in engineering & management*. 2015. Vol. 2. No. 5, pp. 65–70.
 18. Патент РФ 2316750. *Способ определения пластической прочности пенобетонной смеси* / Моргун В.Н. Заявл. 03.05.2006. Опубл. 10.02.2008. Бюл. № 4.
 19. Кларк Э., Эберхардт К. Микроскопические методы исследования материалов. М.: Техносфера, 2007. 375 с.
 20. Roy S., Ghosh S., Bhowmick N. Study the effect of denier and fiber cut length on zeta potential of nylon and polyester fibers for sustainable. *Journal of Environmental Research and Development*. 2016. No. 2. Vol. 11, pp. 392–397. <http://www.jerad.org/disabstract.php?vID=16100470> (date of access 15.09.2017).
 21. Fathiah M.Z., Edyvean R.G. The role of ionic strength and mineral size to zeta-potential for the adhesion of p. putida to mineral surfaces. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Biotechnology and Bioengineering*. 2015. No. 7. Vol. 9, pp. 805–810.
 22. Smirnov B.M. Физика фрактальных кластеров [Physics of fractal clusters]. Moscow: Nauka. 1991. 136 p.
 23. Fadeeva V.C. Формирование структуры пластичных паст строителных материалов при машинной переработке [Formation of the structure of plastic pastes of building materials during machine processing]. Moscow: Stroyizdat. 1972. 222 p.
 24. Plank J., Hirsch C. Impact of zeta potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption. *Cement and Concrete Research*. 2007. No. 37, pp. 537–542. DOI:10.1016/j.cemconres.2007.01.007.
 25. Yilmaz F. Polymer Science. Croatia, Rijeka: InTech. 2013. 256 p.
 26. Nascimento A.C., Moreira J.V. Influence of zeta potential in physical and mechanical properties of recycled paper. *International journal of innovative research in engineering & management*. 2015. Vol. 2. No. 5, pp. 65–70.
 27. Patent RF 2316750. *Sposob opredeleniya plasticheskoj prochnosti penobetonnoy smesi* [Method for determining the plastic strength of a foam concrete mix]. Morgun V.N.; Declared 03.05.2006. Published 10.02.2008. Bulletin No. 4. (In Russian).
 28. Klark E., Eberhardt K. Mikroskopicheskie metody issledovaniya materialov [Microscopic methods of materials research]. Moscow: Tekhnosfera. 2007. 375 p.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА



Технология гипсовых отделочных материалов и изделий

Федулов А.А., М: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2018. 240 с.

В книге описано производство гипсовых отделочных материалов и изделий от добычи сырья до упаковки готовой продукции. Особое внимание автор уделяет подробному описанию технологических линий и отдельных единиц оборудования, установленных на передовых предприятиях гипсовой промышленности. В книге представлено большое количество иллюстраций всех технологических процессов, которые помогут глубже представить и понять технологические процессы производства того или иного изделия. Описание технологии каждого вида гипсовых изделий основывается на существующих производственных регламентах предприятий России, Германии и Дании, включая шахты, карьеры, которые автор посещал лично.

Книга предназначена студентам, изучающим производство строительных материалов и конструкций в качестве дополнительного материала по технологии современных гипсовых изделий, а также для инженеров-технологов заводов, производящих гипсовую продукцию в качестве справочного материала.



Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий

Балахин Ю.З., Терехов В.А. М.: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2012. 276 с.

В книге описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Описаны сырьевые материалы для производства цементно-песчаных изделий: песок, щебень, вяжущие и химические добавки.

Сформулированы специфические требования к сырьевым материалам, а также рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Чертежи и табличная информация облегчают восприятие материала. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.

**Заказать литературу можно через редакцию,
направив заявку по e-mail: mail@rifsm.ru,
или оформить заказ на сайте www.rifsm.ru**

В.В. ТЮКАВКИНА, канд. техн. наук (tukav_vv@chemy.kolasc.net.ru),
А.Г. КАСИКОВ, канд. хим. наук (kasikov@chemy.kolasc.net.ru), Б.И. ГУРЕВИЧ, канд. техн. наук

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук (184209, Мурманская обл., г. Апатиты, Академгородок, 26а)

Структурообразование цементного камня, модифицированного добавкой нанодисперсного диоксида кремния

Изучено влияние нанодисперсных порошков кремнезема на процессы гидратации и фазовый состав продуктов твердения портландцементного камня. При помощи РФА и ДТА выявлено, что введение в состав цементной композиции нано-SiO₂ оказывает ускоряющее действие на гидратацию силикатов кальция, образование гидросиликатов кальция и способствует уменьшению содержания портландита. Структура мелкозернистого бетона, модифицированного нанодисперсным диоксидом кремния, представлена в основном низкоосновными гидросиликатами кальция и отличается присутствием в микропорах кристаллов пластинчатой и игольчатой формы. Применение нанодисперсных кремнеземсодержащих порошков, полученных из шлака, позволяет получать высокопрочные быстротвердеющие композиции. В результате проведенных исследований выявлено, что нанодисперсный кремнезем, являющийся продуктом переработки шлаков медно-никелевого производства, способствует ускорению гидратации силикатов кальция, образованию низкоосновных гидросиликатов кальция и уменьшению содержания портландита. Наличие в цементной композиции нанодисперсной кремнеземсодержащей добавки обеспечивает формирование более плотной микроструктуры цементного камня, улучшая при этом прочностные показатели модифицированного цементного бетона.

Ключевые слова: нанодисперсный диоксид кремния, гидратация, структурообразование, цементный камень, продукты твердения.

Для цитирования: Тюкавкина В.В., Касиков А.Г., Гуревич Б.И. Структурообразование цементного камня, модифицированного добавкой нанодисперсного диоксида кремния // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 31–35. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-31-35>

V.V. TYUKAVKINA, Candidate of Sciences (Engineering) (tukav_vv@chemy.kolasc.net.ru),
A.G. KASIKOV, Candidate of Sciences (Chemistry) (kasikov@chemy.kolasc.net.ru), B.I. GUREVICH, Candidate of Sciences (Engineering)
Tananaev Institute of Chemistry and Technology of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»
(26a, «Academic Town», Apatity, 184209, Murmansk region, Russian Federation)

Structure Formation of Cement Stone Modified with Additive of Nano-Disperse Silicon Dioxide

The influence of nano-disperse silica powders on hydration processes and phase composition of Portland cement stone hardening products was studied. With the help of XRD and DTA it is revealed that the introduction of nano-SiO₂ into the cement composition has an accelerating effect on the hydration of calcium silicates, the formation of calcium hydrosilicates and helps to reduce the content of portlandite. The structure of fine concrete modified with nano-disperse silicon dioxide is mainly represented by low-basic calcium hydrosilicates and is characterized by the presence of plate and needle-shaped crystals in micro-pores. The use of nano-disperse silica-containing powders obtained from slag makes it possible to obtain high-strength fast-hardening compositions. As a result of the conducted studies it is revealed that nano-disperse silica, which is a product of processing of copper-nickel slag, helps to accelerate the hydration of calcium silicates, the formation of low-basic calcium hydrosilicates and reduce the content of portlandite. The presence of a nano-disperse silica-containing additive in the cement composition provides the formation of a denser microstructure of cement stone, while improving the strength characteristics of the modified cement concrete.

Keywords: nano-disperse silicon dioxide, hydration, structure formation, cement stone, products of hardening.

For citation: Tyukavkina V.V., Kasikov A.G., Gurevich B.I. Structure formation of cement stone modified with additive of nano-disperse silicon dioxide. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 31–35. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-31-35> (In Russian).

Одним из эффективных способов получения бетонов с повышенными конструкционными и технико-эксплуатационными характеристиками является модификация структуры путем введения нанодисперсных добавок. Большинство работ, направленных на улучшение строительно-технических свойств бетона, связано с использованием нано-SiO₂ [1–13]. Наночастицы с удельной поверхностью от 50 до 1000 м²/г и размером пор в интервале 2–50 нм характеризуются высокой химической активностью. Благодаря высокой удельной поверхности и реакционной активности они способствуют ускорению реакции гидратации силикатов кальция и образованию гидратов CSH, при этом повышая плотность бетона и тем самым уменьшая его пористость [1, 2, 7, 9, 11–13]. Однако получение бетона с заданными параметрами осложняется тем, что используемые добавки имеют различную химическую природу, морфологию, отличаются размерами наночастиц и пор. Нано-SiO₂ оказывает неоднозначное влияние на характеристики прочности и долговечно-

сти [3, 5, 8, 13]. Для эффективного, целенаправленного управления процессом структурообразования необходимо изучить процессы, происходящие при твердении цементного камня, и установить роль добавок в формировании структуры бетона.

В работе представлены результаты исследования влияния нанокремнезема, полученного при выщелачивании отвального шлака медно-никелевого производства, на процессы твердения и фазовый состав продуктов гидратации портландцементного камня.

Кремнеземсодержащие добавки, взятые для исследования, были получены в лабораторных условиях при выщелачивании растворами соляной и серной кислот отвальных магнезиально-железистых шлаков комбината «Печенганикель» АО «Кольская ГМК» [14]. Они имели достаточно высокую удельную поверхность ($S_{уд}$): после выщелачивания шлака раствором H₂SO₄ (проба № 1) – 502 м²/г; после выщелачивания раствором HCl (проба № 2) – 276 м²/г. Диаметр пор по адсорбции

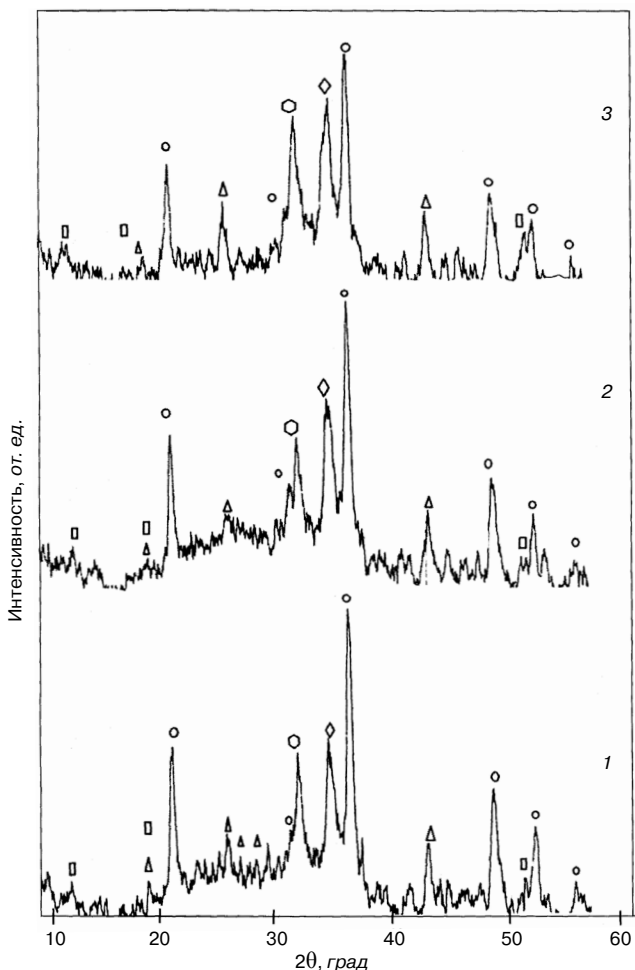


Рис. 1. Рентгенограммы образцов, твердеющих 28 сут в нормальных условиях и содержащих: 1 – 0%; 2 – 1%; 3 – 5% SiO₂ после соляно-кислотного выщелачивания шлака кривые; □ – тоберморитовый гель, Δ – этtringит; ○ – портландит; ◇ – белит; ◻ – алит

составлял 3,15 нм (проба № 1), 12,3 нм (проба № 2); объем пор – 0,28 см³/г и 0,72 см³/г; размер частиц (расчетный по S_{уд}) 5,3 нм и 9,7 нм соответственно. Объем пор и S_{уд} определяли методом тепловой десорбции азота на установке FlowSorb II 2300 (Micromeritics). Кремнеземсодержащие порошки имели аморфную структуру, концентрация SiO₂ в пробе № 1 составляла 78,8 мас. %, в пробе № 2 – 78,3 мас. %, остальное вода.

В экспериментальных исследованиях в качестве вяжущего использовался портландцемент СЕМ II/A-V 42,5R, произведенный в Норвегии; заполнителем служил природный кварцевый песок с модулем крупности 2,54.

Для изучения процессов структурообразования цементного камня, модифицированного нанодисперсным кремнеземом, формовали образцы-кубики с гранью 20 мм, которые твердели в нормальных условиях (температура 20±2°C, влажность 90–95%), и образцы-балочки размерами 40×40×160 мм, которые хранились в воде. Образцы-кубики готовили из цементного теста нормальной густоты, образцы-балочки – из цементного раствора при соотношении цемента и песка 1:3. Концентрация SiO₂ в составе цементной композиции изменялась 0,08–5 мас. %. Для равномерного распределения кремнеземсодержащей добавки в объеме цементной матрицы порошки диоксида кремния предварительно диспергировали в водной среде при помощи ультразвукового диспергатора УЗД 2-0,1/22, генерирующего ультразвуковое поле с частотой 22 кГц и мощностью 0,2 Квт. Время диспергирования составляло

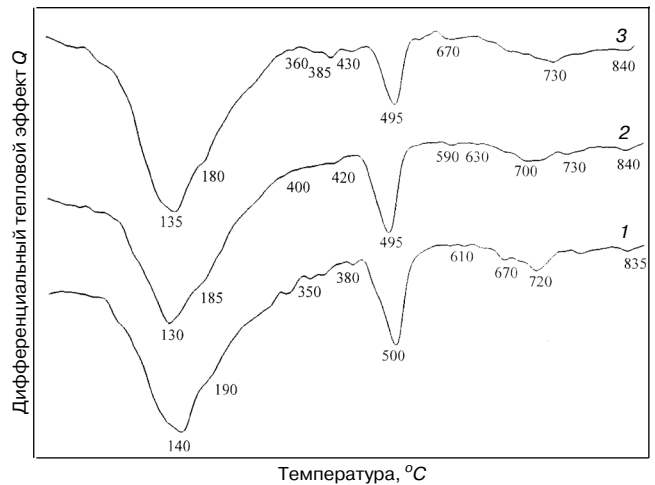


Рис. 2. Термограммы цементного камня, твердевшего 28 сут: 1 – контрольный; 2 – 1%; 3 – 5 мас. % SiO₂ (проба № 2)

10 мин. Полученную после ультразвукового диспергирования (УЗД) суспензию и необходимое количество воды добавляли в цемент либо цементно-песчаную смесь. Перемешивание смеси осуществлялось в лабораторном автоматическом смесителе. При введении в состав цементной смеси нанодисперсного порошка диоксида кремния повышается водопотребность. Для поддержания заданной удобоукладываемости в цементную композицию, содержащую 3 мас. % и более кремнеземсодержащей добавки, вводили пластифицирующую добавку (СП) на основе поликарбонатного эфира Glenium ACE 430 в количестве 0,27–0,29% от массы цемента. Для изучения процессов структурообразования и состава продуктов твердения цементного камня, модифицированного добавкой нанодисперсного кремнезема, из центра испытанного образца отбирали часть материала.

Фазовый состав гидратированных материалов анализировали рентгенофазовым (РФА), термографическим (ДТА), электронно-микронным методами. Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре ДРОН-2 (CuK_α – излучение) со скоростью 2 град/мин в диапазоне 2θ=6–180°. Кривые ДТА, ДТГ и ТГ продуктов твердения получали на дериватографе Ф. Паулик, И. Паулик, Л. Эрлеи (ОД 102-568/с). Структуру мелкозернистого бетона исследовали при помощи сканирующего электронного микроскопа LEO 420 фирмы «ZEISS» (Германия), оснащенного энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 400 фирмы «OXFORD Instrument» (Великобритания).

Исследования процессов, происходящих при твердении цементного камня, при помощи рентгенофазового анализа показали, что при введении кремнеземсодержащей добавки ускоряется гидратация клинкерных минералов, что способствует образованию гидросиликатов кальция (CSH); это в первую очередь связано с взаимодействием более активного нанокремнезема с портландцементом. На дифраграммах цементного камня, модифицированного нанокремнеземом, наблюдается увеличение рефлексов, соответствующих CSH, снижение интенсивности отражения портландита Ca(OH)₂ и уменьшение рефлексов клинкерных минералов (рис. 1).

Выполненный дифференциально-термический анализ согласуется с результатами РФА. Для всех образцов, по данным ДТА, в интервале до 100°C происходит удаление химически несвязанной воды; ярко выраженный эндотермический эффект в интервале 110–140°C свидетельствует о частичной дегидратации фазы CSH и этtringита (рис. 2). В составах, содержащих нанокремнезем, при 495–500°C наблюдается уменьшение эндотермического

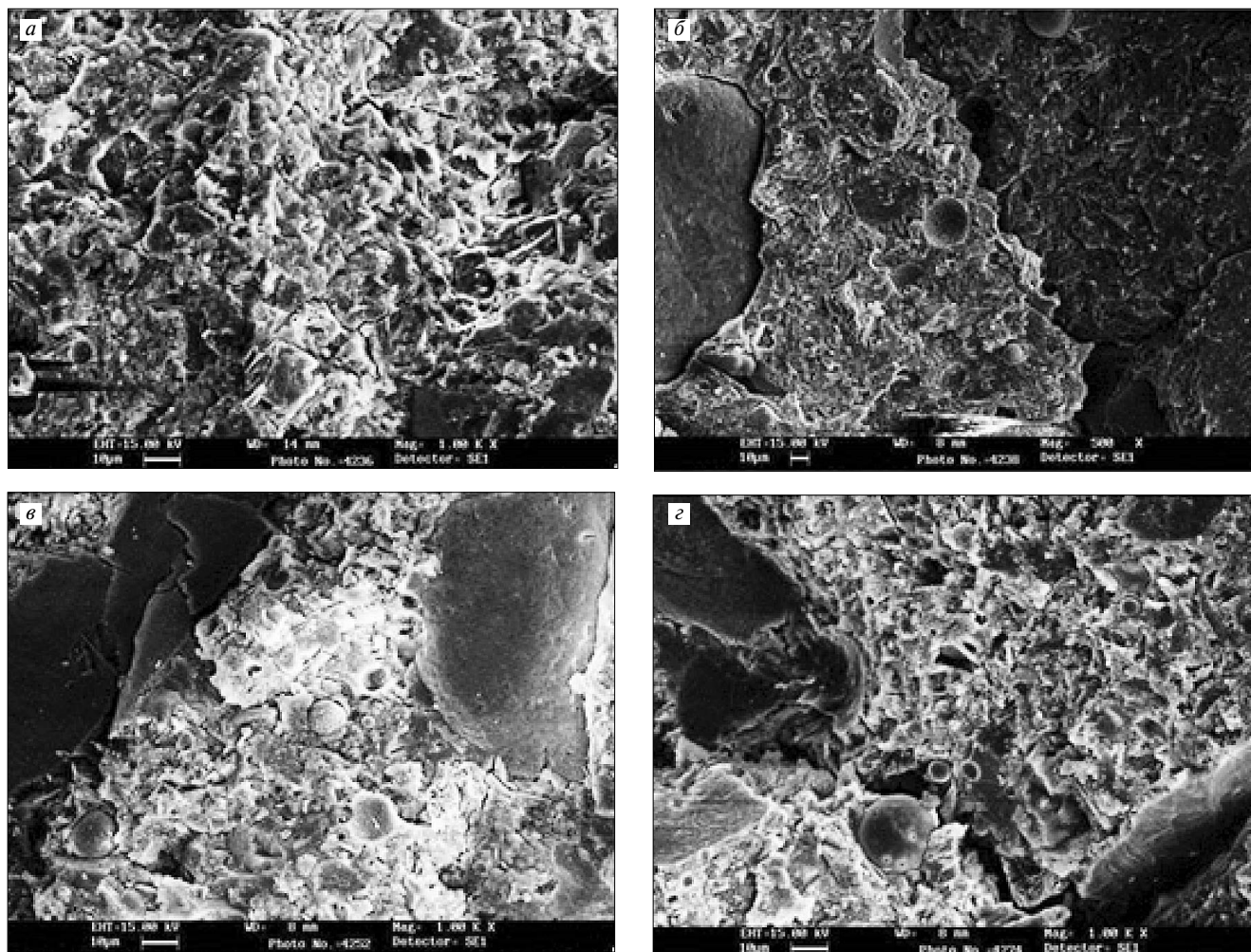


Рис. 3. Микроструктура МЗБ через 28 сут твердения: а, б – без добавки; в, г – содержащего 0,08, 5 мас. % SiO_2 (проба № 1) соответственно

Таблица 1

Термографические исследования цементного камня, модифицированного добавкой нанодисперсного кремнезема

Вид добавки	Количество добавки, мас. %		Общая потеря массы при прокаливании Δm , %	Потеря массы гигроскопичной воды $\Delta m_{\text{H}_2\text{O}}$, мас. %	Потеря массы при разложении портландита $\Delta m_{\text{Ca(OH)}_2}$, мас. %	Эндоэффекты при температуре, °С	Прочность при сжатии, МПа
	SiO_2	СП					
–	–	–	20,15	2,03	5,73	140; 500	81,9
Проба № 1	0,08	–	21,35	3,1	1,86	140; 500	100,6
	0,75	–	21,75	3,51	1,75	130; 495	108,5
	3	0,27	23,69	4,67	1,25	130; 490	106,1
	5	0,54	23,72	5,65	0,84	145; 495	101,9
Проба № 2	3	0,27	23,5	4,28	1,87	145; 495	101,5
	5	0,29	24,3	5,24	1,57	160; 495	107,7

эффекта, соответствующего разложению портландита. Присутствие эндотермических эффектов в интервале температуры 700–900°С указывает на образование гидратных фаз силикатов кальция разной основности [15].

Потери массы цементного камня, связанные с дегидратацией портландита, гидросиликатов кальция и гидроалюминатов, определенные по кривым ТГ ДТА для образцов состава 1:0 (срок твердения 28 сут), и состава 1:3 (срок твердения 28 сут) приведены в табл. 1, 2.

Сравнительный анализ показал, что с увеличением количества добавки диоксида кремния в составе композиции растут общие потери массы и потери кристаллизационной воды, что свидетельствует об образовании дополнительного количества этtringита и гидратов силика-

тов кальция (табл. 1, 2). Также с повышением количества добавки нанокремнезема в составе цементного камня наблюдается уменьшение потерь массы, относящихся к разложению портландита. Так, потери массы, обусловленные дегидратацией Ca(OH)_2 , при содержании добавки SiO_2 1–5 мас. % составили 1,86–0,84 мас. %, в то время как в контрольном составе – 5,73 мас. % (табл. 1). Поскольку портландит характеризуется меньшей прочностью по сравнению с гидросиликатами кальция, это способствует повышению прочности цементного камня (табл. 2).

Исследование структуры мелкозернистого бетона (МЗБ), модифицированного кремнеземом содержащей добавкой совместно с СП, при помощи электронно-микронного анализа показало, что отношение CaO/SiO_2

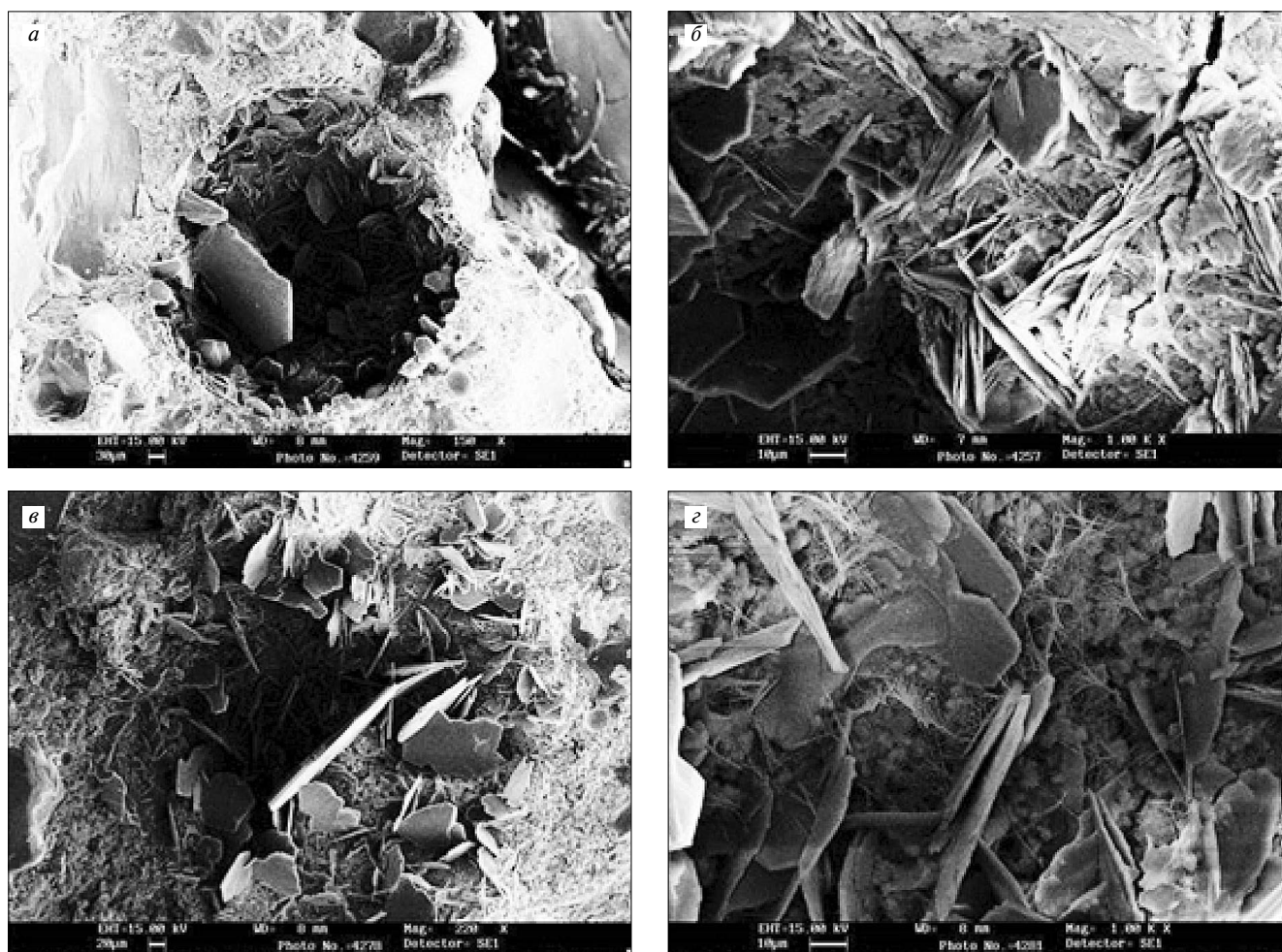


Рис. 4. Микроструктура мелкозернистого бетона, модифицированного нанодисперсным кремнеземом: а, б – 0,08 мас. % SiO₂; в, г – 5 мас. % SiO₂; а, в – фрагмент структуры с микропорой; б, г – кристаллы пластинчатой и игольчатой формы

Таблица 2

Термографические исследования и прочность при сжатии мелкозернистого бетона

Количество добавки, мас. %		Потери массы по данным ДТА			Эндоэффекты при температуре, °С	R _{сж} , МПа
SiO ₂ (проба № 1)	СП	Δm _{общая} , %	Δm _{H₂O} , %	Δm _{Ca(OH)₂} , %		
–	–	8,4	1,8	0,6	150; 470	44
–	0,67	8,4	2,11	0,6	120; 470	46,3
1	–	8,5	2,54	0,51	120; 470	62,5
3	0,67	8,7	3,06	0,5	120; 470	59,6

в новообразованиях изменяется от 0,8 до 1,54, что характерно для низкоосновных гидратов силикатов кальция (CSH (I)). В образцах, содержащих только нанокремнезем, отношение CaO/SiO₂ составляет 1,63–1,96, а в контрольном составе изменяется от 1,7 до 5,1, что подтверждает образование преимущественно высокоосновных гидратных фаз силикатов кальция. Образование дополнительного количества фазы CSH (I) способствует улучшению прочностных показателей мелкозернистого бетона. Прочность МЗБ при содержании добавки кремнезема 1–3 мас. % увеличивается на 35–42% по сравнению с контрольным составом (табл. 2). Снижение CaO/SiO₂ способствует формированию более компактной и плотной микроструктуры новообразований.

Структура мелкозернистого бетона контрольного состава после 28 сут твердения неоднородная, представлена в основном аморфной фазой и мелкими кристаллами портландита (рис. 3, а), в контактной зоне прослеживается зазор между заполнителем и цементным камнем (рис. 3, б). Наличие в цементной композиции наноди-

сперсной кремнеземсодержащей добавки обеспечивает формирование более плотной микроструктуры цементного камня, при этом отсутствует граница зоны контакта между вяжущим и заполнителем (рис. 3, в, г). В микропорах МЗБ, модифицированного нано-SiO₂, наблюдается присутствие кристаллов пластинчатой и игольчатой формы (рис. 4), которые армируют цементный камень, тем самым повышая плотность бетона, что способствует повышению прочностных свойств материала.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено, что нанодисперсный кремнезем, являющийся продуктом переработки шлаков медно-никелевого производства, способствует ускорению гидратации силикатов кальция, образованию низкоосновных гидросиликатов кальция и уменьшению содержания портландита. Наличие в цементной композиции нанодисперсной кремнеземсодержащей добавки обеспечивает формирование более плотной микроструктуры цементного камня, улучшая при этом прочностные показатели модифицированного цементного бетона.

Список литературы

1. Артамонова О.В. Синтез наномодифицирующих добавок для технологии строительных композитов. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2016. 100 с.
2. Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Демьяненко О.В. Применение нанодispersного кремнезема в производстве строительных смесей // *Вестник ТГАСУ*. 2016. № 5. С. 140–150.
3. Khaloo Alireza, Mobini Mohammad Hossein, Hosseini Payam. Influence of different types of nano-SiO₂ particles on properties of high-performance concrete // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 113, pp. 188–201. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.041>
4. Chithra S., Senthil Kumar S. R. R., Chinnaraju K. The effect of Colloidal Nano-silica on workability, mechanical and durability properties of High Performance Concrete with Copper slag as partial fine aggregate // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 113, pp. 794–804. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.119>
5. Haruehansapong Sattawat, Pulngern Tawich, Chucheeprajakul Somchai. Effect of the particle size of nanosilica on the compressive strength and the optimum replacement content of cement mortar containing nano-SiO₂ // *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 50, pp. 471–477. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.002>
6. Nili M., Ehsani A. Investigating the effect of the cement paste and transition zone on strength development of concrete containing nanosilica and silica fume // *Materials and Design*. 2015. Vol. 75, pp. 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.03.024>
7. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Бардаханов С.П. Модифицированный бетон с нанодispersными добавками // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 52–55.
8. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Мороз М.Н. и др. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 88–91.
9. Потапов В.В., Грушевская Е.Н., Леонович С.Н. Модифицирование гидротермальным нанокремнеземом материалов на основе цемента // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 4–9.
10. Янкович К., Станкович С.И., Стоянович М., Бойович Д., Антич Л. Влияние нанокремнезема и типа заполнителя на свойства высокопрочного бетона // *Цемент и его применение*. 2017. № 4. С. 118–120.
11. Durgun Muhammed Yasin, Atahan Hakan Nuri. Rheological and fresh properties of reduced fine content self-compacting concretes produced with different particle sizes of nano SiO₂ // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 142, pp. 431–443. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.098>
12. Космачев П.В., Демьяненко О.В., Власов В.А., Копаница Н.О., Скрипникова Н.К. Композиционные материалы на основе цемента с нанодispersным диоксидом кремния // *Вестник ТГАСУ*. 2017. № 4. С. 139–146.
13. Тюкавкина В.В., Касиков А.Г., Гуревич Б.И. Влияние способа введения мезопористого кремнезема в цементный раствор // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2017. № 38 (64). С. 60–63.
14. Тюкавкина В.В., Касиков А.Г., Гуревич Б.И., Майорова Е.А. Получение аморфного кремнезема из шлаков цветной металлургии и его использование для магнезиальных вяжущих // *Химическая технология*. 2014. № 3. С. 167–172.
15. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.

References

1. Artamonova O.V. Sintez nanomodifitsiruyushchikh dobavok dlya tekhnologii stroitel'nykh kompozitov. [Synthesis of nanomodifying additives for building composites technology]. Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2016. 100 p.
2. Kopanica N.O., Sarkisov Y.S., Demyanenko O.V. Application of nanodispersed silica in the production of building mixtures. *Vestnik TGASU*. 2016. No. 5, pp. 140–150. (In Russian).
3. Khaloo Alireza, Mobini Mohammad Hossein, Hosseini Payam. Influence of different types of nano-SiO₂ particles on properties of high-performance concrete. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 113, pp. 188–201. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.041>
4. Chithra S., Senthil Kumar S. R. R., Chinnaraju K. The effect of Colloidal Nano-silica on workability, mechanical and durability properties of High Performance Concrete with Copper slag as partial fine aggregate. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 113, pp. 794–804. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.119>
5. Haruehansapong Sattawat, Pulngern Tawich, Chucheeprajakul Somchai. Effect of the particle size of nanosilica on the compressive strength and the optimum replacement content of cement mortar containing nano-SiO₂. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 50, pp. 471–477. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.002>
6. Nili M., Ehsani A. Investigating the effect of the cement paste and transition zone on strength development of concrete containing nanosilica and silica fume // *Materials and Design*. 2015. Vol. 75, pp. 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.03.024>
7. Urhanova L.A., Lhasaranov S.A., Bardahanov S.P. Modified concrete with nano-disperse additives. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 8, pp. 52–55. (In Russian).
8. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Moroz M.N., Troyanov I.Yu., Volodin V.M., Suzdal'tsev O.V. Nanohydrosilicate technologies in concrete production. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 88–91. (In Russian).
9. Potapov V.V., Grushevskaya E.N., Leonovich S.N. Modification of materials on the basis of cement with hydrothermal nano-silica. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 4–9. (In Russian).
10. Yankovich K., Stankovich S.J., Stoyanovich M., Bojovich D., Antich L. Effect of nanosilica and filler type on the properties of high-strength concrete. *Cement i ego primenenie*. 2017. No. 4, pp. 118–120. (In Russian).
11. Durgun Muhammed Yasin, Atahan Hakan Nuri. Rheological and fresh properties of reduced fine content self-compacting concretes produced with different particle sizes of nano SiO₂ // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 142, pp. 431–443. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.098>
12. Kosmachev P.V., Demyanenko O.V. Vlasov V.A. Kopanica N.O. Skripnikova N.K. Composite materials on the basis of cement with nanodispersed silica. *Vestnik TGASU*. 2017. No. 4, pp. 139–146. (In Russian).
13. Tyukavkina V.V., Kasikov A.G., Gurevich B.I. Influence of the method of introducing mesoporous silica in cement mortar. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)*. 2017. No. 38 (64), pp. 60–63. (In Russian).
14. Tyukavkina V.V., Kasikov A.G., Gurevich B.I. Mayorova E.A. The preparation of amorphous silica from non-ferrous metallurgy slags and its use for magnesium astringents. *Khimicheskaya tekhnologiya*. 2014. No. 3, pp. 167–172. (In Russian).
15. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savelev V.G. Metody fiziko-khimicheskogo analiza vyazhushchikh veshchestv [Methods of physico-chemical analysis of binders]. Moscow: Vysshaya shkola. 1981. 335 p.

АХМЕД Аль ГАБАН¹, доктор, старший преподаватель (a.ghabban@gmail.com),
АСЕЕЛЬ Б. Аль ЗУБАИДИ¹, доктор, старший преподаватель (dr.material@yahoo.com);
ЗАХРАА ФАХРИ ДЖАВАД², преподаватель (лектор) (zahraafakhry500@gmail.com)

¹ Кафедра материаловедения, технологический Университет (Багдад, Ирак)

² Технический колледж Аль Муссаиб, Университет Аль Фурат Аль Авсат (Бабиль, Ирак)

Переработка отходов кремнегеля и известняка в иракский экологически безопасный («зеленый») бетон и сравнение с микро- и нанокремнеземом

Работа связана с использованием материалов для «зеленого» (экологически безопасного) бетона. Она представляет целесообразность использования побочных материалов типа порошков кремнегеля и известняка в качестве частичной замены цемента. Порошки вводились в четырех концентрациях: 1, 2, 3 и 4 мас. % цементирующего материала в бетонную смесь. Экспериментальные исследования модифицированного бетона были проведены через 28 сут выдерживания бетона во влажных условиях (водное твердение бетона) для определения механических свойств, таких как прочность при сжатии, прочность при изгибе и прочность на растяжение при разрыве. Также было проведено тестирование на водопоглощение для получения свойств стойкости бетонных образцов. Бинарное сочетание кремнегеля и известняка также рассматривалось для изучения комбинированного действия переработанных порошков. Эффект добавок был очевиден в улучшении механических свойств и прочности бетона. Также было проведено сравнение пуццолановой активности среди нанокремнезема, микрокремнезема и кремнегеля, при этом смеси с отходами кремнегеля показали сопоставимый показатель прочности.

Ключевые слова: «зеленый» (экологически безопасный) бетон, переработка материала, известняк в бетоне, прочность бетона.

Для цитирования: Ахмед Аль Габан, Асеель Б. Аль Зубаиди, Захраа Фахри Джавад. Переработка отходов кремнегеля и известняка в иракский экологически безопасный («зеленый») бетон и сравнение с микро- и нанокремнеземом // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 36–42. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-36-42>

AHMED AL GHABAN¹, Dr., Assist Professor (a.ghabban@gmail.com), ASEEL B. AL ZUBAIDI¹, Dr., Assist Professor (dr.material@yahoo.com);
ZAHRAA FAKHRI JAWAD², Lecturer (zahraafakhry500@gmail.com)

¹ Material Engineering Department, University of technology (Baghdad, Iraq)

² Al Mussaib Technical College, Al Furat Al Awsat University (Babil, Iraq)

Recycling of Waste Silica Gel And Limestone in Iraqi Green Concrete and Comparisons with Micro and Nanosilica

The paper covers the aspect on using material for green concrete. It presents the feasibility of the usage of by product materials like silica gel and limestone powder as partial replacement of cement. powders were added in four different dosages of 1, 2, 3 and 4% of weight of the cementitious material into the concrete mixture. Experimental investigations on modified concrete were conducted after 28 days of water curing to obtain the mechanical properties such as compressive strength, flexural strength and split tensile strength of specimen. Also, water absorption test was investigated for obtaining the durability properties of concrete specimen. Binary combination of silica gel and limestone also considered to study the combined effect of the recycled powders. The effect of additives was obvious by enhancement the mechanical properties and durability of concrete. Also pozzolanic activity comparison was made among nanosilica, micro silica and silica gel in which the mixes with waste silica gel showed comparable strength index.

Keywords: green concrete, recycling material, limestone in concrete, durability of concrete, nanotechnology, nanosilica, micro silica.

For citation: Ahmed Al Ghaban, Aseel B. Al Zubaidi, Zahraa Fakhri Jawad. Recycling of waste silica gel and limestone in Iraqi green concrete and comparisons with micro and nanosilica. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 36–42. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-36-42> (In Russian).

Concrete is one of the most widely used man-made building materials in the world. Compared to other building material concrete has numerous advantages such as abundant resources, easy operation, steady mechanical properties, durability, of production. The aim of green concrete is to meet three requirements i. e. very low energy and resource consumption, no environmental pollution and sustainable development [1]. It has been observed that 0.9 tons of CO₂ is produced per ton of cement production. Also, the composition of cement is 10% by weight in a cubic yard of concrete. Thus, by the use of green concrete it is possible to reduce the CO₂ emission in atmosphere towards eco-friendly construction technique [2].

The paper covers the aspect on how to choose a material for green concrete. It presents the feasibility of the usage of by product materials like limestone and silica gel as replacement of cement in concrete.

Qing Ye et al. have been studied the pozzolanic activity of nano silica and micro silica with content 3% of the weight of cement. Results indicate that the bond strength at the interface between aggregate and hardened cement paste, the compressive strength and the bonding strength of concrete

incorporated with 3% nanosilica increased more than those with silica fume. The pozzolanic activity of nanosilica was much greater than that of microsilica [3]. Camiletti J. et al. [4] shown that CaCO₃ accelerates the hydration process by acting as a nucleation site on which cement hydration product form. This micro-physical influence leads to higher improvement rate of mechanical properties, the gain in strength can be due to the formation of calcium silicate hydrate CSH gel which is stronger than the normal calcium hydrate CH gel. Bentz Dale P. et al. [5] examined the performance of limestone in cement-based materials at multiple scales and found that physical and chemical interaction of limestone with the cement hydrates also likely contributes to the superior mechanical properties of concretes containing limestone aggregates in comparison to similar ones based on siliceous aggregates. Yusuf M.O. et al. [6] studied the performance of infused nano-SiO₂ gel (NSG) on the developed alkaline activated binary blending of ground blast furnace slag and ultrafine palm oil fuel ash based mortar. The finding revealed that the compressive strength of the mortar increased with NSG and the maximum strength achieved was 57.3 MPa

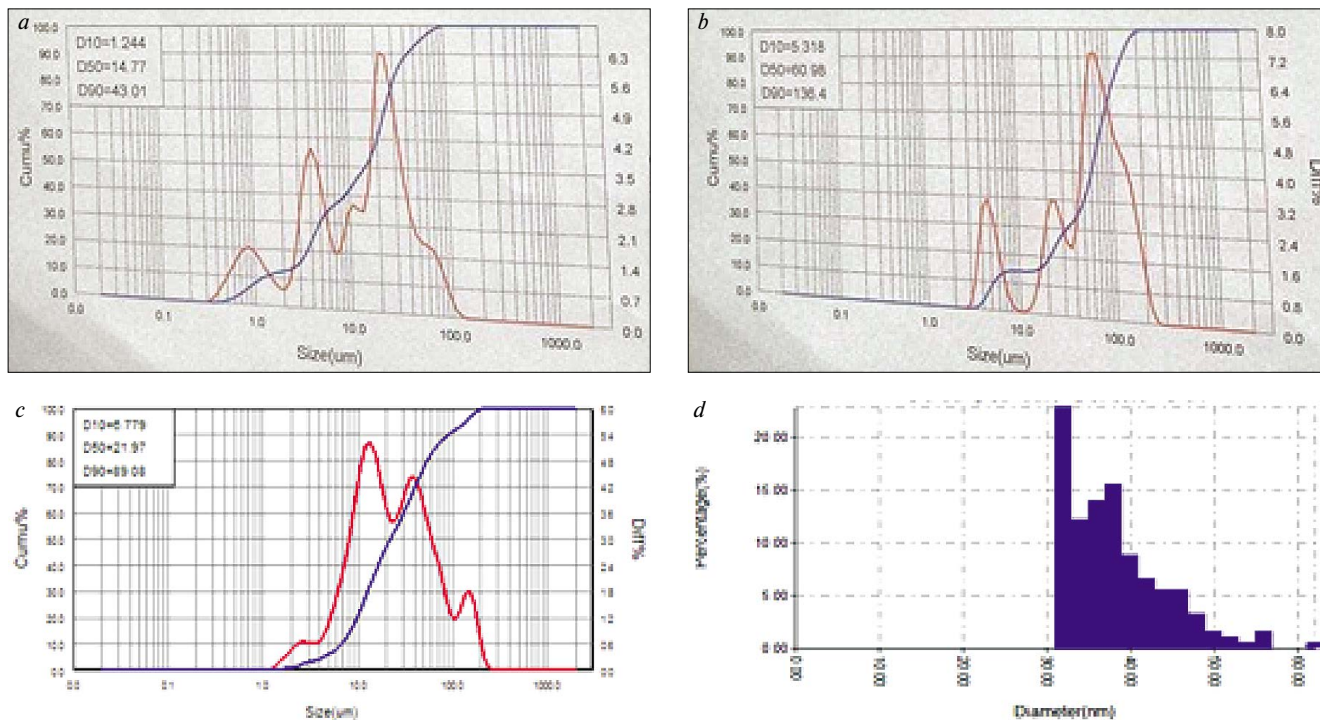


Рис. 1. Распределение частиц: а – микроизвестняка; б – кремнегеля; с – микрокремнезема; д – распределение по размерам частиц нанокремнезема
 Fig. 1. Particle size analysis: a – of micro limestone; b – of silica gel; c – of micro silica; d – AFM analysis of nano silica

signifying 21% strength gain compared to NSG-free sample. The NSG also played the role of micro cracks and pore fillings, increased the product homogeneity and reduced its amorphousity due to silicate re-organization.

Исследования / Experimental

Commercially available ordinary Portland cement Type I, named Karasta, is used in this study. Chemical and physical properties of cement, which are indicated that the cement is conformed to Iraqi specifications (I.Q.S.) No. 5/1984 [7], are shown in Table 1 and Table 2 respectively. Natural sand (from Al-Akhedher in Karbala) was used. Table 3 shows the grading of the fine aggregate and sulfate content according to the limits of the Iraqi Specification

No. 45/1984 [8]. To obtained (HSC) crushed gravel used throughout this work of maximum size 14 mm. Table 4 shows the grading of the fine aggregate and sulfate content according to the limits of the Iraqi Specification No. 45/1984 [8].

Physical and chemical properties using materials are shown in Table 5. Silica gel (waste material used as desiccator for saving goods purchased from Fluka Company is used as admixture. Limestone powder from debris of building). Micro silica is used as pozzolanic admixture.

Nano silica is used as concrete admixture in this research Table 5 which includes as received properties of nano silica. Fig. 1 gives the particles analysis for both silica gel and limestone powders, Fig. 2 shows the XRD spectra. Superplasticizer Glenium 54 (G54) high range water reducing admixture, purchased form BASF Company, is used as workability adjusting material for concrete mixtures. Water Tap water is used for mixing and curing of all concrete mixes and specimens.

Таблица 1
Table 1

**Химический состав цемента
Chemical analysis of the cement test**

Oxide / Оксиды	%
CaO	66.11
SiO ₂	21.93
Al ₂ O ₃	4.98
Fe ₂ O ₃	3.10
MgO	2.0
K ₂ O	0.75
Na ₂ O	0.35
SO ₃	2.25
Loss On Ignition (L.O.I)	2.39
Lime Saturation Factor (L.S.F)	0.93
Insoluble residue (I.R)	1.29
Free lime (F.L)	0.67
Compound Composition / Минералогический состав	%
C ₃ S	50
C ₂ S	20.48
C ₃ A	4
C ₄ AF	13.17

Технологический процесс / Procedure

Mix proportion. Mortar mixes details for nano silica (NS), micro silica (MS), silica gel (SG) and silica gel crushed (SGC) pozzolanic activity investigation, are shown in Table 6. The proportion of admixture is 10%, as replacement of cement weight was depended for this test as in ASTM C 1240 [9] for testing pozzolanic activity index of silica fume. In absorption specimen's mixes, preparation the target design

Таблица 2
Table 2

**Физические свойства цемента
Physical Properties of Cement**

Physical Properties / Физические свойства	Test Results / Значение
Fineness, Blaine, cm ² /gm	3300
Setting Time:	
Initial hrs.; min	2;05
Final hrs.; min	4;00
Compressive Strength, MPa	
3-days	20
7-days	25

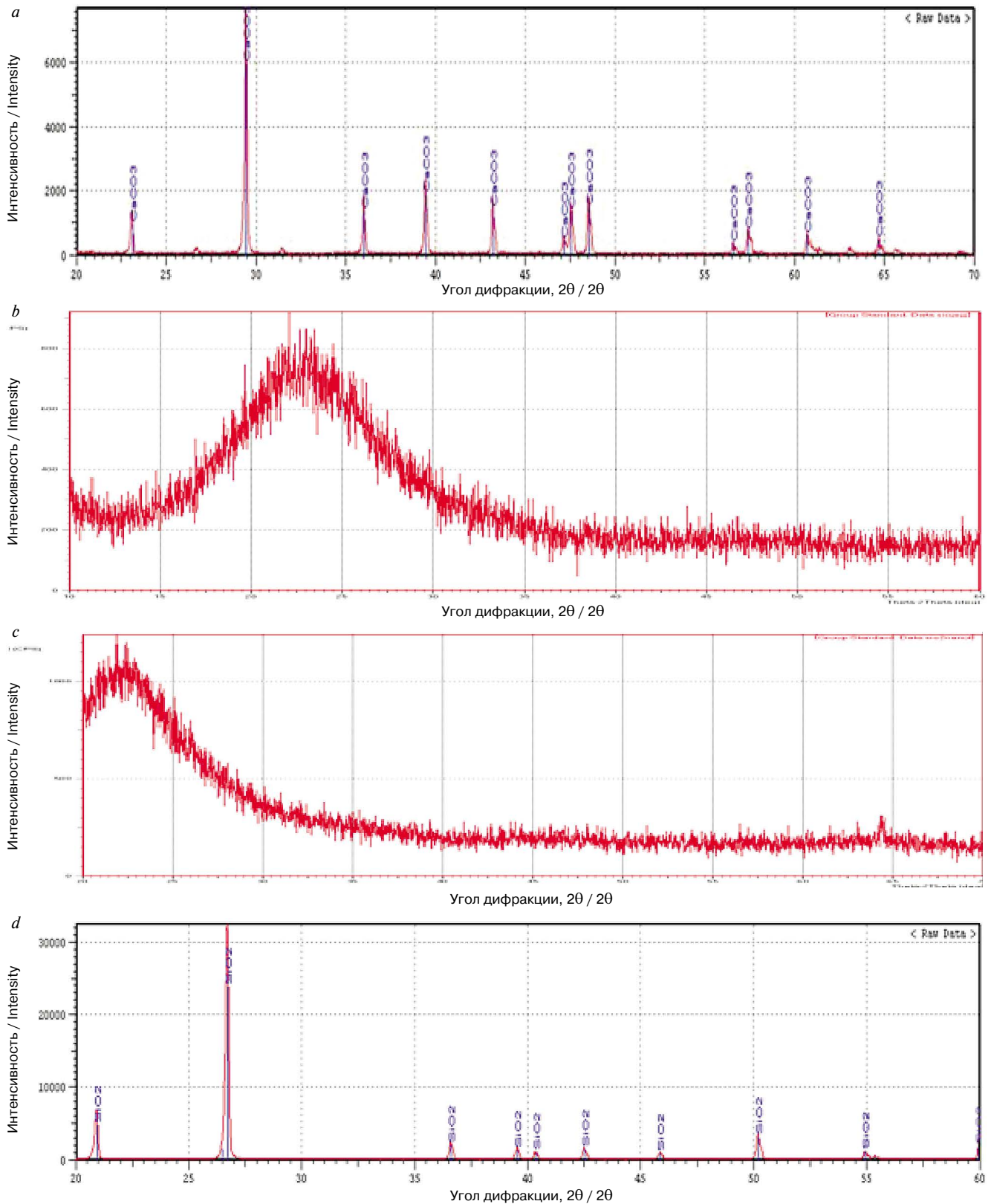


Рис. 2. Дифрактограммы: *a* – порошка известняка; *b* – порошка кремнегеля; *c* – порошка микрокремнезема; *d* – нанокремнезема
 Fig. 2. XRD spectra of: *a* – limestone powder; *b* – crushed silica gel powder; *c* – nano silica powder; *d* – micro silica

strength of 50, 70 MPa were designed according to British mix design method BS5328. Part 2:1991 [10], seventeen types of concrete mixes is implemented in this study. The fixed parameters for all mixes are: water/cementitious, coarse and fine aggregate fractions, and superplasticizer contents. Mixes details and symbols can be seen in Table 7.

Испытания / Tests

Compressive strength test. This test is carried out according to BS 1881-Part 116 [11]. The studied age is 28 days. Three cubes are made for each mix at the specified age.

Split tensile strength test. This test is carried out according to ASTM C 496/C 496M – 04 [12]. The studied age is

Таблица 3
Table 3

Ситовой анализ и содержание сульфатов
в мелком заполнителе
Sieve analysis and sulfate content of fine aggregate

Размер ячейки сита, мм / Sieve opening (mm)	Остаток на сите, %/ Accumulative passing, %
10	100
4.75	94
2.36	85.6
1.18	76.9
0.60	46.3
0.3	10.8
0.15	1.1
0.075	0.5
SO ₃	0.4

Таблица 4
Table 4

Ситовой анализ и содержание сульфатов в гравии
Sieve analysis and sulfate content of gravel

Размер ячейки сита, мм / Sieve opening (mm)	Остаток на сите, %/ Accumulative passing, %
14	97
10	62
5	10
0.075	0.037
SO ₃	0.09

Таблица 5
Table 5

Свойства материалов / Material properties

Свойство / Property	Значение или описание / Value or description
Кремнегель / Silica gel	
Material structure	Transparent beads
Color	Violet
M.Wieght	60.08 g/mol
Particle size	≈2.5–4 mm
Abs. capacity	30% of its weight
Source	Fluka company – Switzerland
Известняк / Limestone	
Material structure	micro CaCO ₃
Color	Light brown
Particle size	100–200 μm
Микрокремнезем / Micro silica	
Material structure	Densified micro silica
Color	Gray
Density	1300 kg/m ³
M. Weight	60.08 g/mol
Particle size	≈40 μm
Нанокремнезем / Nano silica	
Material structure	Hydrophilic Water-soluble SiO ₂
Color	White
Density	1300 kg/m ³
Purity	99.8%
Particle size**	30–60 nm
Source	Hwnanomaterial china

Таблица 6
Table 6

Соотношение ингредиентов в бетонной смеси / Mortar mixes proportion for pozzolanic activity index test

Обозначение / Mix symbol	Цемент, г / Cement, g	Песок, г / Sand, g	Нанокремне- зем, г / NS, g	Микрокремне- зем, г / MS, g	Кремнегель, г / SG, g	Кремнегель измельченный, г / SGC, g	В/Ц, % W/B, %	Суперпласти- фикатор G54/ цемент, % / Superplasticizer G54/cement, %	Подвиж- ность, мм / Flow, mm
Control	500	1375				–	0.485	0.5	160
NS	450	1375	50	–	–	–	0.485	0.75	153
MS	450	1375	–	50	–	–	0.485	0.5	155
SG	450	1375	–	–	50	–	0.485	0.6	160
SGC	450	1375	–	–	–	50	0.485	0.7	157

28 days. Three cylinders are made for each mix at the specified age. The splitting tensile strength of the specimen calculated as follows:

$$\sigma_{sp} = 2P/\pi dL, \quad (1)$$

where: σ_{sp} – splitting tensile strength, MPa; P – maximum applied load indicated by the testing machine, N; L – length, mm; d = diameter, mm, [12].

Flexural strength. This test is carried out according to ASTM C293-02 [13]. Duplicate beam specimens were tested and the average results were considered. The flexural strength is then calculated by using equation:

$$\sigma_{fl} = 3PL/2bd^2, \quad (2)$$

where: σ_{fl} – flexural strength, MPa; P – maximum applied load, N; L – span length, mm; d – depth of the specimens, mm; b – width of the specimens, mm [13].

Water absorption test. The water absorption was conducted according to ASTM C642 [14], the water absorption test is carried out using (50×100 mm) cylinder specimens, and the average water absorption of two samples was recorded and considered.

$$\text{Absorption after immersion, \%} = \frac{B-A}{A} \times 100, \quad (3)$$

where: A – mass of oven-/dried sample in air, gm; B – mass of saturated surface-dry sample in air after immersion, gm.

Pozzolanic activity index test. For testing pozzolanic activity index mortar cubes of 50 mm side length are used for

Таблица 7
Table 7

Mixes symbols, content and quantity

Обозначение / Mix symbol	Цемент, кг/м ³ / Cement, kg/m ³	Песок, кг/м ³ / Sand, kg/m ³	Гравий, кг/м ³ / Gravel, kg/m ³	В/Ц, % W/B, %	G54 kg/m ³	L, kg/m ³ (rep. %)	SG, kg/m ³ (rep. %)	SGC, kg/m ³ (rep. %)
Control	515	721	1030	0.32	6.43	-	-	-
1L	509.85	721	1030	0.32	6.43	5.15(1%)		
2L	504.7	721	1030	0.32	6.43	10.3(2%)		
3L	499.55	721	1030	0.32	6.43	15.45(3%)		
4L	494.4	721	1030	0.32	6.43	20.6(4%)		
1SG	509.85	721	1030	0.32	6.43		5.15(1%)	
2SG	504.7	721	1030	0.32	6.43		10.3(2%)	
3SG	499.55	721	1030	0.32	6.43		15.45(3%)	
4SG	494.4	721	1030	0.32	6.43		20.6(4%)	
1SGC	509.85	721	1030	0.32	6.43			5.15(1%)
2SGC	504.7	721	1030	0.32	6.43			10.3(2%)
3SGC	499.55	721	1030	0.32	6.43			15.45(3%)
4SGC	494.4	721	1030	0.32	6.43			20.6(4%)
1(L+SGC)	509.85	721	1030	0.32	6.43	2.575(0.5%)		2.575(0.5%)
2(L+SGC)	504.7	721	1030	0.32	6.43	5.15(1%)		5.15(1%)
3(L+SGC)	499.55	721	1030	0.32	6.43	7.725(1.5%)		7.725(1.5%)
4(L+SGC)	494.4	721	1030	0.32	6.43	10.3(2%)		10.3(2%)

Примечание. SG – бетонные смеси с шариками из кремнегеля; SGC – бетонные смеси с порошками измельченного кремнегеля; L – бетонные смеси с известняком.
Note. SG – concrete mixes with silica gel beads; SGC – concrete mixes with crushed silica gel powder; L – concrete mixes with limestone.

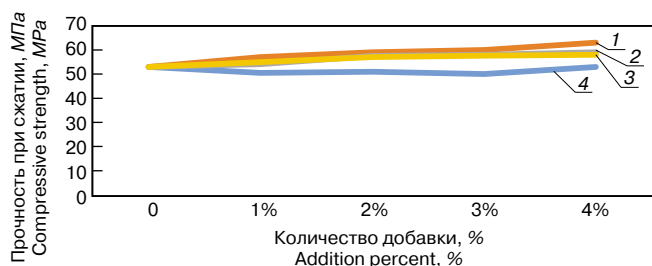


Рис. 3. Результаты испытаний прочности при сжатии: 1 – измельченный кремнегель; 2 – измельченный кремнегель+известняк; 3 – кремнегель шарики; 4 – известняк
Fig. 3. The results of compressive strength: 1 – crushed silica gel; 2 – crushed silica gel+limestone; 3 – silica gel beads; 4 – limestone

this test. One proportions of nano silica, micro silica, silica gel and crushed silica gel 10%, as replacement of cement weight, are depended for this test. The ratio is as used in ASTM C 1240 [9] for testing pozzolanic activity index of silica fume. A Pozzolanic activity index can be determined using the following equation [9]:

$$\text{Strength Activity Index} = A_p / B_p \times 100,$$

where: A_p – average compressive strength of mortar cubes of mixes incorporated admixture; B_p – average compressive strength of mortar cubes of without-adding (control) mixes.

Результаты / Results

Results of Mechanical Properties Tests. All mechanical properties showed the same trend, concrete mixes with crushed silica gel give higher enhancement while mixes with limestone showed the lower effect. In fig. 3 the results of compressive strength test explained that maximum enhancements were 18.8%, 11.3%, 9.4 % and 0% for concrete mixes with crushed silica gel, crushed silica gel+limestone, silica gel beads and limestone respectively. Fig. 4 results of splitting tensile strength maximum enhancement founded are 37.5%, 12.5%, 18.7% and 18.7%

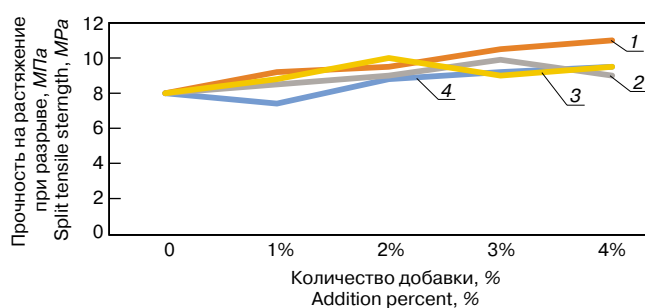


Рис. 4. Результаты испытаний прочности на растяжение при разрыве: 1 – измельченный кремнегель; 2 – измельченный кремнегель+известняк; 3 – кремнегель шарики; 4 – известняк
Fig. 4. The results of splitting tensile strength: 1 – crushed silica gel; 2 – crushed silica gel+limestone; 3 – silica gel beads; 4 – limestone

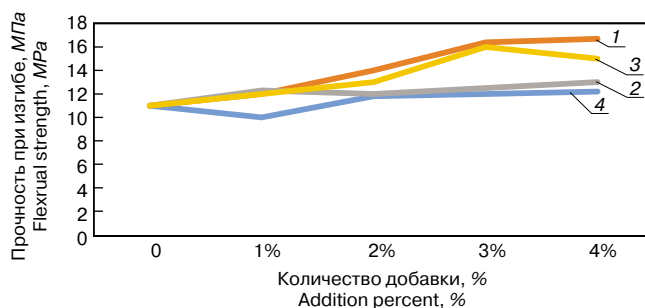


Рис. 5. Результаты испытаний прочности при изгибе: 1 – измельченный кремнегель; 2 – измельченный кремнегель+известняк; 3 – кремнегель шарики; 4 – известняк
Fig. 5. The results of flexural strength: 1 – crushed silica gel; 2 – crushed silica gel+limestone; 3 – silica gel beads; 4 – limestone

for concrete mixes with crushed silica gel, crushed silica gel+limestone, silica gel beads and limestone respectively. Fig. 5 the flexural strength showed remarkable enhancement for all mixes compared with compressive strength and splitting tensile strength results where the enhancements

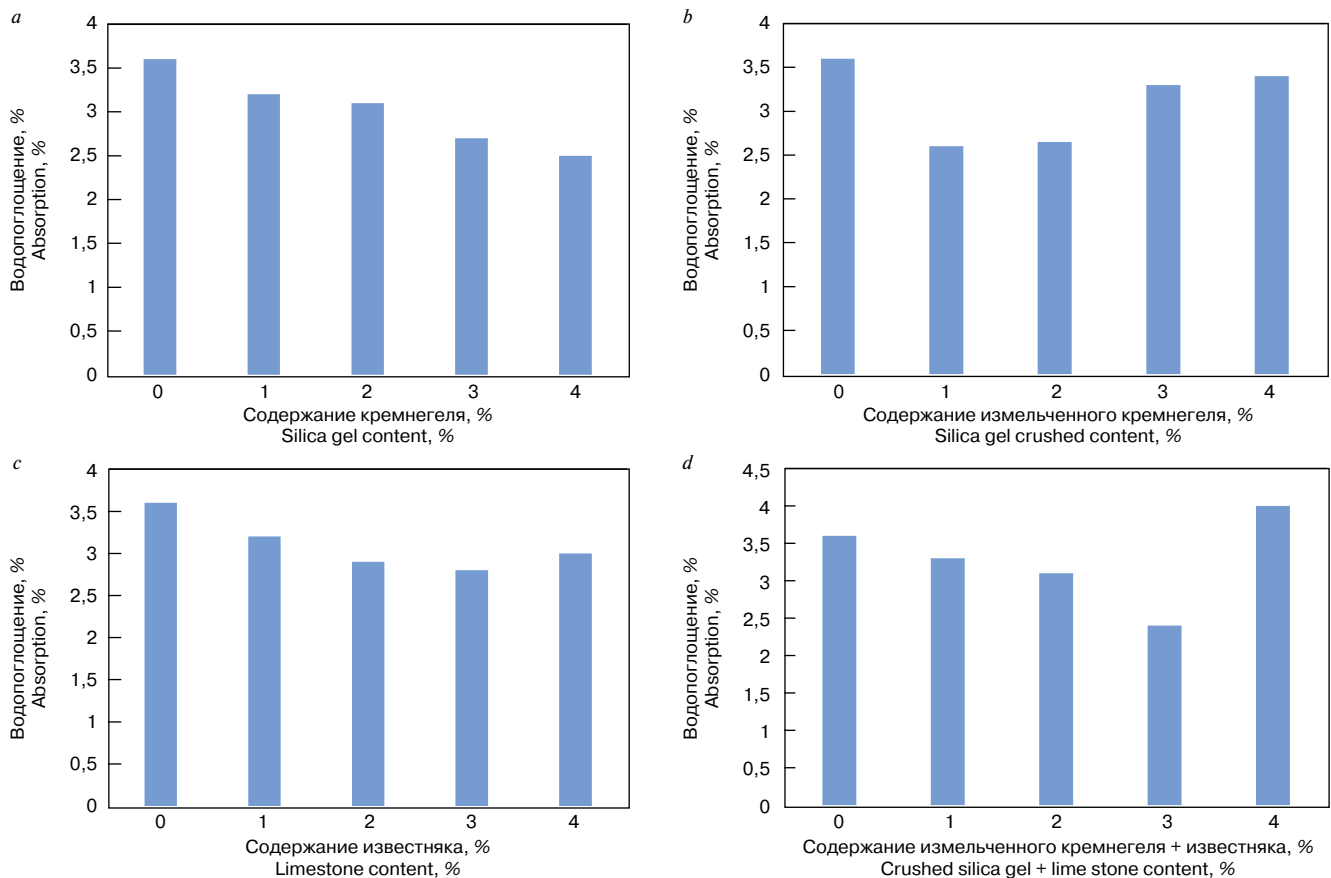


Рис. 6. Результаты испытаний образцов на водопоглощение: а – кремнегель; б – измельченный кремнегель; с – известняк; д – измельченный кремнегель+известняк

Fig. 6. The results of water absorption test: a – silica gel; b – crushed silica gel; c – limestone; d – crushed silica gel+limestone

were 51.8%, 18.8%, 36.3% and 10.9% for concrete mixes with crushed silica gel, crushed silica gel+limestone, silica gel beads and limestone respectively. The development in mechanical properties in the presence of silica gel can be attributed to the pozzolanic effect of silica when water is added to cement hydration occurs forming two products, CSH gel and CH, in the presence of micro silica, SiO_2 will react with the calcium hydroxide to produce more aggregate binding CSH gel [15]. Studies have shown that CaCO_3 accelerates the hydration process by acting as a nucleation site on which cement hydration products form, this micro-physical effect results in a higher enhancement rate of mechanical properties. A higher accelerating effect occurs when more CaCO_3 is added, [4, 16] this interpreted the little effect on mechanical properties of concrete when added limestone powder to their mixes.

Results of water absorption test. The results of absorption test showed remarkable improvement by reduction of water absorption for all concrete mixes. As shown in fig. 6, silica gel (beads and crushed powder) implemented in this work generally exhibits a reduction in the water absorption potential of concrete this reduction, recognized to be increased with the content of silica gel (beads and crushed powder) introduced to the mixes. The reduction in water absorption values in silica gel mixes were attributed due to their higher pozzolanic effect which made the concrete more compact and denser than conventional concrete. In mixes with limestone less reduction in water absorption can be recognized when comprised with silica gel mixes. Moderate enhancement was found in binary mixes due to the dual effect of silica and limestone by accelerate the hydration process and formation additional amount of CSH gel which develop the pore structure and mechanical properties of concrete [17–19].

Pozzolanic activity index test results. The results are reported as averages of 3 replicates. The control mortar strength was 26 MPa, when replaced 10% of cement by nano silica, crushed silica gel, micro silica and silica gel the strength became 47, 42, 40.8 and 36.4 MPa, respectively, so the pozzolanic activity indexes obtained from these results were 181, 161, 157 and 130 respectively as indicated in fig (3). Nano silica showed higher pozzolanic activity because nano silica reacts with the CH produced during cement hydration and results in more strength carrying C–S–H into the paste. As a more pozzolanic reaction occurs in the mix, more strength-carrying C–S–H is produced, which ultimately leads to a higher overall strength [20] these results were agree with Madhuwanthi Rupasinghe et.al 2017[20], and Wengui Li et.al. 2015[44], also YE Qing 2006 [3] found that the pozzolanic activity of nano silica was much greater than that of micro silica. The reaction rate of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with nano silica and the velocity of C–S–H gel formation from $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with nano- SiO_2 were much quicker than that of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with micro silica, in this work micro silica showed lower pozzolanic activity by about 13% with respect to that of nano silica. Crushed silica gel showed good pozzolanic activity, it was experimentally confirmed by Daunte Vaičiukynienė et.al 2012 that the thermally activated silica gel could be used as an additive in hardened cement paste. This amorphous SiO_2 reacted with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and form (C–S–H) type calcium silicate hydrates that additionally strengthened the hardened cement paste [21], so this quantity of silica gel additive enables to decrease the quantity of used cement and improved the mechanical properties of concrete. Silica gel also improved the pozzolan reactivity compared to control mix, but not as good as crushed silica gel's improvement.

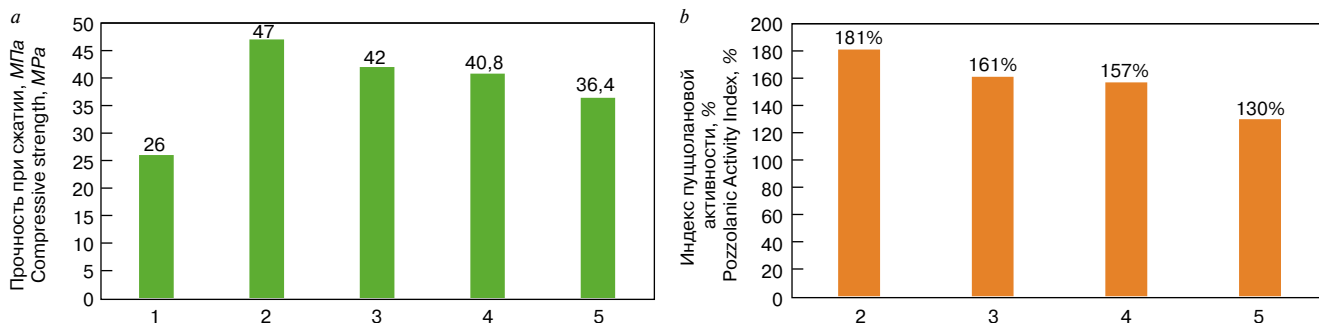


Рис. 7. Результаты испытаний прочности при сжатии для растворов с различными добавками (а); индекс пуццолановой активности цементного раствора с различными добавками (b); 1 – контрольный; 2 – нанокремнезем; 3 – измельченный кремнегель; 4 – микрокремнезем; 5 – кремнегель
Fig. 7. Results of compressive strength for mortar with different admixtures (a); Pozzolanic activity index for cement mortar with different admixtures (b). 1 – Control; 2 – nano silica; 3 – crushed silica gel; 4 – micro silica; 5 – silica gel

Выводы / Conclusions

Recycled silica gel showed good improvement in mechanical properties when added to concrete mixes and marked reduction in water absorption.

Pozzolanic activity results showed comparable activity between nano silica and crushed silica gel, but at the same time beads of silica showed low activity that belonged to the effect of surface area factor which increase the reactivity of silica gel after crushing.

Limestone powder didn't show remarkable improvement in the mechanical properties of concrete, this behaviour attributed to small amount of addition.

References

1. Kakamare M.S., Nair V.V. Sustainable construction materials and technology: green concrete. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*. 2015. Vol. 3, pp. 310–314.
2. Chirag Garg, Aakash Jain. Green Concrete: Efficient & Eco-Friendly Construction Materials. *International Journal of Research in Engineering & Technology*. 2014. Vol. 2, pp. 259–265.
3. Ye Qing, Zhang Zenan, Sheng Li, Chen Rongshen. A comparative study on the pozzolanic activity between nano-SiO₂ and silica fume. *Journal of Wuhan University of Technology*. 2006. Vol. 21. No. 3, pp. 153–157. <https://doi.org/10.1007/BF02840907>
4. Camilett J., Soliman A.M., Nehdi M.L. Effect of nano-calcium carbonate on early-age properties of ultrahigh-performance concrete. *Magazine of Concrete Research*. 2013. Vol. 65. Iss. 5, pp. 297–307. <https://doi.org/10.1680/mac.12.00015>
5. Bentz Dale P., Ardani Ahmad, Barrett Tim, Jones Scott Z., Lootens Didier, Peltz Max A., Sato Taijiro, Stutzman Paul E., Tanesi Jussara, Weiss W. Jason. Multi-scale investigation of the performance of limestone in concrete. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 75, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.042>
6. Yusuf Moruf Olalekan, Johari Megat Azmi Megat, Ahmad Zainal Arifin, Maslehuddin Mohammed. Strength and microstructural performance of nano-SiO₂ gel (NSG) infused alkaline activated ground blast furnace slag-ultrafine palm oil fuel ash (AAGU) based mortar. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 856, pp. 280–284. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.856.280>
7. Iraqi Standard Specifications No. 5, “Portland Cement”. Central Organization for Standardization and Quality Control. Iraq. 1984.
8. Iraqi Standard Specification No. 45, “Aggregate from Natural Sources for Concrete and Building Construction”. Central Organization for Standardization and Quality Control. Iraq. 1984.

9. ASTM C 1240–05, “Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures”. West Conshohocken, PA, USA. 2005.
10. BS 5328-2:1991, “Concrete. Methods for specifying concrete mixes,” British standard. 1997.
11. BS 1881-116, “Testing concrete – Part 116: Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes”. British Standard. 2003.
12. ASTM C 496/C 496M, “Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens”. West Conshohocken, PA, USA. 2004.
13. ASTM C 293, “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)”. West Conshohocken, PA, USA. 2002.
14. ASTM C 642–06, “Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete”. West Conshohocken, PA, USA. 2006.
15. Ajay Verma, Rajeev Chandak, Yadav R.K. Effect of micro silica on the strength of concrete with ordinary Portland cement. *Research Journal of Engineering Sciences*. 2012. Vol. 1 (3), pp. 1–4. <http://www.isca.in/IJES/Archive/v1/i3/1.ISCA-JEngS-2012-010.pdf>
16. Kakali G., Tsvivilis S., Aggeli E., Bati M. Hydration products of C₃A, C₃S and Portland cement in the presence of CaCO₃. *Cement and Concrete Research*. 2000. Vol. 30. Iss. 7, pp. 1073–1077. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00292-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00292-1).
17. Wu Z., Shi C., Khayat K.H., Wan S. Effects of different nanomaterials on hardening and performance of ultra-high strength concrete (UHSC). *Cement and Concrete Composites*. 2016. Vol. 70, pp. 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.03.003>
18. Shaikh Faiz U.A., Supit Steve W.M. Mechanical and durability properties of high volume fly ash (HVFA) concrete containing calcium carbonate (CaCO₃) nanoparticles. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 70, pp. 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.099>
19. Madhuwanthi Rupasinghe, Priyan Mendis, Tuan Ngo, Tuan Ngoc Nguyen, Massoud Sofi. Compressive strength prediction of nano-silica incorporated cement systems based on a multiscale approach. *Materials and Design*. 2017. Vol. 115, pp. 379–392. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.11.058>
20. Wengui Li, Zhengyu Huang, Faugliang Cao, Zhihui Sun, Surendra P. Shah. Effect of nano-silica and nano-limestone on flowability and mechanical properties of ultrahigh-performance concrete. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 95, pp. 366–374. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.137>
21. Danute Vaičiukynienė, Vitoldas Vaitkevičius, Aras Kantautas, Vytautas Sasnauskas. Utilization of by-product waste silica in concrete-based materials. *Materials Research*. 2012. Vol. 15. No. 4, pp. 561–567. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392012005000082>

Применение искусственных пористых заполнителей и изделий на их основе в жилищном, гражданском, промышленном, дорожном и гидротехническом строительстве

26–27 сентября 2018 г. в г. Самаре состоялось научно-техническое совещание по вопросам применения искусственных пористых заполнителей и изделий на их основе в жилищном, гражданском, промышленном, дорожном и гидротехническом строительстве, организованное некоммерческой организацией «Союз производителей керамзита и керамзитобетона» (НО «СПКиК») и АО «НИИКерамзит».

В научно-техническом совещании приняли участие представители предприятий по производству керамзита и керамзитобетонных изделий и конструкций России и Республики Беларусь, предприятий-производителей оборудования, проектных организаций, НИИСФ РААСН, Академии строительства и архитектуры Самарского государственного технического университета, Института экономики и управления развития строительства и ЖКХ Самарского государственного экономического университета, Уфимского государственного нефтяного технического университета и других организаций.

Было отмечено, что за прошедшие 25 лет промышленности строительных материалов, в частности производству керамзитового гравия и керамзитобетонных изделий и конструкций, был нанесен большой ущерб. В 1990 г. в России работало 338 предприятий по производству керамзитового гравия с объемом выпуска 36,9 млн м³ в год. В настоящее время количество предприятий сократилось более чем в два раза, а объем производства – почти в пять раз. На керамзитовом гравии работали тысячи заводов ЖБИ и комбинатов крупнопанельного домостроения по выпуску керамзитобетонных изделий и конструкций – панелей, блоков, перемычек, плит покрытия, свай, колонн, ригелей и т. д.

Большой ошибкой в техническом регулировании в строительстве было непродуманное принятие научно необоснованных, заведомо завышенных требований по тепловой защите зданий, в первую очередь за счет повышения теплосопротивления ограждающих конструкций. В результате этого в стране без учета местных климатических особенностей, без научного и технико-экономического обоснования стали повсеместно применять многослойные ограждающие конструкции. Опыт эксплуатации, а также крупные пожары в жилых, офисных и торгово-развлекательных зданиях показали, что фактически многослойные ограждающие конструкции не в полной мере отвечают требованиям по долговечности, пожарной и экологической безопасности зданий.

Это связано с несовершенством технического регулирования в строительстве, отсутствием должного строительного, пожарного и санитарного контроля и надзора, соответствующей координации разработки, согласования и утверждения нормативно-технической документации в области строительства.

В ходе совещания докладчики (В.М. Горин, С.А. Токарева, В.Д. Авакова, НИИКерамзит; В.Г. Гагарин, НИИСФ; Л.П. Шиянов, ООО «Витатерм»; М.Г. Лазарашвили, ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль»; Н.Г. Чумаченко, Академия строительства и архитектуры СамГТУ) отмечали, что многолетний практический опыт, исследования и новые разработки последних лет убедительно свидетельствуют о постоянном совершенствовании промышленной технологии производства керамзита, расширения его ассортимента, повышения качества и эффективности легких бетонов на основе керамзита.

Применение керамзитобетона в строительных изделиях и конструкциях в качестве теплоизоляционного, конструктивно-теплоизоляционного и конструкционного материала для малоэтажного, крупнопанельного, сборно-монолитного и высотного домостроения дает большой технико-эко-



номический эффект: снижение материалоемкости, уменьшение массы зданий до 35%, значительное уменьшение теплопотерь, в том числе через несущие элементы, за счет керамзитобетонных конструкций; снижение стоимости 1 м² жилья до 20%; повышение сейсмоустойчивости. Об этом доложили С.А. Белов, ООО «Куйбышевский Промстрой-проект»; И.В. Недосеко, УГНТУ; Ю.С. Вытчиков, Академия строительства и архитектуры СамГТУ и др.

Вопросам изготовления и поставки оборудования для керамзитового производства и изделий на основе керамзита были посвящены доклады Д.А. Ишутина, ООО «СамЭнерго-Транс»; В.В. Петрина, ООО «Строммашина-Индустрия».

Участники научно-технического совещания отметили, что выполнение большого объема жилищного строительства, до 120 млн м³ в год, обозначенного в Указе Президента РФ В.В. Путина № 204 от 07.05.2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», возможно только при условии опережающего развития промышленности строительных материалов, в том числе возрождения керамзитового производства на новом качественном уровне и широкого применения керамзита и керамзитобетона в жилищном строительстве, как долговечных, энергоэффективных, пожаробезопасных, экологически чистых, надежных в эксплуатации и доступных по цене строительных материалов.

По итогам обмена мнениями было принято решение с конкретными предложениями по техническому регулированию безопасности строительных материалов и изделий, расширению производства и применения керамзита и керамзитобетона в жилищно-гражданском, промышленном, дорожном и гидротехническом строительстве, повышению качества выпускаемой продукции, реконструкции и модернизации технологических линий керамзитового производства на инновационной и энергоресурсосберегающей основе с обеспечением охраны труда и окружающей среды.

Н.С. СОКОЛОВ^{1,2}, канд. техн. наук, директор (forstnpf@mail.ru)

¹ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»
(428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15)

² ООО НПФ «ФОРСТ» (428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Калинина, 109 а)

Укрепление оползневого склона

Рассматривается использование электроразрядной технологии при устройстве заглубленных конструкций из буроинъекционных свай ЭРТ и грунтовых анкеров ЭРТ с целью обеспечения устойчивости оползневого склона и объектов, ранее построенных на нем. Для выполнения заявленной задачи в строительной практике имеется ряд современных геотехнических технологий. Оптимальный их выбор возможен только по технико-экономическим показателям. Наиболее часто используемым инструментом в современной практике проектирования является инновационный метод интерактивного проектирования «проект–опыт–реальный проект», с помощью которого для рассматриваемого случая определена заанкерованная подпорная стена, устраиваемая по электроразрядной технологии. При этом буроинъекционная свая ЭРТ и грунтовый анкер ЭРТ являются монолитными железобетонными конструкциями. Армирование осуществляется с помощью стержневой арматуры А500С диаметром 36 мм. В качестве анкерной тяги используется винтовая арматура диаметром 26,5 мм. Применяется цементный раствор с водоцементным отношением В:Ц=0,5:1. Приведен укрупненный технологический регламент-алгоритм устройства свай ЭРТ. Использование грунтовых анкеров ЭРТ совместно с буроинъекционными сваями ЭРТ позволяет существенно снизить стоимость укрепления склона по сравнению с консольными подпорными стенами.

Ключевые слова: инновации, оползневый склон, грунтовый анкер ЭРТ, буроинъекционная свая ЭРТ, электроразрядная технология (ЭРТ), регламент-алгоритм, винтовая арматура, интерактивное проектирование.

Для цитирования: Соколов Н.С. Укрепление оползневого склона // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 44–55.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-44-55>

N.S. SOKOLOV^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Director (forstnpf@mail.ru, ns_sokolov@mail.ru)

¹ I.N. Ulianov Chuvash State University (15, Moskovskiy Highway, Cheboksary, 428015, Russian Federation)

² ООО NPF «FORST» (109a, Kalinina Street, Cheboksary, 428000, Russian Federation)

Strengthening Landslide Slope

The article considers the use of electric discharge technology when constructing buried structures of bored-injection ERT piles and ground anchors EDT to ensure the stability of the landslide slope and objects previously built on it. To perform the stated task, there are a number of modern geotechnical technologies in construction practice. Their optimum choice is possible only on technical and economic indicators. The most frequently used tool in modern design practice is an innovative method of interactive design: "project-experience-real project", with which, for the case under consideration, the anchored retaining wall constructed by electric discharge technology is determined. In this case, a bored-injection pile EDT and a ground anchor EDT are monolithic reinforced concrete structures. Reinforcement is carried out by means of rod reinforcement A500C with a diameter of 36 mm. As an anchor rod, screw reinforcement with a diameter of 26.5 mm is used. Cement mortar with a water-cement ratio W:C = 0.5 is used. A high-level technological regulation-algorithm of arrangement of EDT piles is presented. The use of ground anchors EDT in conjunction with bored-injection piles EDT makes it possible to significantly reduce the cost of strengthening the slope compared to the cantilever retaining walls.

Keywords: innovation, landslide slope, ground anchor EDT, bored-injection pile EDT, electric discharge technology (EDT), regulation-algorithm, screw reinforcement, interactive design.

For citation: Sokolov N.S. Strengthening landslide slope. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 44–55.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-44-55> (In Russian).

Строительство зданий и сооружений на оползневых склонах представляет сложную геотехническую задачу, связанную с устройством заглубленных железобетонных конструкций [1–10] для обеспечения устойчивости склона и построенных на нем объектов. Рассмотренная схема возведения укрепительных сооружений, устроенных по электроразрядной технологии, позволила на одном из объектов в г. Чебоксары возвести трехэтажный объект общественного назначения.

Согласно отчету об инженерно-геологических изысканиях в административном отношении исследованный участок проектируемого строительства расположен в северо-западном жилком массиве Московского административного района г. Чебоксары, в микрорайоне «Волжский-3», на пустыре вдоль прогулочной асфальтированной тротуарной дорожки, восточнее многоквартирного жилого дома по ул. Соколова, 10/2 (рис. 1). В геоморфологическом отношении территория изысканий охватывает денудационное плато с техногенно засыпанным оврагом высотой от 20 до 30 м, общую поверхность оползневых тел 2-го и 3-го

порядков с примерными отметками (от оползня 2-го порядка к оползню 3-го) 100 и 105 м – расположены в северной части района изысканий. Оползневый склон изучаемого участка долины р. Волга имеет сложное строение. Рельеф площадки изысканий сложный, со значительным перепадом абсолютных отметок от 103,6–105,7 м в пределах оползней двух порядков на севере до 127–130,9 м на юге в пределах денудационного плато с общим уклоном территории в северном направлении – к долине р. Волга. В инженерно-геологическом разрезе площадки строительства до исследованной глубины (до 35 м) выделено 12 инженерно-геологических элементов (ИГЭ): ИГЭ № 1 – насыпные грунты: суглинки тяжелые и пылеватые, от тугопластичных до твердых (tQh); ИГЭ № 2 – суглинки легкие и пылеватые, твердые (dQh); ИГЭ № 3 – суглинки лессовые, просадочные, легкие и пылеватые, твердые и полутвердые (prQp); ИГЭ № 4 – алевроиты легкие, песчаные, твердые и полутвердые (P3s+v); ИГЭ № 5 – пески мелкие, плотные, прослоями средней плотности, маловлажные (P3s+v); ИГЭ № 6 – глины

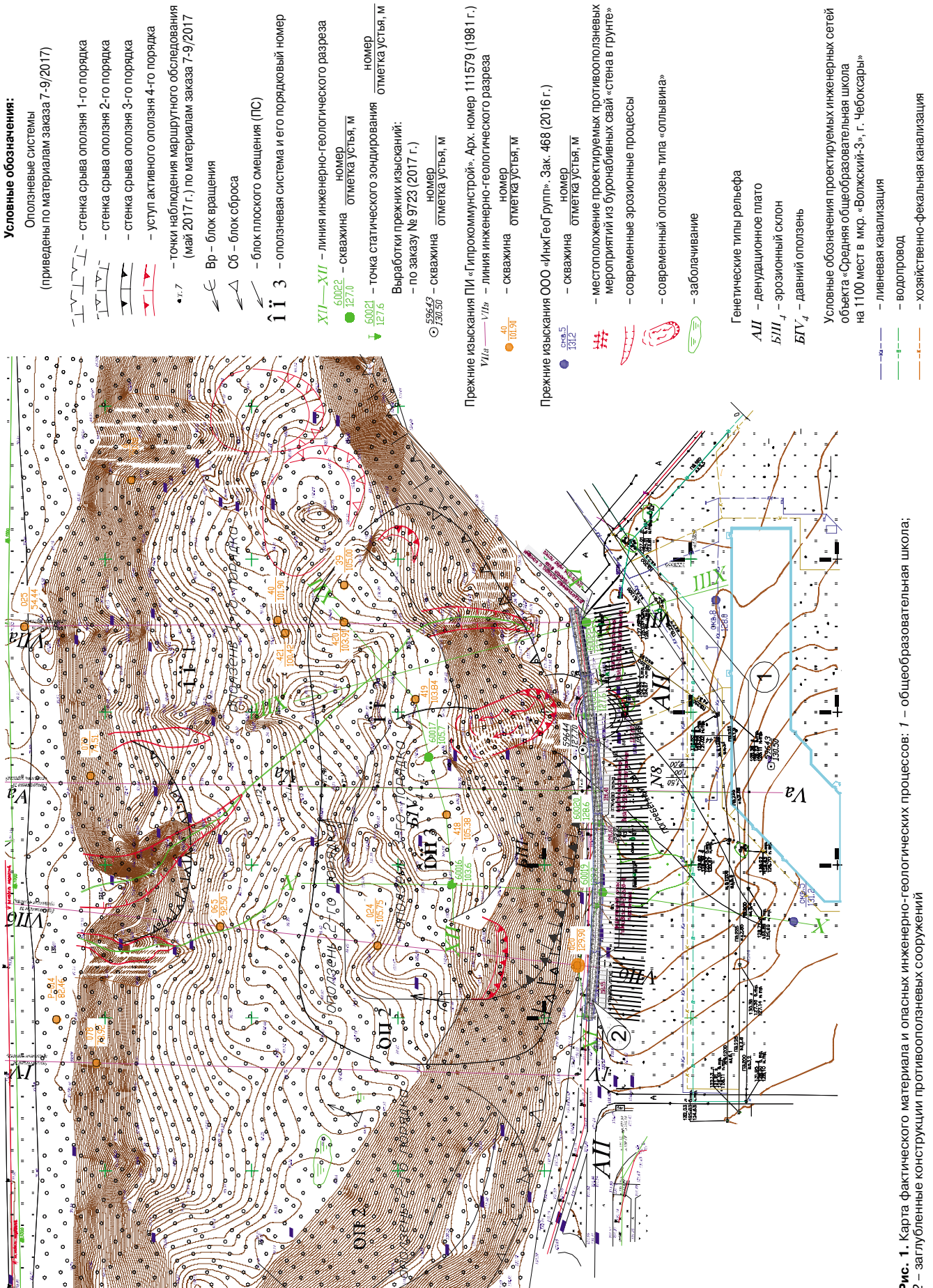


Рис. 1. Карта фактического материала и опасных инженерно-геологических процессов: 1 — общеобразовательная школа; 2 — заглубленные конструкции противопопозневых сооружений

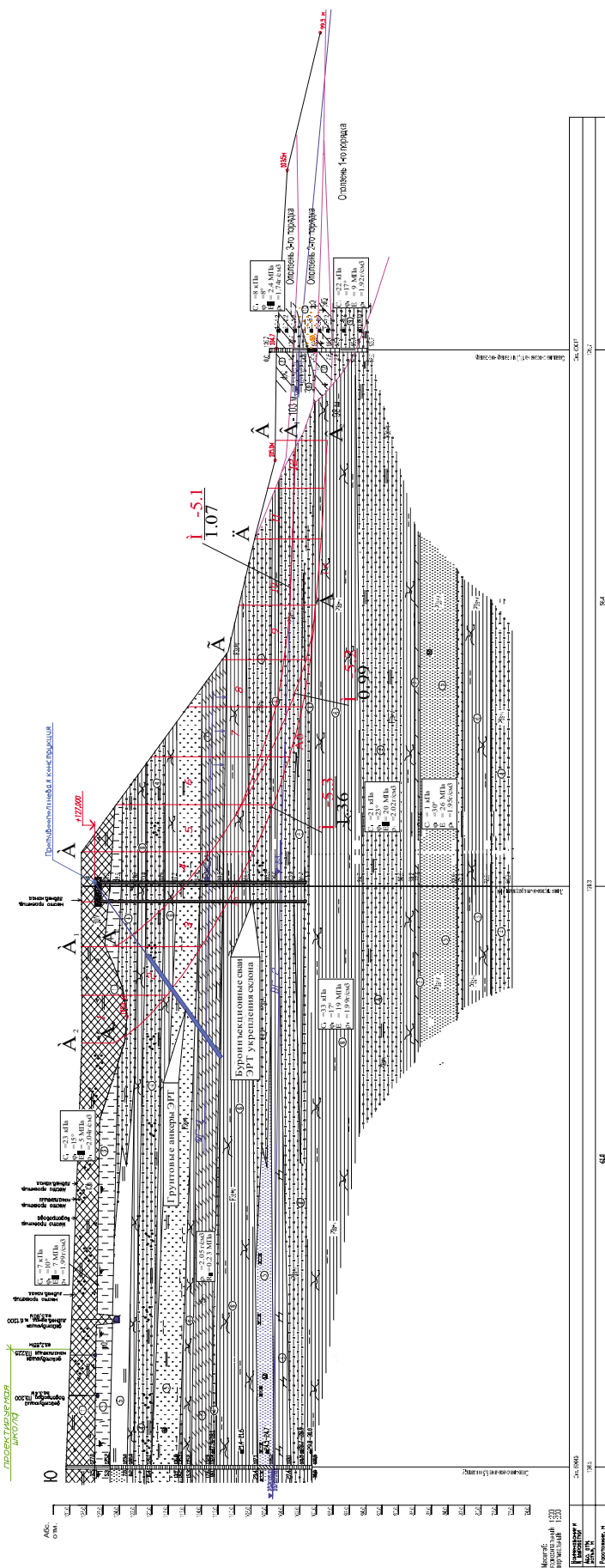


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез по линии Va-Va

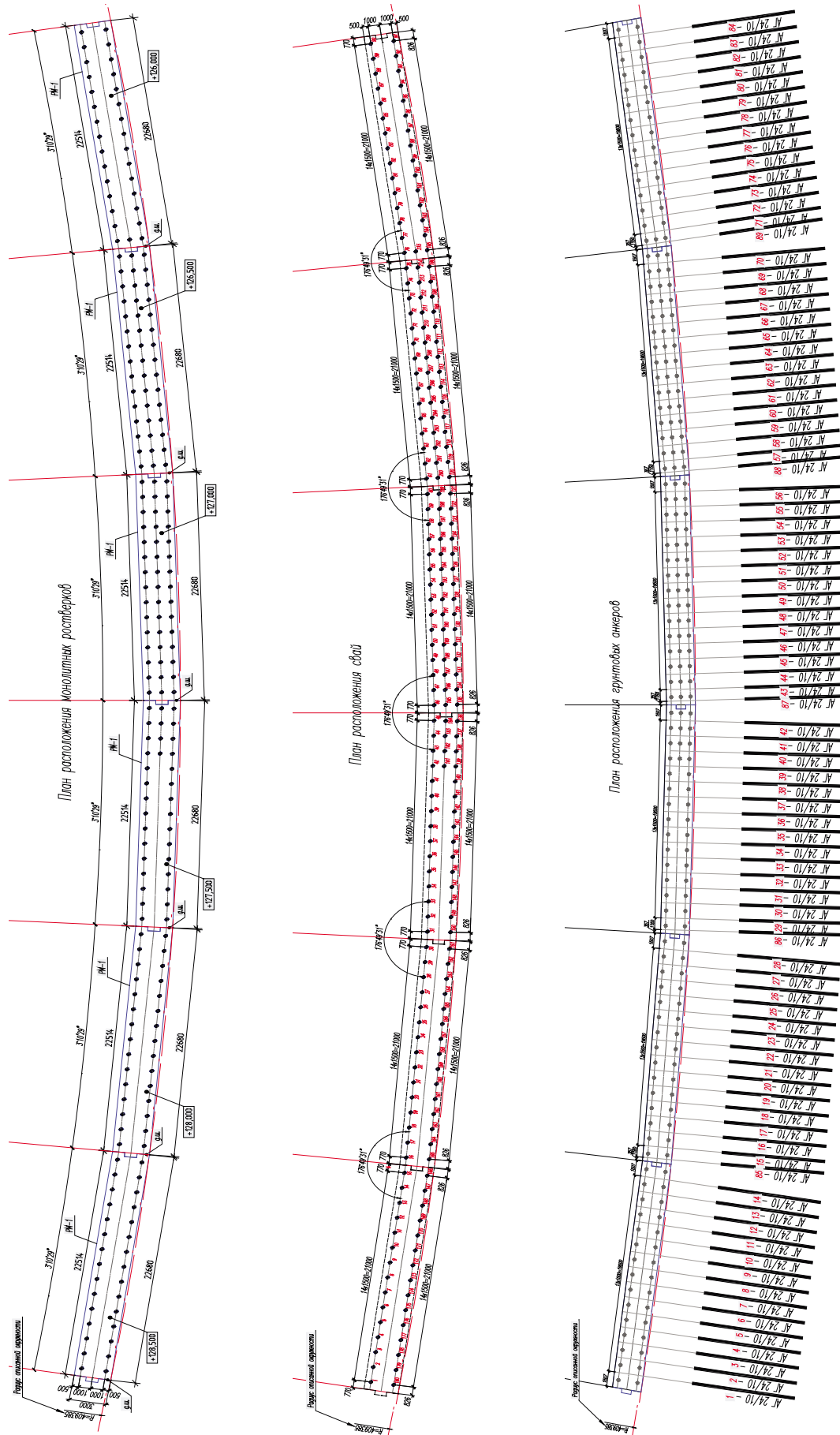


Рис. 3. План расположения монолитных ростверков. План расположения свай. План расположения грунтовых анкеров

Схема грунтового анкера АГ-24/10

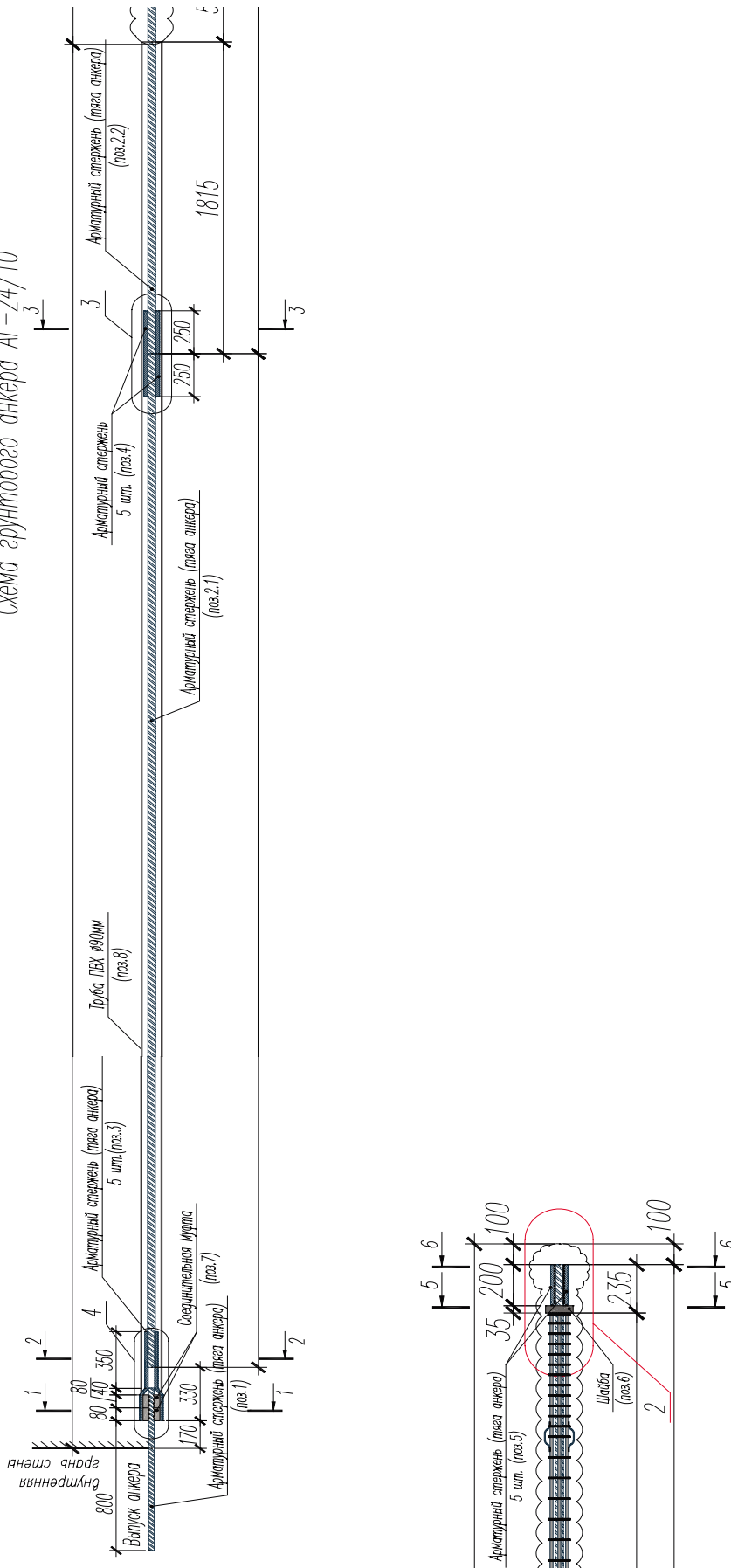


Рис. 4. Схема грунтового анкера АГ-24/10: 1 – винтовая арматура класса SAS St 950/1050 DIN EN 10045 (сталь термомеханически упрочненная зарубежного производства с усилением при пределе текучести 550 кН для $\varnothing 26,5$ мм согласно протоколу испытаний № 530 113/3-03, проведенных ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»); 2 – арматура $\varnothing 36$ A500C I=11,7 м; 3 – арматура $\varnothing 36$ A500C I=5,8 м; 4, 5, 6 – арматура $\varnothing 20$ A500C; 7 – соединительная муфта; 8 – опорная шайба; 9 – труба ПВХ $\varnothing 90$ мм

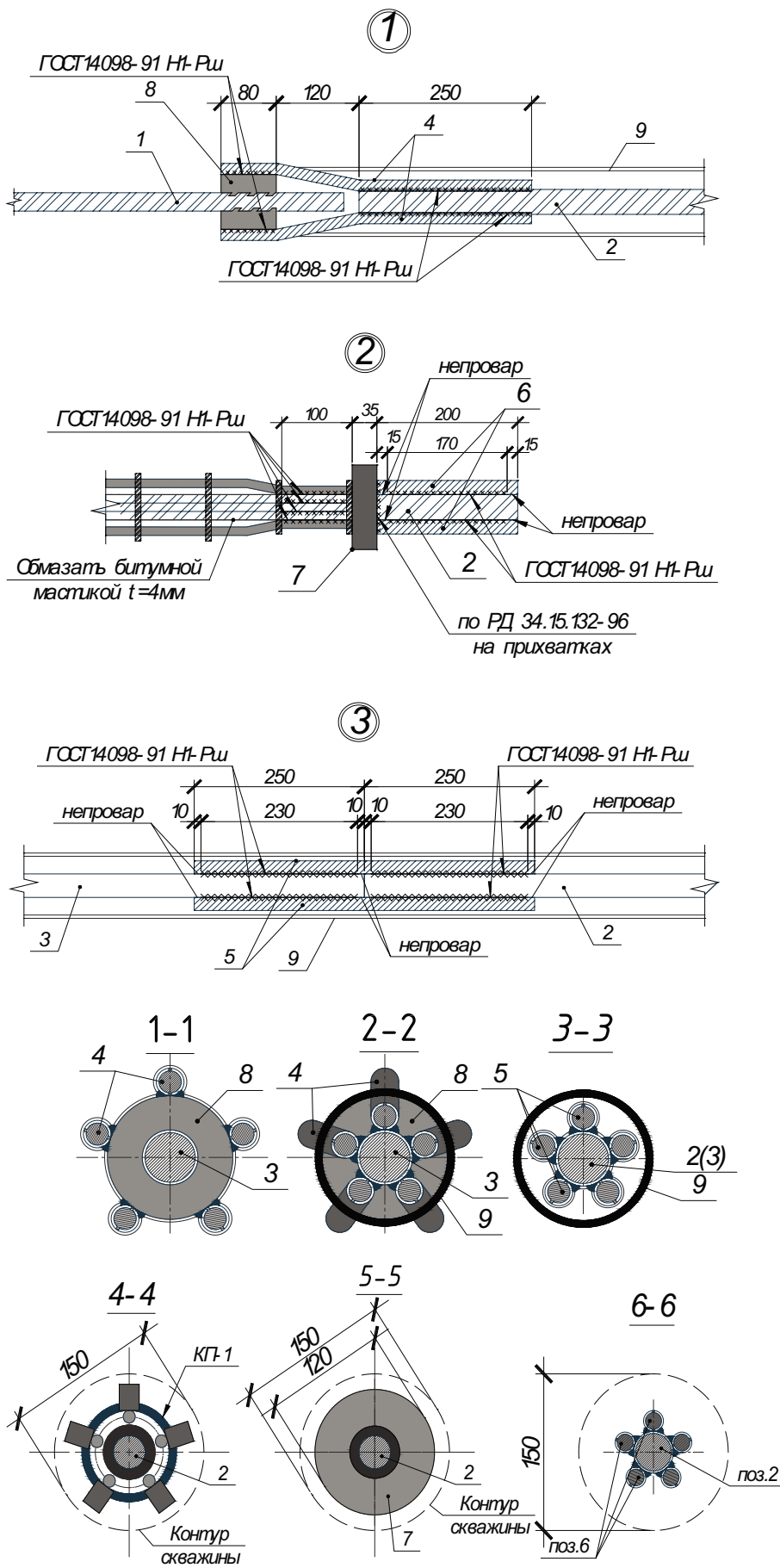


Рис. 5. Узлы и разрезы к схеме грунтового анкера АГП-24/10 (рис. 4): 1 – винтовая арматура класса SAS St 950/1050 DIN EN 10045 (сталь термомеханически упрочненная зарубежного производства с усилием при пределе текучести 550 кН для $\varnothing 26,5$ мм согласно протоколу испытаний № 530 113/3-03, проведенных ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»); 2 – арматура $\varnothing 36$ A500C $l=11,7$ м; 3 – арматура $\varnothing 36$ A500C $l=5,8$ м; 4, 5, 6 – арматура $\varnothing 20$ A500C; 7 – опорная шайба; 8 – соединительная муфта; 9 – труба ПВХ $\varnothing 90$ мм

Опалубочный чертеж монолитного ростверка
22514

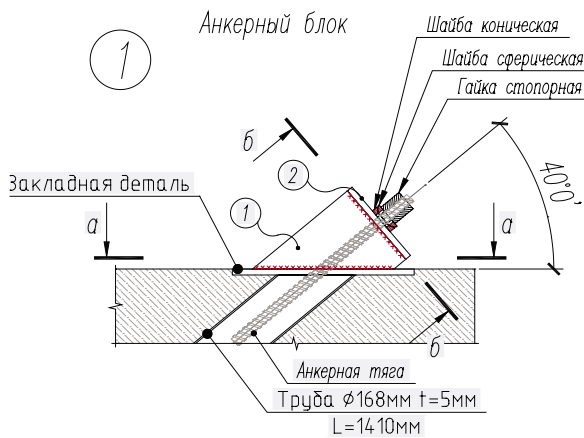
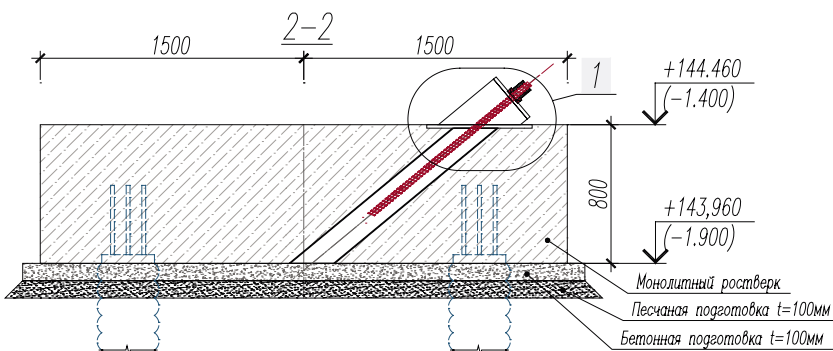
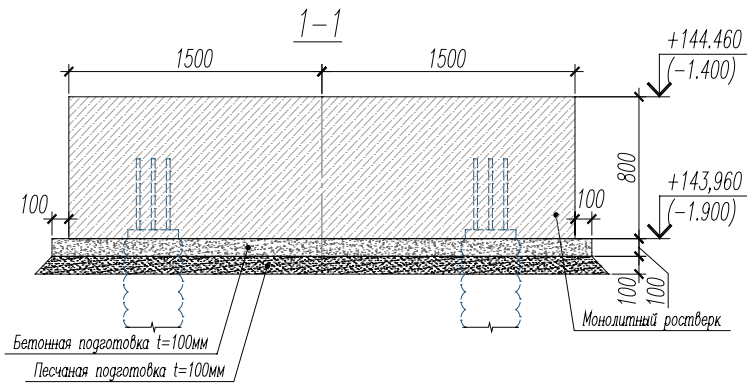
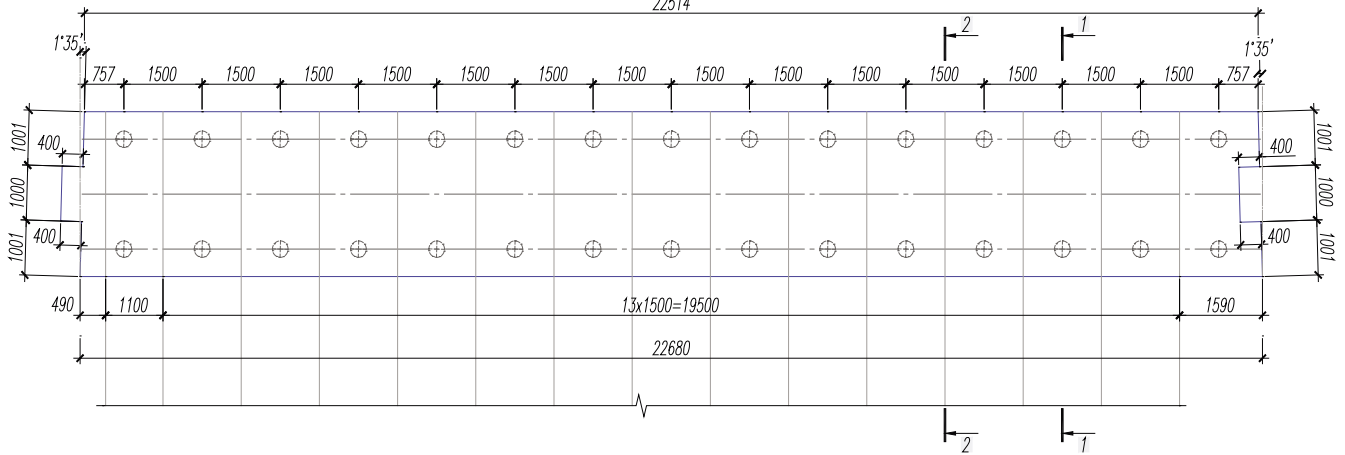


Рис. 6. Опалубочный чертеж монолитного ростверка. Разрезы 1-1, 2-2. Узел 1: 1 – наклонная труба; 2 – опорная пластина

У крупненный технологический регламент-алгоритм устройства свай ЭРТ

Наименование проекта алгоритма
Применяемые методики и средства расчетов
Конструктивные решения заглубленных конструкций и сооружений
Условия возведения и эксплуатации конструкций объекта
Мероприятия по мониторингу за окружающей застройкой, существующими заглубленными сооружениями и коммуникациями
Конструирование буроинъекционных свай ЭРТ
Материалы буроинъекционных свай ЭРТ
Изготовление свай ЭРТ
Формирование скважины бурением
Бетонирование свай ЭРТ
Электроразрядная обработка скважины, заполненной бетонной смесью
Монтаж пространственных каркасов
Уход за бетоном
Производство бетонных работ при отрицательной температуре воздуха
Производство бетонных работ при температуре +25°C
Обеспечение качества изготовления свай ЭРТ
Мероприятия по защите основания от сезонного промерзания грунта
Мероприятия по обеспечению нормальной эксплуатации строящегося здания, функционирования окружающей среды и безопасности на период производства работ

Алгоритм устройства буроинъекционных анкеров ЭРТ

№ п/п	Наименование пункта алгоритма	Этапы устройства буроинъекционных анкеров ЭРТ
1	Конструирование анкерного крепления	<p>1.1. Для грунтовых анкеров применять цементные растворы с водоцементным отношением (по массе) В:Ц=0,5:1. 1.2. Для цементных растворов использовать портландцемент без минеральных добавок марки по прочности не ниже М500. 1.3. Не допускается применение пуццолановых, глиноземистых и шлаковых портландцементов. 1.4. Вода для цементных растворов водопроводная и техническая, не содержащая сахаров и фенолов более 10 мг/л, нефтепродуктов и жиров. Водородный показатель (рН) от 4 до 12,5. 1.5. В качестве анкерной тяги используется стержневая арматура диаметром 36 мм класса А500С (в пластмассовой оболочке диаметром не менее 63 мм) и немецкая высокопрочная винтовая арматура диаметром 26,5 мм класса St950/1050. 1.6. Для центрирования в скважине по всей длине тяги предусмотрены фиксаторы (шаг не более 2 м) из отрезков пластиковых труб с продольными разрезами по периметру. 1.7. Для изготовления сварных каркасов применять арматуру из стали марки 35ГС запрещается. 1.8. Ручная дуговая сварка элементов анкерного каркаса осуществляется электродами типа Э42А, Э46А, Э50А. 1.9. Детали для крепления опоры грунтового анкера за опорную пластину (плиту): сферическая, коническая и косая шайбы (Ст45), гайка стопорная (Ст3)</p>
2	Изготовление грунтового анкера ЭРТ	<p>2.1. Технологическая последовательность изготовления анкеров включает следующие операции: формирование скважины требуемой глубины и диаметра шнековым бурением; заполнение до устья скважины цементным раствором; электроразрядная обработка скважины на уровне корня; установка анкерного каркаса в проектное положение. 2.2. При устройстве грунтовых анкеров последующая скважина должна устраиваться не менее чем за 1,5 м от предыдущей. Бурение с ранее изготовленными анкерами допускается лишь по истечении не менее 48 ч после окончания бетонирования последних. 2.3. Несущая способность каждого анкера должна проверяться до включения его в работу совместно с закрепляемой конструкцией путем проведения контрольных или приемочных испытаний на максимальную испытательную нагрузку. 2.4. До начала работ должны быть обозначены охранные зоны существующих подземных и воздушных коммуникаций, а также подземных сооружений с указанием охранный зоны, устанавливаемой в соответствии с п. 3.22 СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01–87». 2.5. До массового производства анкеров ЭРТ изготовить опытные анкера и провести пробные контрольные испытания для подтверждения принятых в проекте размеров анкеров и несущей способности. Иначе выполнить корректировку проектной документации. 2.6. В случае обнаружения не указанных в проекте подземных сооружений, коммуникаций или обозначающих их знаков работы должны быть приостановлены, на место работы вызваны представители заказчика и организаций, эксплуатирующих обнаруженные коммуникации, и приняты меры по предохранению обнаруженных подземных устройств от повреждения. Допускается вынос заказчиком существующих коммуникаций из зоны производства работ при наличии письменного разрешения эксплуатирующих организаций</p>

№ п/п	Наименование пункта алгоритма	Этапы устройства буроинъекционных анкеров ЭРТ
3	Формирование скважины бурением	<p>3.1. Бурение шнековое, выполнять в соответствии с проектом производства работ. 3.2. Установка для бурения УБГ-СГ «БЕРКУТ» или аналог. 3.3. В процессе бурения следует контролировать параметры грунта на глубине: установить характеристики грунта основания по остаткам грунта на элементах бурового инструмента, зафиксировать этот факт соответствующей записью в журнале свайных работ. Установить соответствие грунта, обнаруженного в забое скважины и учтенного в проекте на уровне корня анкера. При несоответствии глубины заделки бурового инструмента в этот грунт, а также при наличии по длине скважины неустойчивых грунтов приостановить работы и пригласить представителей проектной организации для принятия решения (корректировка длины, изменение количества анкеров и т. д.). Работы можно продолжить только после получения разрешения представителя авторского надзора, которое должно быть оформлено в Журнале авторского надзора. 3.4. Подъем бурового инструмента следует проводить медленно, после того как будет установлено, что в забое скважины не создается пониженное давление относительно бытового давления грунта. 3.5. Цементация скважин должна производиться сразу после окончания бурения. При невозможности цементации в указанный срок бурение скважин начинать не следует, а уже начатых прекратить</p>
4	Цементация скважины грунтового анкера	<p>4.1. Заполнение скважины производится до устья через бетонолитную колонну диаметром не менее 40 мм, опускаемую до забоя. После достижения забоя скважина должна быть промыта цементным раствором. Промывка цементным раствором продолжается до прекращения всплывания частиц грунта. 4.2. Приготовление цементного раствора производится на строительной площадке непосредственно перед его нагнетанием в скважину. Для приготовления и подачи раствора применяется пневморастороагнетатель ПРН-500 (ПРН-300). 4.3. Следует контролировать объем закачиваемого в скважину цементного раствора, сопоставляя его с проектным и объемом выбуренного грунта, причем объем закачанного в скважину раствора должен превышать объем выбуренного грунта</p>
5	Программа электроразрядной обработки скважины, заполненной цементным раствором	<p>5.1. Мощность накапливаемой энергии не менее 50 кДж. 5.2. Длина кабеля от генератора импульсного тока (ГИТ) до электродной системы не более 80 м, включая длину анкера (высоковольтный кабель ТИП-2 – 50 м, высоковольтный кабель КВИМ – 30 м). 5.3. Обработка электрическими разрядами производится на длине корня анкера сериями не менее 15 разрядов на каждом уровне. Шаг уровней от 0,5–0,7 м. Расчетное увеличение бурового диаметра (150 мм) довести до 200 мм, для этого следует контролировать уровень раствора в скважине до начала обработки одного уровня и после завершения обработки. При этом уровень раствора в скважине при обработке одного уровня должен понижаться на величину не менее 15 см. Причем если за последние пять электрических разрядов уровень раствора понизится более чем на 1 см, продолжить обработку уровня до достижения «отказа». За «отказ» принимается понижение уровня раствора в скважине за последние пять разрядов не более 10 мм. Для установления факта «отказа» осуществлять контроль изменения уровня раствора в скважине после каждого разряда или серии из пяти разрядов. 5.4. Осуществлять контроль за тем, чтобы общий объем поданного в скважину раствора, включая доливку, превышал объем пройденной скважины (объем грунта, извлеченного из данной скважины). 5.5. По результатам контроля падения уровня цементного раствора в опытной скважине или объема добавляемого раствора и сейсмических возмущений в зоне формирования геотехнического элемента откорректировать программу обработки корня анкеров электрическими разрядами</p>
6	Монтаж анкерного каркаса	<p>6.1. Опускать анкерный каркас в скважину следует плавно, без рывков. 6.2. Необходимо контролировать положение арматурного каркаса после установки его в проектное положение. Каркас закрепить от погружения и смещения в плане. 6.3. Каркас перед установкой следует очистить от случайно налипшего на него грунта</p>
7	Производство бетонных работ при отрицательной температуре воздуха	<p>7.1. За три дня до производства бетонных работ, когда ожидается среднесуточная температура воздуха ниже +5°C или минимальная суточная температура ниже 0°C, предусматривать в цементные растворы противоморозные добавки. 7.2. Цементный раствор с противоморозными добавками при укладке должен иметь температуру не ниже +10°C. 7.3. При температуре грунта ниже температуры воздуха количество противоморозных добавок должно вводиться из расчета минимальной прогнозируемой температуры воздуха или грунта к моменту достижения раствором необходимой прочности. 7.4. Для снижения теплопотерь в процессе твердения бетона после погружения в скважину выходящая на поверхность часть арматурного каркаса должна быть утеплена. 7.5. Не допускается перегрев цементного раствора (нагрев более 70°C). 7.6. Допускается не применять противоморозные добавки в цементных растворах, заполняемых в скважины ниже глубины сезонного промерзания грунта. 7.7. После окончания работ и при перерывах в работе более 50 мин шланги для подачи раствора промыть горячей водой, продуть сжатым воздухом и убрать в теплое помещение. До начала производства работ шланги развернуть, продуть сжатым воздухом и промыть горячей водой. 7.8. Для исключения промораживания грунтов при перерывах в работе открытые скважины должны быть изолированы от атмосферного воздуха. 7.9. При температуре ниже -20°C работы по изготовлению грунтовых анкеров должны быть остановлены</p>

№ п/п	Наименование пункта алгоритма	Этапы устройства буринъекционных анкеров ЭРТ
8	Порядок натяжения грунтовых анкеров	<p>8.1. До начала работ должны быть установлены все элементы анкерного крепления на планируемой для натяжения захватке. 8.2. Косые шайбы должны быть приварены к опорным пластинам (плитам) стального распределительного пояса. 8.3. Прочность цементного камня корня анкера должна быть не менее 20 МПа. Для контроля набора прочности в процессе изготовления анкеров должны быть отобраны девять кубиков 7×7×7 см, которые испытываются в возрасте 3, 7 (для внутреннего пользования) и 10 сут (для отчета). 8.4. Испытательная нагрузка $P_{и}=1,4 \cdot P_w$ (согласно ВСН 506–88). Контрольные испытания провести на каждом десятом анкере начиная с нагрузки $P_0=0,2 \cdot P_{и}$. Анкер нагружается ступенями. Порядок нагружения: 1-я ступень – P_1; 2-я ступень – P_2; 3-я ступень – P_3; 4-я ступень – P_4; 5-я ступень – P_5; 6-я ступень – P_6; 7-я ступень – испытательная нагрузка $P_{и}$. Каждую ступень выдерживают не менее 15 мин до наступления стабилизации анкера. Затем производят разгрузку до величины P_0, при которой измеряют упругие и остаточные перемещения. Фиксацию величин перемещений производят на каждой ступени через каждые 3 мин. За критерий условной стабилизации деформаций при испытании анкеров принимать скорость перемещения на данной ступени нагружения, не превышающую 0,1 мм за последние 15 мин. Последнюю ступень нагрузки выдерживают до наступления стабилизации анкера в течение 30 мин, затем снижают до величины P_0, замеряют упругие и остаточные перемещения анкера и доводят нагрузку до значения P_6 (блокировочная нагрузка), потом закрепляют анкер на опорной конструкции. 8.5. В случае недостижения испытательной нагрузки в процессе проведения контрольных испытаний за испытательную нагрузку принять нагрузку последней стабилизировавшейся ступени (несущая способность грунтового анкера) с последующим вычислением расчетной нагрузки на анкера с учетом коэффициента надежности, равным 1,4. С учетом этого автором проекта корректируется блокировочная нагрузка и корректируется проектное решение. 8.6. При малых значениях абсолютных перемещений анкера (менее 20 мм) после достижения стабилизации деформаций при контрольных испытаниях произвести догружение анкера ступенями, равными $P_0=0,2 \cdot P_{и}$, с выдерживанием на каждой новой ступени стабилизации деформаций. При этом должна обеспечиваться прочность материала и узлов анкерного крепления на сверхпроектные нагрузки. 8.7. Приемочным испытаниям подвергается каждый рабочий анкер, за исключением анкеров, подвергнутых контрольным испытаниям. Испытательная нагрузка для анкера $P_{и}=1,4 \cdot P_w$. Приемочные испытания начинают с нагрузки P_0, при которой фиксируют начальные отчеты перемещения анкера. И доводят до величины $P_{и}$, выдерживая ее в течение 15 мин и замеряя перемещение анкера через 1, 3, 5, 7, 10 и 15 мин; далее уменьшают нагрузку до величины P_0, замеряя упругое перемещение анкера, увеличивают нагрузку до блокировочной P_6 и закрепляют анкер на конструкции. 8.8. Несущая способность и испытательные нагрузки приемочных анкеров определяются как минимальное значение результатов испытаний из не менее чем двух ближайших контрольных анкеров</p>
9	Обеспечение качества изготовления грунтовых анкеров	<p>9.1. Изготовление грунтовых анкеров должны проводить организации, имеющие опыт геотехнических работ не менее пяти лет, в которых организована система обеспечения качества (ИСО 9001–2001), что должно быть подтверждено сертификатом соответствия. 9.2. При изготовлении следует освидетельствовать: плано-высотную привязку свай; диаметр и глубину скважин на соответствие проекту; вид грунта в основании анкера и его соответствие учтенному проектом (по остаткам на элементах бурового инструмента в основании); уплотнение грунта в основании сваи, разрушенного буровым инструментом; соответствие анкерного каркаса проекту (длина, диаметр и класс арматуры рабочих стержней, узлы соединения стержней) и глубину погружения каркаса в скважину; качество приготавливаемого цементного раствора (расход материалов); затруднения при погружении анкерного каркаса под собственным весом в скважину (свободное погружение арматурного каркаса до проектной отметки свидетельствует об отсутствии в скважине пережимов грунта и гарантирует сплошность ствола корня); погружение электродной системы; расход цементного раствора, используемого при производстве анкеров ЭРТ: при заполнении скважины; при обработке корня на каждом горизонте; суммарный расход раствора на скважину. 9.3. Контроль прочности осуществлять по ГОСТ 18105–2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности» и ГОСТ 10180–2014 путем отбора проб цементного раствора на месте ее изготовления и последующего твердения в нормальных условиях, отвечающих требованиям п. 2.3.2 ГОСТ 10180–2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний». 9.4. Акты освидетельствования скрытых работ оформляются по форме, оговоренной в актуализированном СП 48.13330.2011 «Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01–2004», должны составляться на заверченный процесс (анкер), выполненный самостоятельным подразделением исполнителей (комплексной бригадой) в течение смены. 9.5. Не допускается выполнение последующих работ при отсутствии оформленных актов на скрытые работы на заверченные технологические процессы по изготовлению анкеров ЭРСТ, не освидетельствованные техническим надзором заказчика. 9.6. Работы производить в соответствии с СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01–87»; СНиП 3.04.03–85 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии»; СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87»; СП 48.13330.2011 «Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01–2004»; СНиП 12-02–2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования»; СНиП 12-04–2002 «Строительное производство»; ТР 50-180–06 «Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполненных с использованием разрядно-импульсной технологии», ППР (проект производства работ). 9.7. Качество основных материалов определяется требованиями Градостроительного кодекса и Закона о техническом регулировании, что должно быть подтверждено сертификатами соответствия, государственным стандартом РФ. На расходные и вспомогательные материалы (вязальная проволока, долота, шнеки, пакля, электроды, монтажные детали, фиксаторы) сертификаты или паспорта качества не представляются</p>

№ п/п	Наименование пункта алгоритма	Этапы устройства буроинъекционных анкеров ЭРТ
10	Мероприятия по обеспечению нормальной эксплуатации конструкций, функционирования окружающей среды и безопасности на период производства работ	<p>10.1. Работы должны производиться с выполнением требований техники безопасности при производстве работ, пожарной безопасности и охраны окружающей среды. 10.2. На период производства работ не должно быть доступа посторонних лиц к строительным машинам, механизмам, оборудованию и конструкциям</p>

легкие и пылеватые, твердые и полутвердые (P3s+v); ИГЭ № 7 – мергели известковые, очень низкой прочности (P3s+v); ИГЭ № 8 – суглинки оползневые, легкие и пылеватые, от мягкопластичных до твердых (dpQ); ИГЭ № 9 – алевроиты оползневые, легкие и песчаные, от тугопластичных до полутвердых (dpQ); ИГЭ № 10 – пески мелкие, оползневые, рыхлые, влажные и водонасыщенные (dpQ); ИГЭ № 11 – глины оползневые легкие и пылеватые, от мягкопластичных до твердых (dpQ); ИГЭ № 12 – суглинки тяжелые и песчаные, тугопластичные и полутвердые (dpQ).

Гидрогеологические условия площадки до исследованной глубины (35 м) характеризуются наличием двух водоносных горизонтов подземных вод. Первый от поверхности водоносный горизонт ненапорных вод вскрыт скважинами на глубине 10,7–16,3 м в верхнепермских породах горизонта, в пределах плато и приурочен к подошве песчано-алевритовых отложений на контакте с водоупорными глинами и мергелями. В целом водоносный горизонт маломощный, локальный, невыдержанный, спорадического простирания, имеет преимущественно линзообразный характер, выклинивающийся вблизи склона или же теряющийся в нижележащих породах. Наличие данного водоносного горизонта не подтверждено скважинами выполненного заказа № 9723 в январе 2017 г., однако данный горизонт зафиксирован данными заказа № 468 в октябре 2016 г., что свидетельствует о сезонности в формировании данного водоносного горизонта. Питание горизонта происходит в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков и частично за счет перетока подземных вод с юга. Разгрузка осуществляется в нижний более глубокий горизонт подземных вод. Второй от поверхности горизонт ненапорных подземных вод вскрыт на глубине 2,5–6,3 м на склоне и 21,6–27,3 м в пределах плато (отм. +93,2–105,4 м). Подземные воды второго горизонта в основном межпластовые, безнапорные и приурочены к водопроницаемым прослоям песков, алевроитов, сильнотрещиноватых глин, залегающими между более плотными водоупорными слоями глины. Водоносный горизонт более выдержанный, вскрыт всеми скважинами в пределах плато и на оползневом склоне. Питание горизонта подземных вод площадки изысканий происходит в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков и частично за счет перетока подземных вод через гидрогеологические окна с верхнего водоносного горизонта. По степени агрессивного воздействия: **первый водоносный горизонт** –

слабоминерализованные, гидрокарбонатно-хлоридные, кальциевые, очень жесткие воды, неагрессивные к бетону нормальной водонепроницаемости марки W4 и слабоагрессивные к арматуре железобетонных конструкций по хлоридам+сульфатам. **Второй водоносный горизонт** имеет пресные воды, гидрокарбонатные, магниевые-кальциевые, жесткие, слабощелочные, слабоагрессивные к бетону нормальной водонепроницаемости марки W4 и неагрессивные к арматуре железобетонных конструкций.

Заглубленные железобетонные конструкции, используемые для укрепления оползневого склона, представляют собой буроинъекционные сваи ЭРТ диаметром 300 мм и длиной 25 м, по оголовкам которых устроен монолитный железобетонный ростверк (рис. 4, 6). Грунтовые анкера ЭРТ длиной $l = 24$ м пропущены через его тело (рис. 6). Узел крепления их к конструкции ростверка приведен на рис. 6 (узел 1). Технологический регламент устройства свай ЭРТ детально разработан и приведен в [11, 12]. В настоящей статье приведены основные позиции этого документа. Детально проработанный алгоритм устройства анкеров ЭРТ приведен в таблице.

Необходимо отметить, что грунтовый анкер ЭРТ является монолитной железобетонной конструкцией. Цементный раствор приготавливается на портландцементе М500 Д0 (без добавок) с водоцементным отношением В:Ц=0,5:1. Для армирования используется стержневая арматура А500С диаметром 36 мм. В качестве анкерной тяги применяется винтовая арматура диаметром 26,5 мм класса St950/1050 зарубежного производства.

Грунтовые анкера ЭРТ по условиям эксплуатации относятся к постоянным железобетонным конструкциям, используемым в течение длительного времени [13–20]. Поэтому в технологическом регламенте детально прописаны мероприятия по антикоррозионной защите стальных элементов и методы поэтапного контроля качества их изготовления.

Конструкция анкера ЭРТ и узлы крепления их к монолитному ростверку имеют на рис. 4–6.

Вывод. Разрядно-импульсная технология позволяет решить геотехнические задачи в сложных инженерно-геологических условиях с целью обеспечения устойчивости оползневого склона. При этом использование грунтовых анкеров ЭРТ совместно с буроинъекционными сваями ЭРТ позволяет существенно снизить стоимость укрепления склона по сравнению с консольными подпорными стенами.

Список литературы

1. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Гид по геотехнике. СПб.: Геореконструкция, 2012. 284 с.
2. Родионов В.Н., Сизов И.А, Цветков В.М. Основы геомеханики. М.: Недра, 1986. 301 с.
3. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Геореконструкция, 2010. 551 с.
4. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. М.: АСВ, 2009. 550 с.
5. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Высшая школа. 2007. 561 с.
6. Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2012. № 2. С. 17–20.
7. Соколов Н.С. Технологические приемы устройства буринъекционных свай с множественными уширениями // *Жилищное строительство*. 2016. № 10. С. 54–57.
8. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Опыт использования буринъекционных свай ЭРТ при ликвидации аварийной ситуации общественного здания // *Жилищное строительство*. 2016. № 12. С. 31–36.
9. Соколов Н.С., Никифорова Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Применение свай ЭРТ для ликвидации предаварийной ситуации при строительстве фундамента // *Геотехника*. 2016. № 5. С. 54–60.
10. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Об одном методе расчета несущей способности буринъекционных свай ЭРТ // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2015. № 1. С. 10–13.
11. Соколов Н.С. Технология усиления основания фундаментов в стесненных условиях при надстройке четырех дополнительных этажей // *Строительные материалы*. 2018. № 7. С. 31–38.
12. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Случай использования электроразрядной технологии при усилении основания и фундаментов реконструируемого объекта // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 40–48.
13. Sokolov N.S. Ground anchor produced by electric discharge technology, as reinforced concrete structure // *Key Enginiring Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 75–81.
14. Sokolov N.S. Use of the Piles of Effective Type in Geotechnical Construction // *Key Enginiring Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 70–74.
15. Sokolov N.S. One of geotechnological technologies for ensuring the stability of the boiler of the pit // *Key Enginiring Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 57–69.
16. Соколов Н.С. Один из подходов решения проблемы по увеличению несущей способности буровых свай // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 44–48.
17. Патент РФ № 2250957. Способ изготовления набивной сваи / Соколов Н.С., Таврин В.Ю., Абрамушкин В.А. Заявл. 14.07.2003. Оpubл. 27.04.2005. Бюл. № 12.
18. Соколов Н.С. Прогноз осадок большеразмерных фундаментов при повышенном давлении на основания // *Жилищное строительство*. 2018. № 4. С. 3–8.
19. Соколов Н.С. Электроимпульсная установка для изготовления буринъекционных свай // *Жилищное строительство*. 2018. № 1–2. С. 62–65.
20. Патент РФ № 2250958. Устройство для изготовления набивной сваи / Соколов Н.С., Таврин В.Ю., Абрамушкин В.А. Заявл. 14.07.2003. Оpubл. 27.04.2005. Бюл. № 12.
2. Rodionov V.N., Sizov I.A, Tsvetkov V.M. Fundamentals of geomechanics. Moscow: Nedra. 1986. 301 p.
3. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitiya gorodov [Geotechnical maintenance of development of the cities]. Saint Petersburg: Georekonstrukciya. 2010. 551 p.
4. Ter-Martirosyan Z.G. Mekhanika gruntov [Mekhanik of soil]. Moscow: ASV. 2009. 550 p.
5. Ukhov S.B. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty [Mechanics of soil, basis and base]. Moscow: Vysshaya shkola. 2007. 561 p.
6. Ilyichev V.A., Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Experience of development of under-ground space of policies Russian mega. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2012. No. 2, pp. 17–20. (In Russian).
7. Sokolov N.S. Technological methods of installation of boredinjection piles with multiple enlargements. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 10, pp. 54–57. (In Russian).
8. Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Experience in the use of bored-injection piles ert when eliminating emergency situation of a public building. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 12, pp. 31–36. (In Russian).
9. Sokolov N.S., Nikiforova N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Application svay-ERT for elimination of a pre-emergency at construction of the base. *Geotechnica*. 2016. No. 5, pp. 54–60. (In Russian).
10. Sokolov N.S., Ryabinov V.M. About one method of calculation of the bearing capability the bored-injection piles-ERT. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2015. No. 1, pp. 10–13. (In Russian).
11. Sokolov N.S. Technology of reinforcing the foundation of foundations in cramped conditions with the addition of four additional floors. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. № 7, pp. 31–38. (In Russian).
12. Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. The case of using electric discharge technology with reinforcement of the foundation and foundations of the reconstructed object. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 40–48. (In Russian).
13. Sokolov N.S. Ground anchor produced by electric discharge technology, as reinforced concrete structure. *Key Enginiring Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 75–81.
14. Sokolov N.S. Use of the piles of effective type in geotechnical construction. *Key Enginiring Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 70–74.
15. Sokolov N.S. One of geotechnological technologies for ensuring the stability of the boiler of the pit. *Key Enginiring Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 57–69.
16. Sokolov N.S. One of the approaches to solving the problem of increasing the bearing capacity of drilling piles. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 44–48. (In Russian).
17. Patent RF 2250957. Sposob vozvedeniya nabivnoi svai [The method of production of a stuffed pile]. Sokolov N.S., Tavrin V.Yu., Abramushkin V.A. Declared 14.07.2003. Published 27.04. 2005. Bulletin No. 12. (In Russian).
18. Sokolov N.S. Forecast of settlement of large-size foundations at high pressures on the base. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 4, pp. 3–8. (In Russian).
19. Sokolov N.S. Electro-impulse device for installation of bored-injection piles. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 1–2, pp. 62–65. (In Russian).
20. Patent RF 2250958. Ustroistvo dlya izgotovleniya nabivnoi svai [The device for production of a stuffed pile]. Sokolov N.S., Tavrin V.Yu., Abramushkin V.A. Declared 14.07.2003. Published 27.04. 2005. Bulletin No. 12. (In Russian).

References

1. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Gid po geotekhnike [Geotechnical guide]. Saint Petersburg: Georekonstrukciya. 2012. 284 p.

А.А. ГУВАЛОВ¹, д-р техн. наук (abbas.guvalov@akkord.az);

Т.В. КУЗНЕЦОВА², д-р техн. наук (tkouzn@mail.ru); С.И. АББАСОВА¹, канд. техн. наук

¹ Азербайджанский архитектурно-строительный университет (AZ 1073, Республика Азербайджан, г. Баку, ул. Айны Султановой, 5)

² Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (125047, г. Москва, Миусская пл., 9)

Повышение эффективности цементных вяжущих с использованием кремнеземсодержащего модификатора

Исследовано влияние смеси микродисперсного силикатного компонента на активность цемента. Микродисперсный силикатный компонент является отходом алюминиевого производства и состоит из высокоактивного силикатного геля и тонкодисперсного кварца. Предложен способ его введения в сырьевую смесь вяжущего. Оптимизация количества, особенности введения силикатного компонента в цементную систему и условия твердения вяжущего позволяют регулировать его активность, способствуют интенсификации процессов гидратации клинкерных минералов, а также связыванию портландита в дополнительное количество гидросиликатов кальция C–S–H, что в свою очередь приводит к упрочнению структуры цементного камня. Использование силикатного компонента в комплексе с суперпластификаторами позволяет увеличить прочность бетона на 40–50%.

Ключевые слова: минеральные добавки, вяжущее, эффективность, портландцемент, силикатный компонент, гидратация, бетон.

Для цитирования: Гувалов А.А., Кузнецова Т.В., Аббасова С.И. Повышение эффективности цементных вяжущих с использованием кремнеземсодержащего модификатора // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 56–59. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-56-59>

A.A. GUVALOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (abbas.guvalov@akkord.az);

T.V. KUZNETSOVA², Doctor of Sciences (Engineering) (tkouzn@mail.ru); S.I. ABBASOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering)

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

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

Improving the Efficiency of Cement Binders with the Use of Silica-Containing Modifier

The influence of a mixture of micro-disperse silicate component on the activity of cement is investigated. The micro-disperse silicate component is a waste of aluminum production and consists of a highly active silicate gel and finely dispersed quartz. A method for its introduction into the raw mixture of the binder is proposed. Optimization of the amount, the features of the introduction of the silicate component in the cement system and the conditions of hardening of the binder make it possible to regulate its activity, contribute to the intensification of hydration of clinker minerals, as well as bind the Portlandite in an additional amount of calcium hydro-silicates C–S–H, which in turn leads to the hardening of the structure of cement stone. In the complex, the use of the silicate component with superplasticizers makes it to increase the strength of concrete by 40–50%.

Keywords: mineral additives, binder, efficiency, Portland cement, silicate component, hydration, concrete.

For citation: Guvalov A.A., T. Kuznetsova.V., Abbasova S.I. Improving the efficiency of cement binders with the use of silica-containing modifier. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 56–59. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-56-59> (In Russian).

Развитие строительного материаловедения требует создания высокоэффективных полифункциональных вяжущих композиций. Одним из наиболее эффективных способов повышения качества вяжущего является применение природных и техногенных минеральных добавок различного происхождения [1–4]. В последнее время имеются многочисленные исследования по использованию тонкодисперсных материалов для модификации структуры цементных композиций [5–7]. При этом изменяются процессы гидратации и твердения цемента, улучшается структура цементного камня и повышаются механические свойства бетона. В связи с этим существует необходимость проводить исследования по управлению структурообразованием цементных систем с применением материалов полифункционального действия. В настоящее время широко применяется эффективная цементная композиция, полученная с применением минеральных добавок на нанодисперсном уровне [1, 5]. В этом направлении проведены многочисленные исследования по разработке и применению природных и искусственных кремнеземсодержащих материалов для производства вяжущих смесей [7].

Целью настоящей работы является исследование влияния силикатного компонента, состоящего из микро- и нанодисперсных частиц, на фазовый состав новообразований и микроструктуры цементного камня, а также на прочностные характеристики бетонов с применением органоминеральных модификаторов.

В исследовании как минеральный компонент применялись отходы алюминиевого производства в виде смеси, состоящей из высокоактивного силикатного геля и тонкодисперсного кварца (смесь микро- и наноконпонента).

Применяемый минеральный компонент получен путем обработки каолиновой глины серной кислотой (концентрация 40%) при температуре 90°C в течение 1 ч. Затем каолиновая глина термически обрабатывается при 700°C в течение 3 ч. Данную суспензию фильтруют и после отделения алюминия получают смесь в виде отхода, состоящего из силикатного геля и тонкодисперсного кварца при соотношении 1:1,2.

Основные характеристики силикатного отхода представлены в табл. 1.

Для изучения влияния силикатного отхода на активность цементных вяжущих в исследованиях был ис-

Таблица 1
Основные характеристики микро- и нанодисперсного силикатного отхода

Показатель	Единица измерения	Свойства
Плотность	кг/м ³	1800–2000
Дисперсность (остаток на сите № 0,063)	%	0,5
pH среда	pH	8
Влажность	%	18

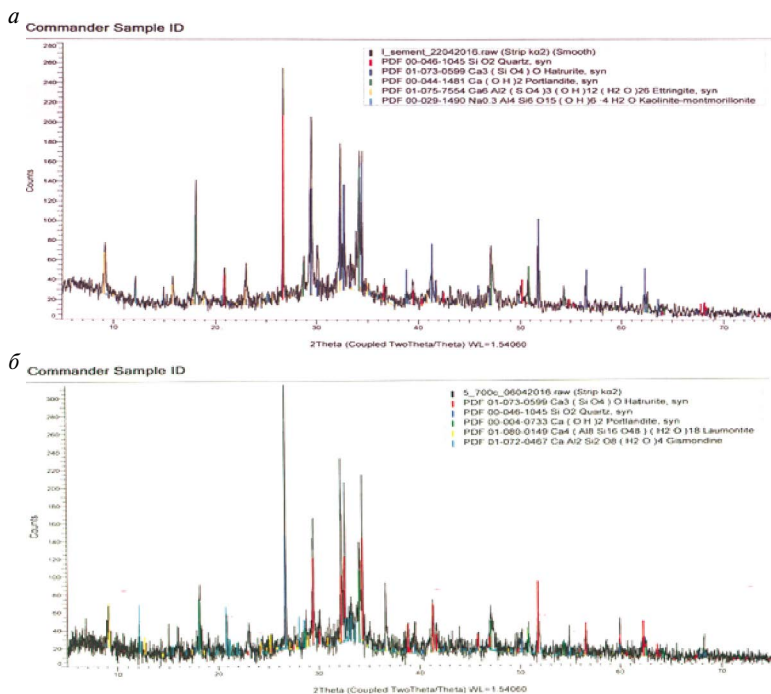


Рис. 1. Рентгенограмма цементного камня при твердении в течение 28 сут: а – контрольный; б – с добавкой силикатного компонента

Таблица 2

Физико-химические характеристики цемента

Показатели	ЦЕМ I 42,5 Н
Минералогический состав, %	
– C ₃ S	65
– C ₂ S	19
– C ₃ A	6
– C ₄ AF	10
– CaSO ₄ · 2H ₂ O	4
Физические характеристики:	
– удельная поверхность, м ² /кг	320
– нормальная густота, %	28
– сроки схватывания, ч–мин	
начало	2–20
конец	3–05
– активность, МПа	51

Таблица 3

Влияние силикатного компонента на свойства цемента

Состав вяжущего, %		Прочность при сжатии, МПа	
Цемент	Силикатный компонент	7 сут	28 сут
100	0	20	52
90	10	21	56
85	15	22	58
80	20	26	60
75	25	19	48

Таблица 4

Влияние силикатного компонента на прочность цемента после изотермической выдержки

Состав вяжущего, %		Прочность, МПа	
Цемент	Силикатный компонент	При изгибе	При сжатии
100	0	2	39
90	10	1,9	42
85	15	2,3	43
80	20	2,5	46
75	25	1,9	36

пользован цемент ЦЕМ I 42,5 Н (Holcim). Химический состав и физические характеристики цемента приведены в табл. 2.

С целью получения однородной сырьевой смеси предварительно силикатный отход смешивали с общим количеством воды для затворения вяжущего и в виде суспензии вводили в цементно-песчаное вяжущее. Данный способ позволяет избежать агрегации тонкодисперсных частиц и способствует равномерному распределению силикатного отхода по всему объему смеси.

Для определения активности вяжущего, модифицированного силикатным отходом, были изготовлены образцы размером 40×40×160 мм. Испытания проводили на образцах вяжущего, состоящего из портландцемента и кварцевого песка в соотношении 1:3 по массе при водотвердом отношении 0,5. Силикатный отход вводился в количестве 10–25% от массы цемента. В качестве контрольных образцов были приняты составы без содержания силикатного компонента. Образцы твердели в пропарочной камере по режиму 3+6+3 ч с изотермической выдержкой при температуре 85°С и в ванне с гидравлическим затвором при относительной влажности воздуха более 90%.

Разработана органоминеральная добавка на основе силикатного компонента и суперпластификатора для высокопрочного бетона. Полученную органоминеральную добавку вводили в количестве 10–25% от массы портландцемента для приготовления бетонной смеси состава

вом (кг): цемент – 450; песок (модуль крупности 2) – 400; отсев (модуль крупности 3,2) – 550; щебень (фр. 5–20) – 900; вода – в количестве, необходимом для получения 1 м³ бетонной смеси с подвижностью П5.

Введение силикатного компонента сопровождается повышением прочности цементного камня как в нормальных условиях, так и при пропаривании (табл. 3, 4). Следует отметить, что увеличение концентрации силикатного компонента до 20 мас. % при одновременном сокращении цемента в составах вяжущего приводит к увеличению прочности смеси. Дальнейшее увеличение силикатного компонента приводит к уменьшению прочности образцов по сравнению с показателями прочности контрольных образцов. При введении силикатного компонента прочность вяжущего в нормальных условиях твердения через 28 сут увеличивается на 15% по сравнению с контрольным (табл. 3).

Через 12 ч после пропаривания повышение прочности образцов с добавкой составляет 18% по сравнению с контрольными образцами. Это объясняется тем, что силикатный гель, входящий в состав отхода алюминиевого производства, ускоряет процесс гидратации цементных минералов, а также направленно регулирует процесс структурообразования при твердении цемента (табл. 4). Кроме того, микродисперсный кварц уплотняет микроструктуру твердеющего цемента как структурообразующий компонент, что согласуется с мнениями авторов [5–9].

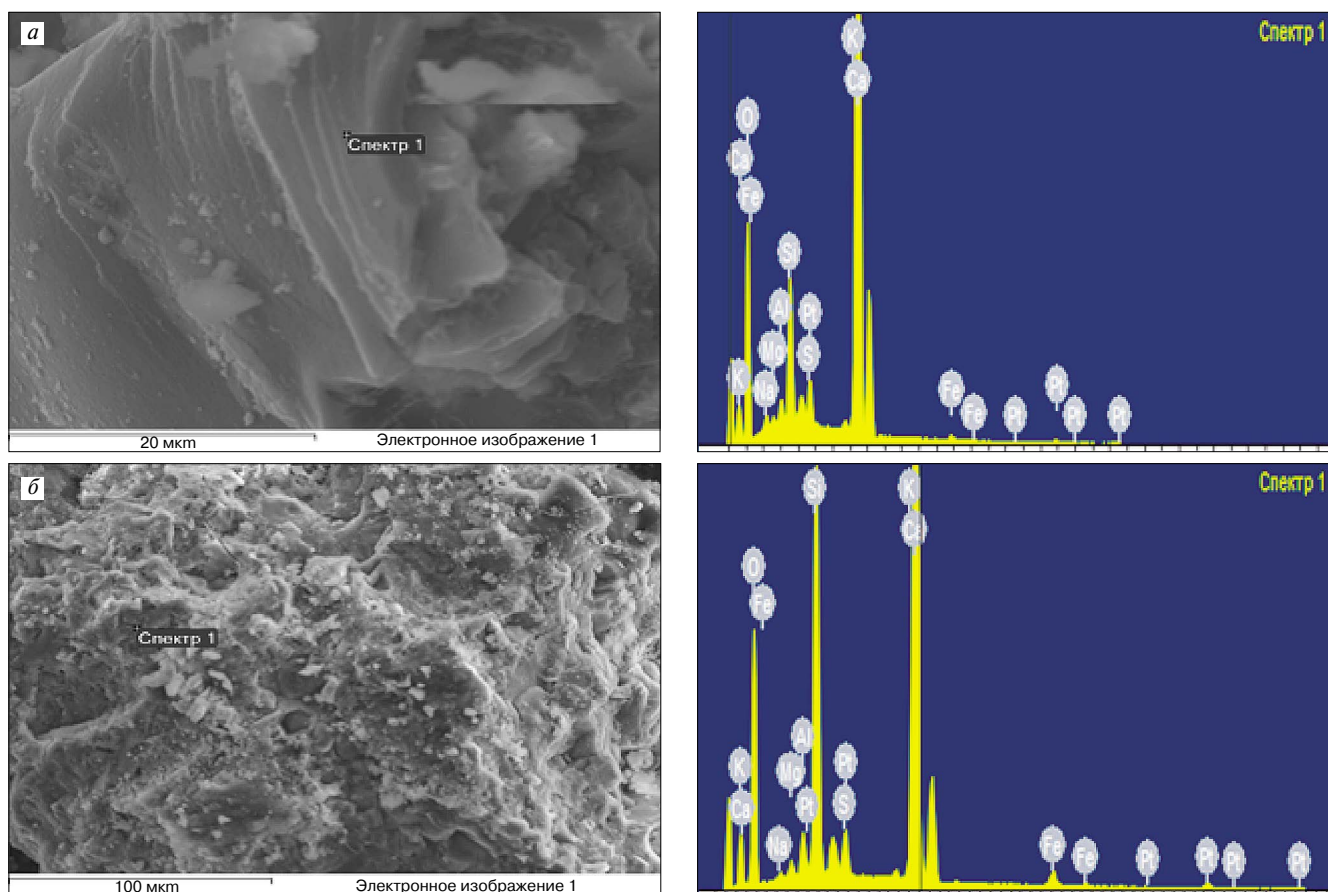


Рис. 2. Микроструктура образцов через 28 сут твердения: а – цементный камень; б – цементный камень с 10% силикатным компонентом

Таблица 5

Влияние органоминерального модификатора на свойства бетона

Состав бетонных смесей, кг/м ³						Осадка конуса, см	Прочность при сжатии, МПа	
Цемент	Песок	Отсев	Щебень	Вода	Модификатор		1 сут	28 сут
450	400	550	900	180	0	16	25,5	59,1
405	400	550	900	135	45	23	40,62	85,69
360	440	550	900	125	90	23	42,58	88,67
315	400	550	900	120	112	23	38,33	87,53

Повышение прочности при введении силикатного компонента связано с изменениями в фазовом составе новообразований. Для изучения особенностей фазообразования при введении силикатного компонента в цементный композит были проведены рентгенофазовые исследования (РФА) образцов. Результаты рентгенофазового анализа образцов цементного камня (возраст 28 сут) свидетельствуют о достаточно высокой степени гидратации портландцемента, на что указывает сравнительно низкая интенсивность дифракционных отражений минерала алита. Несмотря на относительно большой срок твердения образцов и высокую пуццолановую активность минеральной добавки, в структуре цементного камня присутствует значительное количество минерала портландит. При этом интенсивность наиболее характерных дифракционных отражений минерала ($d=0,491; 0,311; 0,263; 0,193$ и $0,179$ нм) в структуре цементного камня с добавкой значительно снижается в сравнении с контрольным составом. Более высоко дисперсные частицы силикатного компонента интенсивно вступают в процессы химического взаимодействия (рис. 1) с выделяющимся при гидратации портландцемента $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и связываются в гидросиликатные новообразования ($d=0,304; 0,280; 0,182$ нм).

Изучение сколов цементного камня в возрасте 28 сут в электронном сканирующем микроскопе и определение элементного химического состава наиболее характерных новообразований с помощью рентгеновского микроанализатора показали, что структура бездобавочного цементного камня неоднородна, имеет блочный характер и представлена слабокристаллизованными прослойками высокоосновных гидросиликатов кальция с отношением $\text{CaO}/\text{SiO}_2=2-2,3$, включающими скопления кристаллов портландита (рис. 2, а). Неоднородная структура затвердевшей системы является причиной более низкой прочности контрольного состава. При введении силикатного компонента формируется плотная однородная структура преимущественно из гидросиликатов кальция пониженной основности $\text{CaO}/\text{SiO}_2=1,2-1,3$. Мелкокристаллический портландит обнаруживается только в замкнутых порах, что говорит о его кристаллизации уже после формирования основной структуры цементного камня (рис. 2, б).

По результатам электронно-микроскопического анализа можно судить, что силикатный гель, вступая в реакцию с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образует игольчатый гидросиликат, который играет армирующую роль и за счет этого повышается прочность модифицированного цементного камня.

Для увеличения эффективности модификаторов в регулировании свойств бетонных смесей применяются органоминеральные добавки [9–11]. Авторами разработана комплексная органоминеральная добавка, состоящая из высокоактивного силикатного компонента, силикатного геля при соотношении силикатный гель:тонкодисперсный кварц, равном 1:1,2, а в качестве органической добавки – натриевая соль антраценовых сульфокислот [10]. Комплексная органоминеральная добавка содержит следующее соотношение компонентов, мас. %: силикатный гель – 40–45; тонкодисперсный кварц – 48–54; натриевая соль антраценовых сульфокислот – остальное.

Комплексную органоминеральную добавку для бетона получают путем совместного смешивания высокоактивного силикатного компонента, выбранного из отходов в соотношении силикатный гель:тонкодисперсный кварц – 1:1,2, и органической добавки в виде натриевой соли антраценовых сульфокислот в смесителе принудительного действия с последующим измельчением в шаровой мельнице в течение 1 ч.

Список литературы

1. Низина Т.А., Балбалин А.В. Влияние минеральных добавок на реологические и прочностные характеристики цементных композитов // *Вестник ТГАСУ*. 2012. № 2. С. 148–153.
2. Кузнецова Т.В., Гувалов А.А., Аббасова С.И. Модификатор на основе цеолитсодержащей породы для получения цементных композиций // *Техника и технология силикатов*. 2016. Т. 3. № 1. С. 22–24.
3. Collepardi M., Olagot J.J., Ogoumah R. Troli Combination of silica fume, fly ash and amorphous nanosilica in superplasticized high-performance concretes. *The VII AIMAT Congress*, 2004. Italy, pp. 100–108.
4. Hou P., Kawashima S., Wang K. Effects of colloidal nanosilica on rheological and mechanical properties of fly ash-cement mortar // *Cement and Concrete Composites*. 2013. Vol. 35, pp. 12–22.
5. Коротких Д.Н., Артамонова Е.М., Чернышов Е.М. О требованиях к наномодифицирующим добавкам для высокопрочных цементных бетонов // *Нанотехнологии в строительстве: Научный интернет-журнал*. 2009. № 2. С. 42–49. http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_2_2009_RUS.pdf (дата обращения 28.09.2018).
6. Гувалов А.А., Кузнецова Т.В., Аббасова С.И. Улучшение структуры высокопрочного бетона с применением модификаторов // *Строительные материалы*. 2015. № 1. С. 78–80.
7. Quercia G., Brouwers H.J.H. Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures. *8-th fib PhD Symposium in Kgs. Lyngby, Denmark*. June 20–23, 2010.
8. Баженов Ю.М., Чернышев Ю.М., Коротких Д.Н. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 6–14.
9. Кузнецова Е.Ф. Эффективные литые бетоны с использованием отходов камнеобработки. Дисс ... канд. техн. наук. Кострома, 2014. 149 с.
10. Гувалов А.А., Кузнецова Т.В., Аббасова С.И. Эффективность модификаторов в регулировании свойств бетонных смесей // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 49–51.
11. Гувалов А.А., Аббасова С.И., Кузнецова Т.В. Улучшение структуры высокопрочного бетона с применением модификаторов // *Строительные материалы*. 2015. № 12. С. 78–80.

Органоминеральный модификатор применяется в количестве 10–25% от массы бетона. Это позволяет увеличить прочность бетона при сжатии на 40–50% (табл. 5). Кроме того, при оптимальном введении модификатора в бетонную смесь отмечается снижение ее водопотребности и повышение морозостойкости бетона.

Заключение.

Таким образом, повышение эффективности цементных вяжущих можно достичь за счет управления процессами структурообразования при применении смеси микро- и наноструктурированного силикатного компонента.

Оптимизация количества, особенности введения силикатного компонента в цементную систему позволяют регулировать его активность, способствуют интенсификации процессов гидратации клинкерных минералов, связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в дополнительное количество гидросиликатов кальция C-S-H , упрочняя микроструктуру цементного камня. В комплексе использование силикатного компонента с суперпластификаторами позволяет увеличить прочность бетона на 40–50%.

References

1. Nizina T.A., Balbalin A.V. Influence of mineral additives on the rheological and strength characteristics of cement composites. *Vestnik TGSU*. 2012. No. 2, pp. 148–159. (In Russian).
2. Kuznetsova T.V., Guvalov A.A., Abbasova S.I. Modifier based on zeolite-bearing rock for obtaining cement compositions. *Tehnika i tehnologiya silikatov*. 2016. Vol. 3. No. 1, pp. 22–24. (In Russian).
3. Collepardi M., Olagot J.J., Ogoumah R. Troli Combination of silica fume, fly ash and amorphous nanosilica in superplasticized high-performance concretes. *The VII AIMAT Congress*. 2004. Italy, pp. 100–108.
4. Hou P., Kawashima S., Wang K. Effects of colloidal nanosilica on rheological and mechanical properties of fly ash-cement mortar. *Cement and Concrete Composites*. 2013. Vol. 35, pp. 12–22.
5. Korotkikh D.N., Artamonova E.M., Chernyshov E.M. On the requirements for nanomodifying additives for high-strength cement concretes. *Nanotehnologii v stroitelstve: scientific Internet-journal*. 2009. No. 2, pp. 42–49. http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_2_2009_RUS.pdf (date of access 28.09.2018). (In Russian).
6. Guvalov AA, Kuznetsova TV, Abbasova S.I. Improvement of the structure of high-strength concrete with the use of modifiers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 1, pp. 78–80. (In Russian).
7. Quercia G., Brouwers H.J.H. Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures. *8-th fib PhD Symposium in Kgs. Lyngby, Denmark*. June 20–23, 2010.
8. Bazhenov Yu.M., Chernyshev Yu. M., Korotkikh D.N. Construction of the structures of modern concrete: defining principles and technological platforms. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 6–14. (In Russian).
9. Kuznetsova E.F. Effective cast concrete using wastestone-processing. *Kand. Diss. (Engineering)*. Kostroma. 2014. 149 p. (In Russian).
10. Guvalov A.A., Kuznetsova T.V., Abbasova S.I. Efficiency of modifiers in regulating the properties of concrete mixtures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 49–51. (In Russian).
11. Guvalov A.A., Abbasova S.I., Kuznetsova T.V. Improving the structure of high-strength concrete with the use of modifiers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 12, pp. 78–80. (In Russian).



Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий



19–21 сентября 2018 г. в столице Республики Беларусь прошла IX Международная научно-практическая конференция «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий». Ее организаторами являются Российская гипсовая ассоциация, Московский государственный строительный университет и Научно-исследовательский институт строительной физики. Конференция проводилась при поддержке Министерства строительства и архитектуры и Союза строителей Республики Беларусь.

Генеральным спонсором конференции выступила компания КНАУФ, которая в этом году отмечает 25-летие производственной деятельности в России. Генеральный информационный спонсор – научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы»®.

На крупнейший гипсовый форум, который проводится один раз в два года, приехали более 300 участников из 20 стран – руководители и ведущие специалисты предприятий – производителей гипсового вяжущего и материалов на основе гипса, машиностроительных и инжиниринговых компаний.

Следует отметить, что гипсовое производство является наукоемким и высокотехнологичным. В этой области строительного материаловедения ведутся обширные научные исследования, их результаты востребованы производством. Это определяет высокий научный уровень конференции. В ее работе приняли участие ведущие ученые из вузов России, стран СНГ и Европы.

В ходе пленарных заседаний было заслушано более 30 докладов и сообщений, с которыми выступили ведущие ученые, представители промышленных предприятий, крупнейшие производители оборудования из Германии, Франции, Финляндии, Турции и др.

Традиционно участники с нетерпением ожидают аналитические доклады по состоянию отрасли. Постоянным партнером конференции является компания «Строительная информация» (Санкт-Петербург). В докладе Е. Потапенко была представлена статистическая информация по гипсовой отрасли, а также прогноз ее развития на краткосрочную перспективу.

В настоящее время в отрасли работает более 50 компаний (без учета предприятий, выпускающих только ССС на гипсовой основе). Полный цикл производства от добычи камня до конечных продуктов осуществляют 17 компаний, 41 предприятие производит гипсовое вяжущее, 13 – выпускают ГКЛ, 18 – пазогребневые плиты. Не менее 105 компаний производят ССС на основе гипса.

Наиболее проблемным направлением в настоящее время является выпуск гипсокартонных листов (ГКЛ), который высоко концентрирован – из 13 производителей шесть заводов входят в группу КНАУФ, три завода принадлежат Корпорации «Волма». Совокупная мощность всех предприятий составляла на конец 2017 г. 500 млн м².

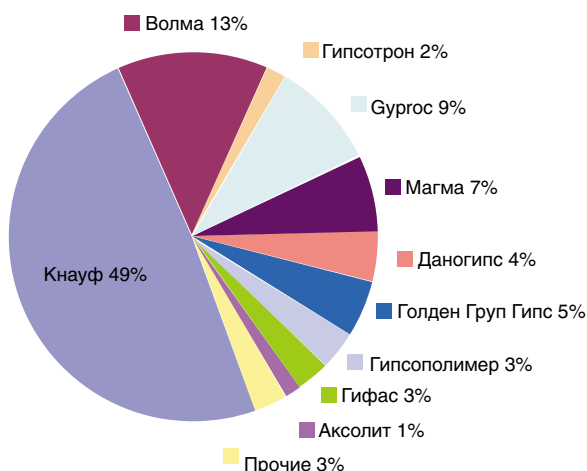
Среди гипсовых материалов рынок ГКЛ начал падать первым, в 2014 г. падение составило 3%, в 2015 г. – 12%. С 2015 г. отмечается стабильность рынка на уровне около 260 млн м². В 2017 г. объем производства составил 256 млн м² (-3%), объем потребления – 237 млн м² (-1%).

Объем экспорта ГКЛ в 2017 г. упал по сравнению с 2016 г. на 12% (21 млн м²). На этом уровне прогнозируется его стабилизация на ближайшие два года.

Высокая недозагруженность мощностей, которая составляет порядка 48%, и нестабильность рынка потребления негативно сказываются на рентабельности производства ГКЛ. За период с 2015 г. до настоящего времени средневзвешенная цена на ГКЛ упала с 92,3 до 78,2 р./м² на фоне постоянного роста стоимости энергоресурсов и транспортных расходов.



Доли наиболее крупных марок/производителей в общем объеме потребления ГКЛ в России в натуральном выражении, 2017 г.



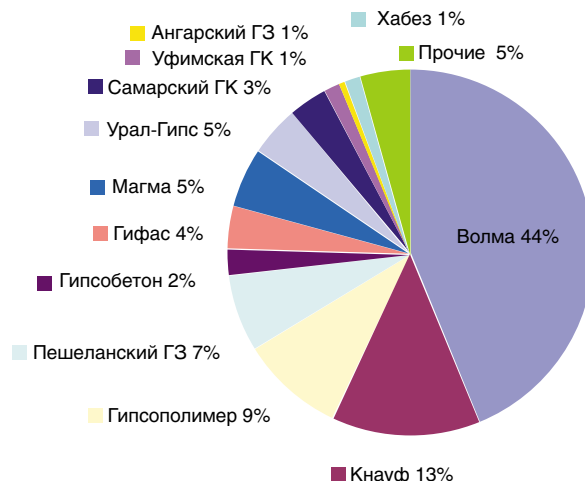
Пазогребневые гипсовые плиты (ПГП) в России выпускаются не менее чем на 24 производственных площадках, из которых пять принадлежат Корпорации «Волма», три – Группе КНАУФ. Совокупная мощность линий на конец 2017 г. составляла 21,5 млн м².

Объем выпуска и потребления ПГП в 2017 г. составил 11,5 млн м², что на 4% меньше, чем в 2016 г.

На ближайшую перспективу аналитики прогнозируют стабилизацию рынка ПГП на уровне 11,7 млн м². Некоторого роста производства и потребления можно ожидать в 2020 г.

Загрузка мощностей в данном сегменте гипсовых материалов составляет также около половины – 53%. С 2015 г. средневзвешенная цена за 1 м² ПГП упала с 591,8 до 521,4 р.

Доли наиболее крупных производителей в выпуске ПГП в России, 2017 г., в натуральном выражении



В производстве ССС на гипсовой основе ситуация относительно позитивная. После падения в 2014 г. производство и потребление смесей неуклонно растет и в 2017 г. составило 3,78 млн т. Дальнейший рост рынка прогнозируется на уровне 4–6% в год.

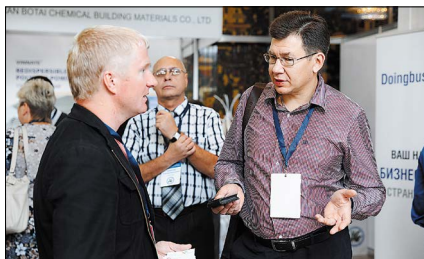
В настоящее время сформировались системные проблемы отрасли. Как уже указывалось, значительный избыток производственных мощностей и высокая концентрация рынка листов и плит обусловили интенсивную ценовую конкуренцию и соответственно падение рентабельности. А это, в свою очередь, снижает инвестиционную активность предприятий. Следует отметить, что данные проблемы присущи всей подотрасли гипсовых материалов в целом. Однако в ССС они завуалированы абсолютными показателями роста выпуска продукции.

На конференции активно обсуждался вопрос совершенствования нормативной базы. С обзором актуализированных нормативных документов на производство гипсовых вяжущих, сухих строительных смесей и изделий выступил А.П. Пустовгар (МГСУ).

И. Трифонова (КНАУФ) отметила, что в настоящее время нет нормативных документов на грунтовочные составы, хотя они являются неотъемлемым элементом отделки, во многом определяющим качество конечного покрытия. Поэтому в рамках СПССС принято решение о начале разработки ГОСТа на грунтовки.

Также компания КНАУФ разработала и гармонизировала с российским СП 71.13330–2017 «Изоляционные и отделочные покрытия» классификатор уровней качества подготовки поверхности под различные финишные покрытия – систему Q1-Q4. Это набор рекомендаций по подготовке и оценке качества поверхности в зависимости от различных видов финишных покрытий. Данная система дает возможность четко и однозначно определить уровни подготовки поверхности с учетом их назначения.





Слева направо: Л. Лось, руководитель службы корпоративных коммуникаций группы КНАУФ Восточная Европа и СНГ, д-р А. Блумгардт, уполномоченный по СНГ при управляющих партнерах группы КНАУФ, А. Бабкин, директор «КНАУФ Маркетинг» (Минск).

Председатель Российской гипсовой ассоциации Ю.А. Гончаров (слева) и президент совета партнерства Союза производителей извести О.Ю. Тарарыков

Как всегда, ряд докладов были посвящены совершенствованию технологии, использованию техногенных продуктов, снижению энергоемкости производства, разработке новых видов композиционных вяжущих.

Во время проведения конференции в состав Российской гипсовой ассоциации были приняты новые члены, среди которых Казанский государственный архитектурно-строительный университет, украинская компания «Памибро», компания «Петергоф» из Москвы и др.



В рамках подготовки к проведению конференции редакция журнала «Строительные материалы»[®] совместно с Российской гипсовой ассоциацией провела конкурс статей, посвященных гипсовой тематике. Итоги конкурса были объявлены на конференции. Победителям вручены дипломы

Выездная сессия конференции состоялась на новом заводе ОАО «БЕЛГИПС», расположенном в п. Гатово. Это современный производственный комплекс полного цикла, включающий производство гипсового вяжущего, гипсокартонных листов 30 млн м² в год, пазогребневых плит 500 тыс. м² в год, сухих строительных смесей 100 тыс. т в год.

В системе кальцинации на предприятии установлена мельница компании Claudius Peters EM59 производительностью 35 т/ч со статическим сепаратором, которая осуществляет в одном агрегате помол, сушку, кальцинацию и сепарацию. Короткое время нахождения материала в мельнице обеспечивает быструю реакцию кальцинации и равномерное качество продукции.

Установка кальцинации Claudius Peters EM59	Технические данные
Производительность установки	35 т/ч
Содержание связанной воды в продукте	≤ 5,8%
Тонкость продукта после мельницы Остаток на сите 90 микрон	< 25%
Потребление топлива (газ) при гипсе со свободной влагой 3% и чистоте 92%	≤ 970 кДж/кг
Расход электроэнергии	25,7 кВтч/т
Начало схватывания	> 6 мин
Температура гипсового вяжущего после охладителя	< 80°C



По завершении конференции ее участники получили незабываемый подарок от оргкомитета – посещение парка интерактивной истории «СУЛА»

Я.И. ВАЙСМАН¹, д-р мед. наук (eco@pstu.ru), Ю.А. КЕТОВ¹, магистр (ketov1992@list.ru);
В.С. КОРЗАНОВ², канд. хим. наук (kor494@yandex.ru), М.П. КРАСНОВСКИХ², магистр (krasnovskih@yandex.ru)

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

² Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15)

Особенности химии газообразования при одностадийном синтезе пеностекла из гидроксида и нитрата натрия

Рассмотрены вопросы газообразования при одностадийном синтезе силикатного пеностекла из нетрадиционных для стекловарения соединений натрия – гидроксида и нитрата. Методом синхронного термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией, выявлены отличия при силикатообразовании. Гидроксогруппы можно рассматривать как основу для газообразования при синтезе ячеистых стекол из аморфного оксида кремния и гидроксида натрия, а нитрогруппы – при синтезе ячеистых стекол из аморфного оксида кремния и нитрата натрия. Определено, что газообразование при синтезе силикатного стекла из гидроксида или нитрата натрия и аморфного оксида кремния может быть использовано для одностадийного вспенивания композиции и получения пеностекла. Добавление в исходную шихту углерода во всех случаях увеличивает объем образующихся газов за счет окисления углерода. На основании анализа масс-спектров газообразных продуктов сделаны выводы о составе образующихся газов при наличии в композиции углерода. В случае образования силикатов из гидроксида углерод окисляется парами воды до оксидов углерода. При синтезе стекла из нитратов оксид азота (II) восстанавливается до оксида азота (I). Получаемые ячеистые материалы при отсутствии углерода или его малом содержании имеют белый цвет, что расширяет области использования изделий на практике и допускает их применение в качестве облицовочно-теплоизоляционных материалов.

Ключевые слова: пеностекло, силикатные пеноматериалы, механизм газообразования, низкотемпературный синтез стеклофазы, синхронный термический анализ, масс-спектрометрия.

Для цитирования: Вайсман Я.И., Кетов Ю.А., Корзанов В.С., Красновских М.П. Особенности химии газообразования при одностадийном синтезе пеностекла из гидроксида и нитрата натрия // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 64–67.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-64-67>

Ya.I. VAYSMAAN¹, Doctor of Medical Sciences (eco@pstu.ru), Yu.A. KETOV¹, Master (ketov1992@list.ru);

V.S. KORZANOV², Candidate of Sciences (Chemistry) (kor494@yandex.ru), M.P. KRASNOVSKIKH², Master (krasnovskih@yandex.ru)

¹ Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Prospect, Perm, 614990, Russian Federation)

² Perm State National Research University (15, Bukireva Street, Perm, 614990, Russian Federation)

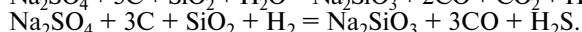
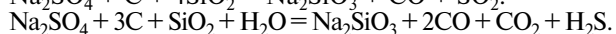
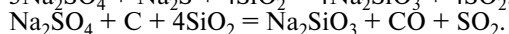
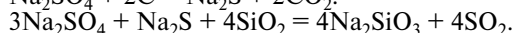
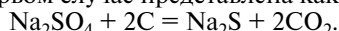
Features of Gas Formation Chemistry at Single-Stage Synthesis of Foam Glass from Hydroxide and Sodium Nitrate

Issues of the gas formation at the single – stage synthesis of silicate foam glass from non-traditional glass-making compounds of sodium hydroxide and nitrate are considered. The method of synchronous thermal analysis combined with mass spectroscopy revealed differences in silicate formation. The hydroxyl groups can be considered as a basis for gas formation when synthesizing cellular glasses from amorphous silicon oxide and sodium hydroxide, and nitro groups when synthesizing cellular glasses from amorphous silicon oxide and sodium nitrate. It is determined that the gas formation when synthesizing the silicate glass from sodium hydroxide or nitrate and amorphous silicon oxide can be used for single-stage foaming the composition and obtaining the foam glass. The addition of carbon to the initial charge in all cases increases the volume of gases produced due to the oxidation of carbon. On the basis of the analysis of the mass spectra of gaseous products, conclusions are made about the composition of the resulting gases in the presence of carbon in the composition. In the case of the formation of silicates from hydroxide, carbon is oxidized by water vapor to carbon oxides. When glass is synthesized from nitrates, nitric oxide (II) is restored to nitric oxide (I). The resulting cellular materials in the absence of carbon or its low content are white, which expands the use of products in practice and makes it possible to use them as cladding and heat insulation materials.

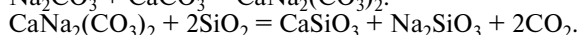
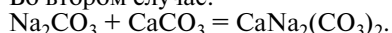
Keywords: foam glass, silicate foam materials, mechanism of gas formation, low temperature synthesis of glass phase, synchronous thermal analysis, mass-spectroscopy.

For citation: Vaysman Ya.I., Ketov Yu.A., Korzanov V.S., Krasnovskih M.P. Features of gas formation chemistry at single-stage synthesis of foam glass from hydroxide and sodium nitrate. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 64–67. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-64-67> (In Russian).

В теории синтеза ячеистого стекла или пеностекла рассматриваются преимущественно два варианта газообразования в предварительно подготовленной стеклообразной матрице: окислительно-восстановительная реакция восстановления сульфат-иона углеродом и разложение карбонатов, обычно карбоната кальция. Химическая основа процессов давно описана [1] и в первом случае представлена как сумма реакций:



Во втором случае:



Поэтому именно карбонатные и сульфатные газо-

образователи при синтезе пеностекла были представлены в [2] и во многом подтвердили предлагаемый химизм процесса в части выделяющихся газов. Однако существенным отличием в таком процессе получения ячеистого стекла является идея совмещения синтеза стекла с его вспениванием, для чего необходимо использовать оксид кремния в аморфной модификации. Такое состояние оксида кремния позволяет существенно снизить температуру стеклообразования. Действительно, в классической теории стекловарения выделяют пять стадий процесса [3]: силикатообразование, стеклообразование, дегазация, гомогенизация и студка. Предлагаемая замена кристаллического оксида кремния на аморфный позволяет фактически частично совместить температурные интервалы силикатообразования и стеклообразования, избежав удаления из стекломассы газов при дегазации и гомогенизации.

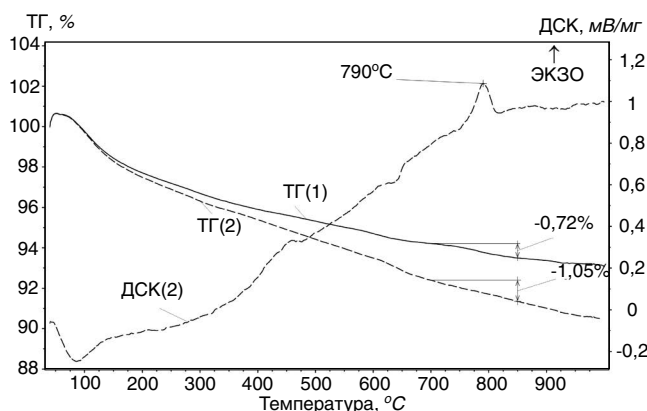


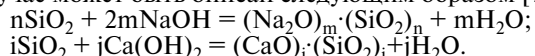
Рис. 1. Результаты синхронного термического анализа смеси аморфного оксида кремния с гидроксидом натрия (1) и смеси аморфного оксида кремния с гидроксидом натрия и углеродом (2)

Тем не менее в классическом варианте газообразования при производстве пеностекла рассматриваются только карбонатный и сульфатный механизмы газообразования, характерные для стекловарения. Однако можно расширить представление о химизме синтеза пеностекла и поставить вопрос об использовании иных газообразователей, компоненты которых способны одновременно участвовать в синтезе стекла. С этой точки зрения следует обратить внимание на гидроксиды и нитраты, которые при термообработке будут частично удаляться из композиции в форме воды в первом случае и в форме азота или оксидов азота во втором случае. Действительно, можно найти указания на возможности протекания этих процессов.

В исследовании [4] показано, что гидроксиды и нитраты могут реагировать с кварцем с выделением газообразных продуктов при температуре 400–1200°C, причем мелкодисперсный кварц с размером частиц 5–195 мкм переходит в аморфное состояние при температуре даже ниже 800°C. В этом случае при определенных условиях возможно вспенивание и образование ячеистой структуры [5].

В общем случае наличие гидроксогрупп в сырьевых материалах всегда приводит к их удалению в виде паров воды в процессе термообработки. При этом с точки зрения химизма процесса не имеет существенного значения, каким образом гидроксид-ион оказывается в шихте — в форме индивидуального соединения или в результате гидратации поверхности стекла. Последнее обстоятельство было замечено еще в классической монографии Б.К. Демидовича [6], где процесс описывается как предварительная гидротермальная обработка молотого стекла. Автор отмечает, что обработка дисперсного стекла горячей водой в течение длительного времени (до нескольких суток) позволяет получить при термообработке вспененные композиции даже без введения в композицию посторонних газообразователей. Однако автор не развивает идею дальше и не выделяет пары воды в самостоятельный газообразователь при формировании ячеистой структуры.

Тем не менее гидроксогруппы можно рассматривать как основу для газообразования при синтезе ячеистых стекол из аморфного оксида кремния и гидроксида натрия. Химический процесс газообразования в общем случае может быть описан следующим образом [7]:



При этих условиях пары воды обладают окислительными свойствами по отношению к углероду, присутствующему в системе, что увеличивает объем выделяющихся газов в соответствии с реакциями:

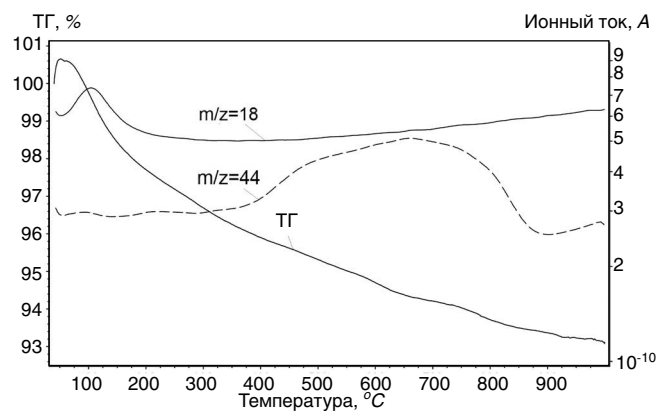
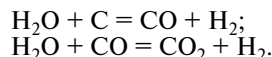


Рис. 2. Зависимость масс-спектральных ионных токов $m/z=18$ (вода) и $m/z=44$ (углекислый газ) от температуры в воздушной атмосфере смеси аморфного оксида кремния с гидроксидом натрия и углеродом



В результате открывается возможность для управления кажущейся плотностью получаемого ячеистого материала [8] и использования на практике этого эффекта [9].

Поэтому пары воды, образующиеся при взаимодействии оксида кремния с гидроксидом натрия, можно рассматривать как перспективный источник газообразования при синтезе ячеистого стекла. Другим таким реагентом могут служить нитрат-ионы в составе солей. Возможность применения нитрата натрия как натрий-содержащего сырья в стекловарении известна давно, но вследствие его сравнительно высокой стоимости и низкой температуры разложения данная соль применялась весьма ограниченно. Основным назначением нитрата натрия при добавлении в стекловаренную шихту было окисление расплава с целью перехода примесей в окисленную форму, например Fe^{2+} в Fe^{3+} . Так, в статье [10] показано, что при варке стекла на основе нитрата натрия активность последнего начинается с плавления соли при 307°C, а уже при 380°C происходит его разложение до нитрита с выделением кислорода.

Синтез натрий-силикатных стекол из нитрата натрия и аморфного оксида кремния возможен при сравнительно низкой температуре с применением золь-гель технологий [11]. Термообработка композиционных материалов, содержащих кремнегель и нитрат натрия, приводит к получению стекол при температуре до 950°C [12].

Техническая возможность эксплуатации выделяющихся при термообработке композиции, содержащей нитрат-ионы газов, используется на практике для вспенивания пиропластичной композиции и получения пеностекла [13]. Однако вопрос состава газов, особенно в присутствии восстановителя, остается открытым.

Поэтому задачей данной работы является исследование процессов синтеза стекла и газообразования при взаимодействии аморфного оксида кремния с гидроксидом натрия и нитратом натрия с целью прямого синтеза пеностекла.

В ходе работы изучены смеси гидроксида и нитрата натрия с аморфным диоксидом кремния в присутствии свободного углерода и без него с помощью прибора синхронного термического анализа STA 449 F1 (фирма NETZSCH, Германия), позволяющего проводить термическое исследование образца с одновременной регистрацией термогравиметрических и калориметрических характеристик. Анализ газообразных продуктов проводили на масс-спектрометре QMS 303 CF Aeolos (Германия). Обработку полученных результатов осуществляли на соответствующем приборам программном обеспечении.

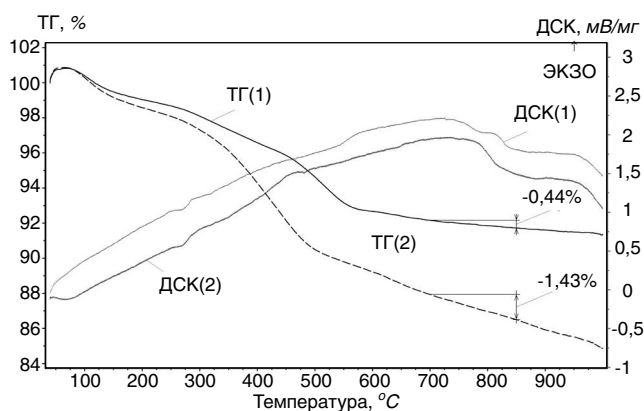


Рис. 3. Результаты синхронного термического анализа смеси аморфного оксида кремния с нитратом натрия (1) и смеси аморфного оксида кремния с нитратом натрия и углеродом (2) в воздушной атмосфере

Смесь кристаллического силикагеля, диспергированного до размера частиц менее 100 мкм и пропитанного раствором гидроксида, нагревали со скоростью 20°/мин до 1000°С в воздушной атмосфере в присутствии углерода и без него. Полученные кривые ТГ и кривая ДСК для образца, содержащего углерод, представлены на рис. 1.

На кривых ТГ прослеживается постепенное падение массы без явно выраженных ступеней, что характерно для образования полисиликатов. Кривая ДСК для смеси аморфного оксида кремния и гидроксида натрия не имеет явно выраженных пиков, поэтому на рисунке не показана. Образец, содержащий в своем составе дополнительный углерод, имеет слабый экзотермический пик с максимумом при 790°С. Вследствие того, что сама по себе реакция паровой конверсии углерода имеет суммарный тепловой эффект, близкий к изотермическому [14], регистрируемый экзотермический эффект можно отнести к окислению газообразных продуктов реакции парциального окисления, CO и H₂, кислородом воздуха.

Предположение о таком характере газообразования в описываемой смеси подтверждается данными синхронной масс-спектрографии, представленными на рис. 2.

Пары воды, характеризующиеся ионным током $m/z=18$, выделяются на протяжении всего температурного интервала с максимумом в температурной области кипения воды. После удаления физической воды происходит постепенное образование паров воды.

По достижении температуры ~400°С пары воды начинают окислять свободный углерод и в газовой фазе наблюдается углекислый газ с характерным ионным током $m/z=44$. Образование углекислого газа происходит вплоть до температуры ~900°С, пока не израсходуется весь углерод.

Очевидно, что при температуре, приемлемой для синтеза пеностекла, а именно в интервале 700–850°С, выделяется в присутствии углерода существенно большее количество газов (рис. 1). Падение массы в случае без углерода в смеси составляет 0,72 мас. %, а при наличии углерода – 1,05 мас. %. Очевидно, что такое количество образующихся газов может быть успешно использовано для вспенивания композиции в термопластичном состоянии.

Для другого рассматриваемого в данной статье компонента стекольной шихты – нитрата натрия процесс силикатообразования с точки зрения термогравиметрии выглядит сходным образом. Кривые ТГ и ДСК и ионных токов для смеси аморфного диоксида кремния с нитратом натрия при нагревании со скоростью 20°/мин до 1100°С в воздушной атмосфере представлены на рис. 3.

Кривые ДСК характеризуются слабыми эндотермическими пиками в области ~300°С, связанными, вероятно,

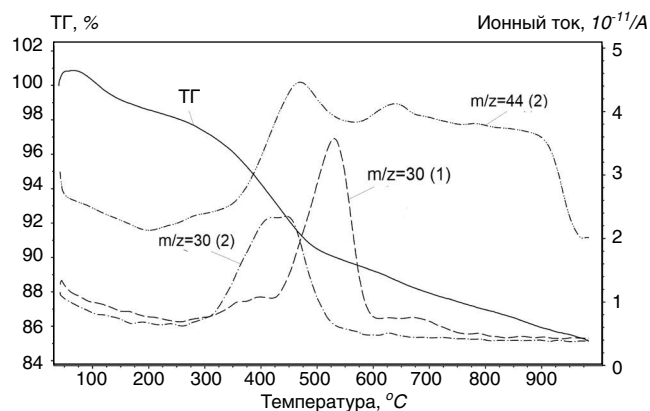


Рис. 4. Зависимость масс-спектральных ионных токов $m/z=30$ (NO) и $m/z=44$ (N₂O и CO₂) от температуры в воздушной атмосфере для смеси аморфного оксида кремния с нитратом натрия (1) и смеси аморфного оксида кремния с нитратом натрия и углеродом (2)

с плавлением нитрата натрия. Кривые ТГ имеют слабо-выраженную ступень в интервале 400–600°С. Возможно, в этой области происходит наиболее интенсивное силикатообразование и выделение газов, но использование этих газов для вспенивания композиции маловероятно вследствие высокой вязкости силикатов при данной температуре. Тем не менее в интересующем нас температурном интервале 700–850°С масса образца теряет с углеродом и без него соответственно 1,43 и 0,44 мас. %, что достаточно для вспенивания композиции.

Можно предположить, что основным образующимся газообразным продуктом будет оксид азота (II), что подтверждается данными масс-спектрографии (рис. 4).

Выделение оксида азота (II) происходит интенсивно начиная с температуры ~300°С, причем при наличии углерода в смеси количество образующегося газа существенно меньше. Этот эффект может быть объяснен переходом оксида азота (II) в низший оксид азота (I) вследствие окисления углерода. Это предположение подтверждается фиксируемым широким пиком ионного тока $m/z=44$, который соответствует одновременно оксиду азота (I) и оксиду углерода (IV) и зафиксирован в широком температурном интервале от 350 до 950°С для образца, содержащего углерод в исходной композиции. В то же время ток $m/z=44$ отсутствует для образца без углерода в исходной композиции.

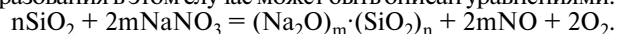
Как видно из результатов приведенного синхронного термического анализа, в случае применения гидроксида натрия в смеси с аморфным оксидом процесс силикатообразования сопровождается выделением паров воды по схеме:



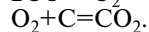
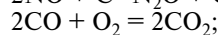
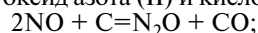
Количества образующихся паров воды принципиально достаточно для обеспечения вспенивания образующегося стеклообразного силиката в интервале приемлемой термопластичности.

Добавление в исходную композицию углерода приводит к окислению последнего парами воды и увеличению газообразования, что, в свою очередь, позволяет управлять кажущейся плотностью синтезируемого пеностекла.

Применение нитрата натрия в качестве натрийсодержащего сырьевого компонента при синтезе стекла также допускает газообразование в температурном интервале, характерном для синтеза пеностекла. Процесс силикатообразования в этом случае может быть описан уравнениями:



При наличии углерода в сырьевой смеси выделяющиеся оксид азота (II) и кислород окисляют углерод по схеме:



В результате в газообразных продуктах реакции фиксируются оксид азота (I) и углекислый газ, количества которых при температуре термопластичности достаточно для вспенивания композиции. Полученные материалы обладают белым цветом в отличие от пеностекла, синтезированного с применением углеродных газообразователей, что придает им новые потребительские свойства и открывает новые возможности по применению [15].

Выводы.

Установлено, что возможен одностадийный синтез пеностекла из аморфного оксида кремния и гидроксида натрия. Гидроксид натрия реагирует с оксидом кремния с образованием силиката, а выделяющихся паров воды достаточно для вспенивания композиции в пиропластичном состоянии. Аналогично для одностадийного синтеза пеностекла возможно применение смеси аморфного оксида кремния и нитрата натрия, термообработка которой приводит к выделению оксида азота (II) и кислорода, вспенивающих композицию.

Добавление в исходную шихту углерода во всех случаях увеличивает объем образующихся газов за счет окисления углерода, что может быть использовано для управления кажущейся плотностью синтезируемого пеностекла.

Получаемые ячеистые материалы при отсутствии углерода или его малом содержании имеют белый цвет, что расширяет области практического использования изделий и допускает их применение в качестве облицовочно-теплоизоляционных материалов.

Список литературы

1. Химическая технология стекла и ситаллов / Под ред. Н.М. Павлушкина М.: Стройиздат, 1983. 360 с.
2. Кетов А.А., Корзанов В.С., Красновских М.П. Особенности химии газообразования при одностадийном синтезе пеностекла из карбоната и сульфата натрия // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 27–31.
3. Технология стекла / Под ред. И.И. Китайгородского М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. 621 с.
4. Hrma P., Marcial J., Swearingen K.J., Henager S.H., Schweiger M.J., TeGrotenhuis N.E. Conversion of batch to molten glass, II: Dissolution of quartz particles // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2011. Vol. 357. Iss. 3, pp. 820–828.
5. Henager S.H., Hrma P., Swearingen K.J., Schweiger M.J., Marcial J., TeGrotenhuis N.E. Conversion of batch to molten glass, I: Volume expansion // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2011. Vol. 357. Iss. 3, pp. 829–835.
6. Демидович Б.К. Производство и применение пеностекла. Минск: Наука и техника, 1972. С. 209–211.
7. Ketov A. Glass cullet: a hard way for cellular glass from useless waste. OmniScriptum GmbH & Co. 2017. 61 p.
8. Вайсман Я.И., Кетов А.А., Кетов Ю.А., Молочко Р.А. Эффект окисления углерода парами воды при гидратном механизме газообразования при получении ячеистого стекла // *Журнал прикладной химии*. 2015. Т. 88. Вып. 3. С. 375–378.
9. Vaisman I., Ketov A., Ketov I. Cellular glass obtained from non-powder preforms by foaming with steam // *Ceramics International*. 2016. No. 42, pp. 15261–15268.
10. Бобкова Н.М., Трусова Е.Е. Строение сульфатсодержащих стекол и структурное состояние групп SO_3 в них // *Стекло и керамика*. 2017. № 5. С. 7–11.
11. Qiang Guo, Tao Wang. Study on preparation and thermal properties of sodium nitrate/silica composite as shape-stabilized phase change material // *Thermochimica Acta*. 2015. Vol. 613, pp. 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2015.05.023>

12. Adams L.A., Essien E.R., Adesalu A.T., Julius M.L. Bioactive glass 45S5 from diatom biosilica // *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. 2017. Vol. 2. Iss. 4, pp. 476–482. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2017.09.002>
13. Patent US 11798976. *Closed-cell foam silica*. Huston A.L., Justus B.I. Declared 18.05.2007. Published 20.11.2008.
14. Гусаченко Е.И., Кислов М.Б., Стесик Л.Н., Крестинин А.В. Особенности кинетики окисления однослойных углеродных нанотрубок водяным паром // *Химическая физика*. 2015. Т. 34. № 4. С. 92–98.
15. Кетов А.А. Перспективы пеностекла в жилищном строительстве // *Строительные материалы*. 2016. № 3. С. 79–81.

References

1. Khimicheskaya tekhnologiya stekla i sitallov. [Chemical technology of glass and glass crystal]. Under edition N.M. Pavlushkin. Moscow: Stroyizdat. 1983. 360 p.
2. Ketov A.A., Korzanov V.S., Krasnovskikh M.P. Peculiarities of gas formation chemistry in one-step synthesis of foamed glass using sodium carbonate and sodium sulfate. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 27–31. (In Russian).
3. Tekhnologiya stekla [The technology has flown down]. Under edition I.I. Kitaygorodskiy. Moscow: The state publishing house of literature on construction, architecture and construction materials. 1961. 621 p.
4. Hrma P., Marcial J., Swearingen K.J., Henager S.H., Schweiger M.J., TeGrotenhuis N.E. Conversion of batch to molten glass, II: Dissolution of quartz particles. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2011. Vol. 357. Iss. 3, pp. 820–828.
5. Henager S.H., Hrma P., Swearingen K.J., Schweiger M.J., Marcial J., TeGrotenhuis N.E. Conversion of batch to molten glass, I: Volume expansion. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2011. Vol. 357. Iss. 3, pp. 829–835.
6. Demidovich B.K. Proizvodstvo i primeneniye penostekla [Production and using of foamed glass]. Minsk: Nauka i tekhnika. 1972, pp. 209–211.
7. Ketov A. Glass cullet: a hard way for cellular glass from useless waste. OmniScriptum GmbH & Co. 2017. 61 p.
8. Vaisman Ya. I., Ketov A. A., Ketov Yu. A., Molochko R. A. Oxidation of carbon by water vapor in hydrate gas-formation mechanism in manufacture of cellular glass. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2015. Vol. 88. No. 3, pp. 382–385. (In Russian).
9. Vaisman I., Ketov A., Ketov I. Cellular glass obtained from non-powder preforms by foaming with steam. *Ceramics International*. 2016. No. 42, pp. 15261–15268.
10. Bobkova N.M., Trusova E.E. Structure of the sulphate-containing glasses and a structural condition of the SO_3 groups inside them. *Steklo i keramika*. 2017. No. 5, pp. 7–11. (In Russian).
11. Qiang Guo, Tao Wang. Study on preparation and thermal properties of sodium nitrate/silica composite as shape-stabilized phase change material. *Thermochimica Acta*. 2015. Vol. 613, pp. 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2015.05.023>
12. Adams L.A., Essien E.R., Adesalu A.T., Julius M.L. Bioactive glass 45S5 from diatom biosilica. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. 2017. Vol. 2. Iss. 4, pp. 476–482. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2017.09.002>
13. Patent US 11798976. *Closed-cell foam silica*. Huston A.L., Justus B.I. Declared 18.05.2007. Published 20.11.2008.
14. Gusachenko E.I., Kislov M.B., Stesik L.N., Krestinin A.V. Features of the kinetics of oxidation of single-walled carbon nanotubes with steam. *Khimicheskaya fizika*. 2015. Vol. 34. No. 4, pp. 92–98. (In Russian).
15. Ketov A.A. Perspectives of foam glass in residential construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 3, pp. 79–81. (In Russian).

В.Н. КУПРИЯНОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН (kuprivan@kgasu.ru),

А.М. ЮЗМУХАМЕТОВ, инженер (aynur.yuzmuhametov@mail.ru)

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

Разработка математической модели теплопроводности сухой и влажной минеральной ваты

Известно, что влажность материалов в ограждающих конструкциях непостоянна в течение года, в соответствии с чем изменяются теплозащитные качества ограждений. Расчетные параметры влажностных условий эксплуатации А и Б не характеризуют реальных теплопотерь зданий. Исходя из этого изучали теплопроводность минеральной ваты в зависимости от ее пористости и влажности. Экспериментально определенные значения теплопроводности минеральной ваты анализировали с использованием теории эффективных сред. Минеральную вату рассматривали как смесь трех фаз: твердой (базальтовые волокна), газообразной (воздух) и жидкой (вода). Разработана математическая модель теплопроводности минеральной ваты, которая позволяет оценить теплопроводность в широких интервалах плотности и влажности по одному экспериментальному определению теплопроводности для образца одной выбранной плотности построить графическую зависимость теплопроводности для минеральной ваты любой плотности в широком диапазоне ее влажности.

Ключевые слова: минеральная вата, теплопроводность, влажность, плотность, пористость, математическая модель.

Для цитирования: Куприянов В.Н., Юзмухаметов А.М. Разработка математической модели теплопроводности сухой и влажной минеральной ваты // *Строительные материалы*. 2018. № 11. С. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-68-72>

V.N. KUPRIYANOV, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAACS (kuprivan@kgasu.ru),
A.M. YUZMUHAMETOV, Engineer (aynur.yuzmuhametov@mail.ru)

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

Development of Mathematical Model of Heat Conductivity of Dry and Wet Mineral Wool

It is known that the moisture content of materials in the enclosing structures is not constant throughout the year, whereby the heat-shielding qualities of the enclosures change. The calculated parameters of the humid operating conditions A and B do not characterize the real heat loss of buildings. Design parameters of humidity operating conditions A and B do not characterize the real heat loss of buildings. Based on this, the thermal conductivity of mineral wool was studied depending on its porosity and humidity. Experimentally determined values of thermal conductivity of mineral wool were analyzed using the theory of effective media. Mineral wool was considered as a mixture of three phases: solid (basalt fibers), gaseous (air) and liquid (water). A mathematical model of thermal conductivity of mineral wool was developed, which makes it possible to estimate the thermal conductivity in wide density and humidity intervals by one experimental determination of thermal conductivity for a sample of one selected density and to construct a graphical dependence of thermal conductivity for mineral wool of any density in a wide range of its humidity.

Keywords: mineral wool, thermal conductivity, humidity, density, porosity, mathematical model.

For citation: Kupriyanov V.N., Yuzmuhametov A.M. Development of mathematical model of heat conductivity of dry and wet mineral wool. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 11, pp. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-765-11-68-72> (In Russian).

Теплоизоляционные изделия из минеральной ваты широко используют в ограждающих конструкциях зданий. Эти изделия имеют малую массу, высокие теплозащитные свойства, они негорючи и весьма устойчивы к коррозионным процессам.

Основной теплозащитной характеристикой минеральной ваты является коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С), который зависит от средней плотности ρ , кг/м³, и диаметра волокон. При увеличении плотности от 25 до 180 кг/м³ коэффициент теплопроводности «сухих» материалов возрастет от 0,035 до 0,045 Вт/(м·°С). При изменении диаметра волокон от 3 до 25 мкм, по данным Е. Миллера и Б.Н. Кауфмана («Теплопроводность строительных материалов». М.: Стройиздат, 1952. 159 с.), коэффициент теплопроводности возрастет на 11–30%, причем в пределах ρ от 100 до 325 кг/м³ это возрастание не зависит от плотности.

Влажность изделий из минеральной ваты в эксплуатационных условиях возрастает за счет сорбции влаги из воздуха, конденсации водяного пара, а при конструктивных нарушениях в ограждающих конструкциях и за счет атмосферной влаги. При расчетах теплозащиты зданий по СП 50.13330.2012 это обстоятельство учитывается условиями эксплуатации ограждающих конструкций, которые зависят от влажностного режима помещений и зоны влажности места строительства. В приложении к СП 50.13330.2012 при условии А ми-

нераловатные материалы в ограждении имеют влажность 2 мас. %, а при условии Б – 5 мас. %. В то же время в техническом свидетельстве на минераловатный материал № 5129–17 расчетные массовые отношения влаги в материалах для условий А и Б составляют соответственно 1 и 2%. Однако указанные значения не характеризуют реальное влажностное состояние материалов ограждающих конструкций в эксплуатационных условиях.

Во-первых, влажностное состояние материалов в ограждениях зависит не только от влажностного режима помещений и зоны влажности места строительства, но также от конструкции ограждения, взаимного расположения его функциональных слоев и материалов этих слоев [1, 2]. Расчетно-экспериментальными исследованиями [3, 4] установлено, что относительная влажность воздуха в порах материалов ограждений в течение года может находиться в интервале от 20–100%. В соответствии с этими значениями относительной влажности воздуха изменяется сорбционное увлажнение материалов. В цитируемых работах для исследованного вида минеральной ваты с $\rho_{\text{ср}} = 89$ кг/м³ зафиксировано изменение влажности в интервале 0,05–23 мас. % [5].

Изменение теплопроводности при увеличении влажностного содержания для различных материалов имеет свои особенности. Как показано в работах авторов Е. Шильда, Х-Ф. Кассельмана и др. (Строительная физика.

М.: Стройиздат, 1982. 296 с.), а также К.Ф. Фокина (Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.), при увеличении влагосодержания на 1% величина коэффициента теплопроводности λ возрастает в среднем на 20% для керамического кирпича и 2% для пенополистирола и неорганических волоконистых материалов. При этом резкое увеличение теплопроводности наблюдается при низком влагосодержании. В интервале влажности 0–3 мас. % при увеличении влагосодержания на 1% теплопроводность керамического кирпича возрастет на 30%, а керамзитобетона – на 8%. В работах [6, 7] вводится понятие «коэффициент теплотехнического качества» η , которым определяется прирост теплопроводности материалов $\Delta\lambda$ при увеличении его влажности на 1% по отношению к теплопроводности сухого материала λ_0 : $\eta = \Delta\lambda / \lambda_0$. Для минеральной ваты $\eta = 0,04$. В работе [8] прирост теплопроводности влажных минераловатных материалов рассматривается с учетом их гидрофильных свойств.

Определение изменчивости теплопроводности минеральной ваты в широком интервале ее влажности становится весьма важной задачей для оценки эффективности расчетов по теплозащите и энергосбережению в зданиях.

Зависимость теплопроводности минеральной ваты λ от ее влажности может быть построена экспериментально с использованием различных приборов, например ИТС-1. При этом образцы материала выдерживают в камерах с различной относительной влажностью воздуха до равновесного состояния или в воде и взвешивают перед испытанием. Процедуру повторяют для материалов с разной плотностью, а результат зависит от квалификации оператора.

Наибольший интерес представляет получение математической модели зависимости λ от параметров минеральной ваты (различной плотности) и ее влагосодержания. Подобные математические модели разрабатывались А. Миснармом (Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций. М.: Мир, 1968. 464 с.), Л.Л. Васильевым, С.А. Танаевой (Теплофизические свойства пористых материалов. Минск: Наука и техника, 1971. 268 с.), а также в работе [9] для различных гетерогенных материалов (бетонов и порошковых материалов). В этих работах структура заполнителей представлялась в виде сфер, кубов, эллипсоидов, пирамид, скрепленных цементным тестом или раствором. Волокнистые материалы в этих работах не рассматривали. В статье [10] рассматривается измерение основных физических и теплофизических свойств минеральной ваты с последующим определением эффективной теплопроводности с помощью метода гомогенизации, основанного на теории эффективных сред.

Теплопроводность сухой минеральной ваты

Физическая модель минеральной ваты в сухом состоянии представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из хаотично расположенных минеральных волокон в единице объема, а остальную часть этого объема занимает воздух (рис. 1).

Чем больше количество волокон размещено в единице объема, тем выше средняя плотность минеральной

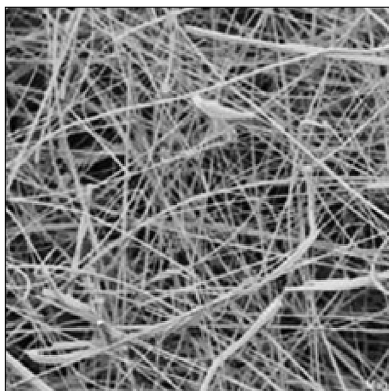
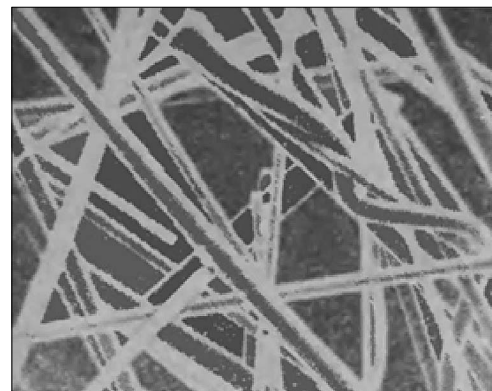


Рис. 1. Структура минеральной ваты



ваты ($\rho_{\text{ср}}$, кг/м³) и тем ниже ее пористость (P , % или доли единицы).

Величина пористости минеральной ваты определяется формулой:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_{\text{гп}}}\right) \cdot 100, \% \quad (1)$$

где $\rho_{\text{ср}}$ – средняя плотность минеральной ваты, кг/м³; $\rho_{\text{гп}}$ – средняя плотность горной породы, из которой произведены волокна, кг/м³.

В качестве минеральной основы для производства волокон используют известняк, доломит, базальт и другие горные породы.

Зависимость теплопроводности минеральной ваты от ее пористости представлена на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что если единица объема заполнена массивом горной породы, то теплопроводность будет равна теплопроводности горной породы $\lambda_{\text{гп}}$, а если весь объем заполнен воздухом, то теплопроводность будет равна теплопроводности воздуха $\lambda_{\text{в}}$. Действительное значение теплопроводности минеральной ваты $\lambda_{\text{д}}$ будет занимать промежуточное положение.

При этом вклад $\lambda_{\text{гп}}$ в действительное значение теплопроводности минеральной ваты будет пропорционален ее плотности в относительных единицах $(1-P)$, а вклад

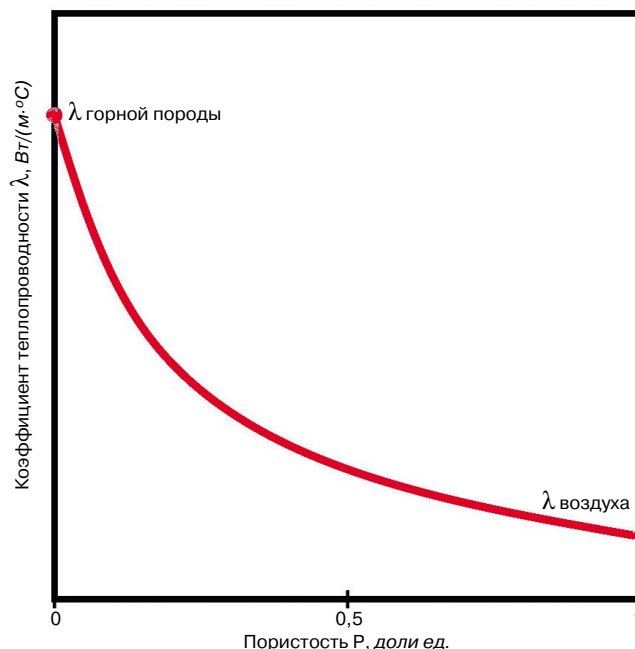


Рис. 2. Зависимость теплопроводности минеральной ваты от ее пористости

λ_b пропорционален пористости материала в относительных единицах (P). Соответственно сумма плотности $(1-P)$ и пористости (P) равна единице. Вклад $\lambda_{гп}$ будет зависеть также от ориентации волокон. Если волокна расположены вдоль направления теплового потока, то их вклад в действительное значение теплопроводности минеральной ваты будет больше, чем при поперечном расположении волокон. Этот факт легко объясним, так как $\lambda_{гп}$ намного превышает λ_b .

Эти представления позволили сформировать оценку теплопроводности минеральной ваты λ_d , если условно разделить хаотичное расположение волокон на два направления: вдоль и поперек направления теплового потока:

$$\lambda_d = a \cdot \lambda_{||} + b \cdot \lambda_{\perp}, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}, \quad (2)$$

где $\lambda_{||}$ и λ_{\perp} — соответственно теплопроводность минеральной ваты при расположении волокон параллельно и перпендикулярно тепловому потоку. Коэффициенты a и b — условные доли вклада $\lambda_{||}$ и λ_{\perp} в общую теплопроводность, $a + b = 1$:

$$\lambda_{||} = \lambda_{гп} (1-P) + \lambda_b \cdot P, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)} \quad (3)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1-P}{\lambda_{гп}} + \frac{P}{\lambda_b}, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}. \quad (4)$$

Коэффициенты a и b в общем виде не определяются, но могут быть оценены для конкретного материала.

Пример 1. Рассмотрим образец сухой минеральной ваты из базальтовых волокон плотностью $\rho_{ср} = 89 \text{ кг/м}^3$. Для базальта $\rho_{гп} = 2800 \text{ кг/м}^3$ и $\lambda_{гп} = 3,49 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$. Теплопроводность минеральной ваты определена на приборе ИТС-1 как средняя из пяти образцов $\lambda_{мв} = 0,037 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$.

Пористость минеральной ваты из базальта составит:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_{ср}}{\rho_{гп}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{89}{2800}\right) \cdot 100 = 97\%, \text{ или } 0,97.$$

Теплопроводность минеральной ваты при расположении волокон в направлении теплового потока:

$$\lambda_{||} = 3,49(1-0,97) + 0,026 \cdot 0,97 = 0,1299, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)},$$

Теплопроводность минеральной ваты при расположении волокон поперек теплового потока:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1-0,97}{3,49} + \frac{0,97}{0,026} = 0,0268, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}.$$

Коэффициенты a и b определяют методом последовательного сближения экспериментальных и расчетных данных при выполнении условия $a + b = 1$.

$$0,037 = a \cdot 0,1299 + b \cdot 0,0268, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}, \text{ тогда:} \quad (5)$$

при $a = 0,2$ и $b = 0,8$ дает величину $\lambda_d = 0,047$;

при $a = 0,1$ и $b = 0,9$ дает величину $\lambda_d = 0,037$;

при $a = 0,5$ и $b = 0,95$ дает величину $\lambda_d = 0,032$.

Равенство (5) выполняется при $a = 0,1$ и $b = 0,9$, а формула (2) примет вид:

$$\lambda_d = 0,1 \cdot \lambda_{||} + 0,9 \cdot \lambda. \quad (6)$$

Формула (6) позволяет построить графическую зависимость теплопроводности сухой минеральной ваты при различных соотношениях ее плотности $(1-P)$ и пористости P (рис. 3).

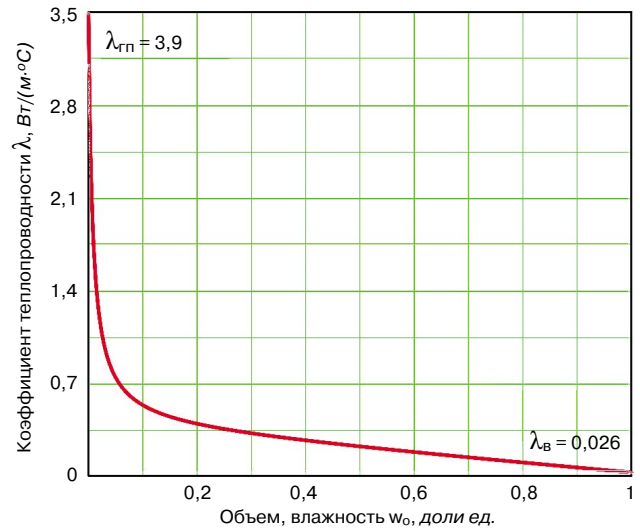


Рис. 3. Зависимость теплопроводности сухой минеральной ваты от ее пористости

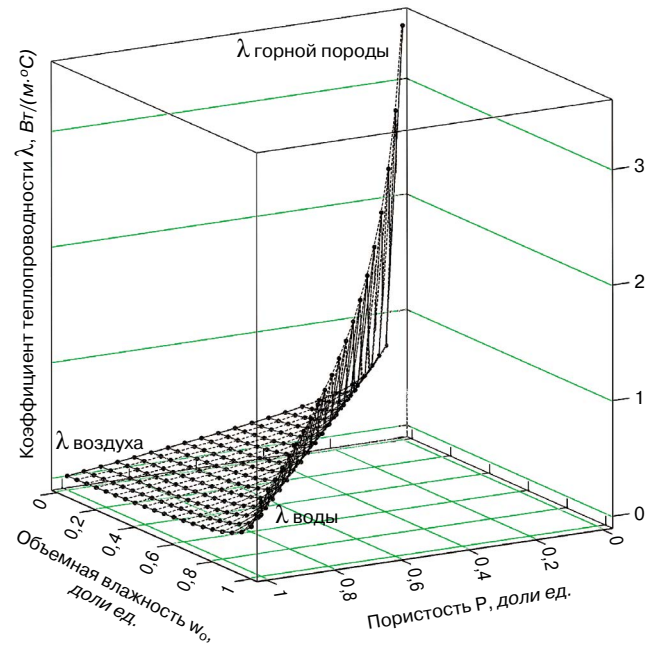


Рис. 4. Зависимость теплопроводности влажной минеральной ваты от ее пористости и объемной влажности

Теплопроводность влажной минеральной ваты

В эксплуатационных условиях ограждающих конструкций минеральная вата содержит, как правило, то или иное количество влаги за счет сорбции ее из воздуха или конденсации водяного пара. Любое количество влаги, находящееся в материале, увеличивает его теплопроводность за счет того, что теплопроводность воды $0,55 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ в 20 раз выше теплопроводности воздуха $0,026 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$.

Двухкомпонентная модель сухой минеральной ваты (объем минеральных волокон и объем воздушных пор) преобразуется в трехкомпонентную модель, в которой объем воздушных пор частично замещается объемом влаги. В этом случае действительная теплопроводность минеральной ваты λ_d будет определяться объемом минеральных волокон $(1-P)$ с $\lambda_{гп}$, объемом воздушных пор $(P-w)$ с λ_b и объемом воды w с теплопроводностью воды

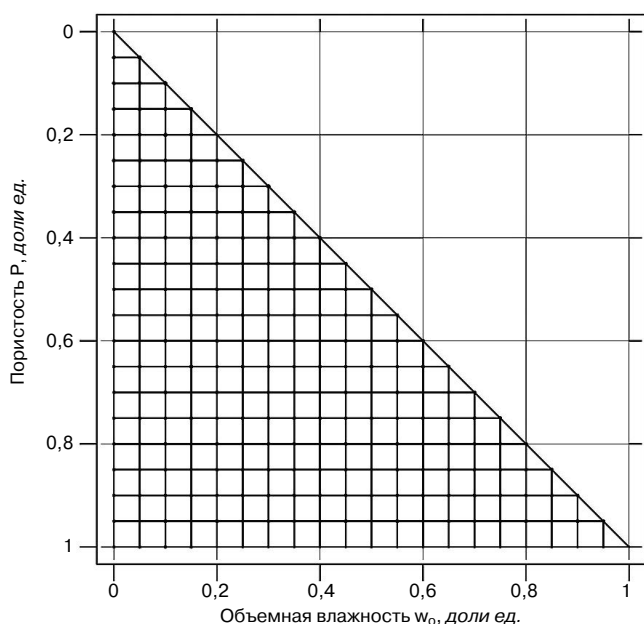


Рис. 5. Область данных зависимости теплопроводности влажной минеральной ваты от ее пористости и объемной влажности

λ_w в соответствии с соотношениями этих объемов. Корректировкой формул (3) и (4) получаем зависимости для влажного материала:

$$\lambda_{||} = \lambda_{гп} \cdot (1-P) + \lambda_{в} \cdot (P-w_o) + \lambda_w \cdot w_o, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}; \quad (7)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1-P}{\lambda_{гп}} + \frac{P-w_o}{\lambda_{в}} + \frac{w_o}{\lambda_w}, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}, \quad (8)$$

где w_o – объемная влажность материала, доли ед.

Обобщенная формула для теплопроводности влажной минеральной ваты остается неизменной – (2).

Пример 2. Рассмотрим тот же образец минеральной ваты с $\rho_{ср}=89 \text{ кг/м}^3$, который выдержан в нормальных температурно-влажностных условиях помещения до равновесной сорбционной влажности. Определим массовую влажность материала $w_{мас}=0,62\%$, а по формуле, рекомендуемой К.Ф. Фокиным, переведем ее в объемную влажность $w_o, \%$:

$$w_o = \frac{w_{в} \cdot \rho_{ср}}{1000} = \frac{0,62 \cdot 89}{1000} = 0,055, \%, \text{ или } 0,0055 \text{ доли ед.}$$

Список литературы

1. Береговой А.М., Береговой В.А. Температурно-влажностное состояние наружных ограждений в условиях фазовых переходов влаги и агрессивных воздействий среды // *Региональная архитектура и строительство*. 2017. № 3 (32). С. 99–104.
2. Куприянов В.Н., Сафин И.Ш. Влияние наружных облицовочных слоев на процессы конденсации паробразной влаги в ограждающих конструкциях // *Приволжский научный журнал*. 2014. № 1. С. 46–51.
3. Иванцов А.И., Куприянов В.Н. Режим эксплуатации многослойных стеновых ограждающих конструкций как основа прогнозирования их срока службы // *Известия КГАСУ*. 2014. № 3 (29). С. 32–40.
4. Петров А.С., Куприянов В.Н. Влажностное состояние ограждающих конструкций с учетом переменного значения паропроницаемости материалов // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 40–44.

Теплопроводность влажного образца определена экспериментально как средняя из пяти образцов на приборе ИТС-1: $\lambda_{ср}=0,0426 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$.

Определим $\lambda_{||}$ и λ_{\perp} по формулам (7) и (8):

$$\lambda_{||} = 3,49(1-0,97) + 0,026 \cdot (0,97-0,0055) + 0,55 \cdot 0,0055 = 0,1328, \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)};$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1-0,97}{3,49} + \frac{0,97-0,0055}{0,026} + \frac{0,0055}{0,55} = 37,1146;$$

$$\lambda = 0,0269 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$$

Коэффициенты a и b определим методом последовательного сближения экспериментальных и расчетных данных при выполнении условия $a + b = 1$:

$$0,0426 = a \cdot 0,1328 + b \cdot 0,0269, \text{ тогда} \quad (9)$$

при $a = 0,1$ и $b = 0,95$ дает величину $\lambda_d = 0,03749$;

при $a = 0,15$ и $b = 0,85$ дает величину $\lambda_d = 0,04276$;

при $a = 0,2$ и $b = 0,8$ дает величину $\lambda_d = 0,0481$.

Равенство (9) выполняется при $a = 0,15$ и $b = 0,85$, а формула (2) примет вид:

$$\lambda_d = 0,15 \cdot \lambda_{||} + 0,85 \cdot \lambda. \quad (10)$$

Формула (10) позволяет построить графическую зависимость теплопроводности влажной минеральной ваты при различных соотношениях ее пористости P и объемной влажности w_o (рис. 4). Следует отметить, что объемная влажность не может превышать величину пористости. В связи с этим рис. 4 занимает половину квадрата, разделенного по диагонали (рис. 5).

Заключение

Разработанная математическая модель для сухой минеральной ваты позволяет по одному экспериментальному определению теплопроводности для образца одной выбранной плотности построить графическую зависимость теплопроводности для сухой минеральной ваты любой плотности.

Разработанная математическая модель для влажной минеральной ваты позволяет по одному экспериментальному определению теплопроводности и объемной влажности для образца одной выбранной плотности построить графическую зависимость теплопроводности для минеральной ваты любой плотности в широком интервале ее влажности.

References

1. Beregovoi A.M., Beregovoi V.A. Temperature-moisture state of external enclosure structures in the conditions of phase transitions of moisture and aggressive impact of the environment. *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo*. 2017. No. 3 (32), pp. 99–104. (In Russian).
2. Kupriyanov V.N., Safin I.Sh. Influence of external facing layers on processes of condensation of vaporous moisture in the protecting designs. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2014. No. 1, pp. 46–51. (In Russian).
3. Ivantsov A.I., Kupriyanov V.N. The mode of operation of the multilayered wall protecting designs as basis of forecasting of their service life. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 3 (29), pp. 32–40. (In Russian).
4. Petrov A.S., Kupriyanov V.N. Moisture condition of enclosing structures with due regard for variable value of vapor permeability of materials. *Stroitel'nye Materialy*

5. Куприянов В.Н., Юзмухаметов А.М., Сафин И.Ш. Исследование закономерностей переноса водяного пара через ограждение на модельных образцах // *Вестник ПТО РААСН*. 2018. Вып. 21. С. 169–175.
6. Павленко Н.В., Пастушков П.П., Хархардин А.Н., Войтович Е.В. Исследование взаимосвязи структурных и тепловлажностных характеристик на примере пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего // *Вестник СибАДИ*. 2016. № 6 (52). С. 80–86.
7. Пастушков П.П., Павленко Н.В., Коркина Е.В. Использование расчетного определения эксплуатационной влажности теплоизоляционных материалов // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 4 (60). С. 168–172.
8. Milena Jiricková, Zbysek Pavlik, Lukas Fiala, Robert Cerny. Thermal Conductivity of Mineral Wool Materials Partially Saturated by Water // *International Journal of Thermophysics*. 2006. Vol. 27. Iss. 4, pp. 1214–1227. DOI: 10.1007/s10765-006-0076-8
9. Drochytka R., Zach J., Hroudova J. Non-destructive testing of influence of moisture on properties of autoclaved aerated concrete // *E-Journal of Nondestructive Testing*. 2011. URL: http://www.ndt.net/article/ndtnet/2011/36_Zach.pdf (дата обращения: 05.05.2018).
10. Antepara I., Fiala L., Pavlik Z. Moisture dependent thermal properties of hydrophilic mineral wool: application of the effective media theory // *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2015. Vol. 21. No. 3, pp. 449–454.
- [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 40–44. (In Russian).
5. Kupriyanov V.N., Yuzmukhametov A.M., Safin I.Sh. Research of regularities of transfer of water vapor through a protection on model samples. *Vestnik PTO RAASN*. 2018. No. 21, pp. 169–175. (In Russian).
6. Pavlenko N.V., Pastushkov P.P., Kharkhardin A.N., Voitovich E.V. Study of relationship of structural and steam curing characteristics in nanostructured binder based foam concrete. *Vestnik SibADI*. 2016. No. 6 (52), pp. 80–86. (In Russian).
7. Pastushkov P.P., Pavlenko N.V., Korkina E.V. The use of a nominal definition operational humidity of insulating materials. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2015. No. 4 (60), pp. 168–172. (In Russian).
8. Milena Jiricková, Zbysek Pavlik, Lukas Fiala, Robert Cerny. Thermal conductivity of mineral wool materials partially saturated by water. *International Journal of Thermophysics*. 2006. Vol. 27. Iss. 4, pp. 1214–1227. DOI: 10.1007/s10765-006-0076-8
9. Drochytka R., Zach J., Hroudova J. Non-destructive testing of influence of moisture on properties of autoclaved aerated concrete. *E-Journal of Nondestructive Testing*. 2011. URL: http://www.ndt.net/article/ndtnet/2011/36_Zach.pdf (дата обращения: 05.05.2018).
10. Antepara I., Fiala L., Pavlik Z. Moisture dependent thermal properties of hydrophilic mineral wool: application of the effective media theory. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2015. Vol. 21. No. 3, pp. 449–454.

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

Уважаемые авторы!

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

<https://journal-cm.ru/index.php/ru/avtoram>
<https://journal-cm.ru/index.php/ru/about-zhurnal?view=article&id=724:pravila-dlya-avtorov&catid=9>
<https://journal-cm.ru/index.php/ru/o-zhurnale/podgotovka-avtorskogo-rezyume>
<https://journal-cm.ru/index.php/ru/o-zhurnale/oformlenie-spiska-literatuy>

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

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

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

- рекомендательным письмом руководителя предприятия (института);
- лицензионным договором о передаче права на публикацию;
- распечаткой, лично подписанной ВСЕМИ авторами;
- рефератом объемом не менее **150–200 слов** на русском и английском языках;
- подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»[®], ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания;
- сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов (заполненная информационная карта).

Особое внимание библиографическим спискам!

Количество ссылок должно быть не менее 15–20.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.
2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

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.

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

22–25 января 2019 | Красноярск



ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В
XXVII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ВЫСТАВКЕ
**СТРОИТЕЛЬСТВО
АРХИТЕКТУРА**

**ВЕДУЩАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ И ИНТЕРЬЕРНАЯ ВЫСТАВКА
СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

Совместно с выставкой строительной и складской техники

«ТехСтройЭкспо. Дороги»

Итоги 2018:

5 146 посетителей, 3 320 специалистов отрасли,
1 700 компаний,
175 экспонентов из России, Китая, Южной Кореи,
Беларуси.

Официальная поддержка:



Организатор:



МВДЦ «Сибирь», ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 200-44-00
www.krasfair.ru

0+

ФАСАДНАЯ
ФА АКАДЕМИЯ

**BUILDING
SKIN
RUSSIA 2019**

В РОССИИ
ДНИ ОКНА 19

BUILD INSULATION 2019

26-27
февраля

100
спикеров

Впервые, одновременно
пройдут три форума по
материалам и технологиям
внешних оболочек зданий:

- 3-й форум Building Skin
Russia 2019
- 4-й форум «Дни окна
в России 2019»
- 3-й форум «Строительная
изоляция 2019»

ФАСАДЫ
ОКНА
ИЗОЛЯЦИЯ

**СОБЫТИЕ ГОДА
НА РЫНКЕ ВНЕШНИХ
ОБОЛОЧЕК ЗДАНИЙ**

Регистрация: www.fasad-rus.ru/bsr/



НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

NANO-TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION

Green and Sustainable Construction

22–26 марта 2019 г.
22–26 March, 2019

NTC-2019

Шарм-Эль-Шейх, Египет
Sharm ElSheikh, Egypt

Прибытие и регистрация участников / Arrival & Registration 22.03.2019

Дни проведения конференции / Scientific activities 23–25.03.2019

Отъезд / Departure 26.03.2019

Организаторы конференции / Organizers

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



Египетско-российский университет
Egyptian Russian University (ERU)



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



При поддержке / Co-organizers

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



Тематика конференции / Conference Themes

- Синтез 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.

Основные даты и условия участия / Deadlines and Conference fees

- Принятие рефератов (abstract) 01/11/2018
- Представление полной рукописи 01/12/2018
- Принятие полных рукописей 01/01/2019
- Окончательный прием заявок 01/02/2019

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 01/11/2018
- Submission of full manuscript 01/12/2018
- Acceptance for full manuscripts 01/01/2019
- Final acceptance 01/02/2019

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.

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**

Информационная поддержка – журналы / Information support journals
«Строительные материалы»® «Construction Materials» (Russia)
HBRC Journal (Egypt)

Housing & Building National Research Center Journal
HBRC Journal

Контактная информация в России / Contact information in Russia

Профессор Григорий Иванович Яковлев
ИжГТУ им. М.Т. Калашникова
E-mail: gyakov@istu.ru Тел.: 89128566688
Факс: +7(3412)592555
Prof. G.I. Yakovlev
Kalashnikov Izhevsk State Technical University
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
Dr. Mohamed Mahmoud
Mob: +201005463056
info@ntchbrc.com ntc_nano@yahoo.com