

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ<sup>®</sup> №5



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU МАЙ 2021 г. (791)

**PROGRESS GROUP**



## ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНДУСТРИИ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

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

[www.progress-group.info](http://www.progress-group.info)



# 100+

# TECHNO BUILD

[forum-100.ru](http://forum-100.ru)

VIII Международный  
строительный форум  
и выставка

## ДИАЛОГ РЕГИОНОВ

5-7 октября 2021  
Екатеринбург

---

Учредитель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,  
 Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,  
 д. 9, корп. 1, кв. 1  
 Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»  
 Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,  
 д. 9, корп. 1, кв. 1  
 Свид. о регистрации ПИ № 77-1989  
 ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)  
 Входит в Перечень ВАК, РИНЦ,  
 Russian Science Citation Index  
 на платформе Web of Science  
 Адрес редакции: Россия, 127434, г. Москва,  
 Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 5

Основан в 1955 г.

(791) Май 2021 г.

Тел.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

## Индустриальное домостроение

Е.В. РУМЯНЦЕВ, А.Х. БАЙБУРИН, В.Г. СОЛОВЬЕВ, Р.М. АХМЕДЬЯНОВ, С.В. БЕССОНОВ Технологические параметры качества самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей для зимнего бетонирования стыков .....	4
К 90-летию профессора Веслава КУРДОВСКИ. Талант служения науке (Информация) .....	15
Ю.А. ГОНЧАРОВ, Г.Г. ДУБРОВИНА, О.В. КОЗУНОВА Надежность и долговечность каркасных домов с применением армированных цементно-перлитовых панелей .....	16
Новый завод ЖБИ под Гданьском – максимальная степень автоматизации с продуманной логистикой (Информация) .....	22
Автоматические сварочные центры (Информация) .....	25
Новая автоматическая сварочная линия для производства сеток с проемами для ДСК (Информация) .....	26
Г.С. СЛАВЧЕВА Строительная 3D-печать сегодня: потенциал, проблемы и перспективы практической реализации .....	28
А.П. КОНСТАНТИНОВ, А.Д. КОРОЛЬЧЕНКО Особенности применения легкобрасываемых оконных конструкций в газифицированных жилых зданиях .....	37

## Нанотехнологии в строительстве

XII Международная конференция «Нанотехнологии для «зеленого» и устойчивого строительства: NTC-2021» (Информация) .....	44
В.В. ТЮКАВИНА, Е.А. ЩЕЛОКОВА, К.А. ПОЖИВИНА, А.Г. КАСИКОВ Нанодобавки на основе диоксида титана и диоксида кремния для самоочищающихся бетонов .....	47

## Современные вяжущие материалы

С.-А.Ю. МУРТАЗАЕВ, М.Ш. САЛАМАНОВА, А.Х. АЛАСХАНОВ, Т.С.-А. МУРТАЗАЕВА Перспективы использования отходов цементной промышленности для получения современных бетонных композитов .....	54
С.А. КНЯЗЕВА, Г.И. ЯКОВЛЕВ, И.Я. ХАРЧЕНКО, З.С. САИДОВА, А.М. АЛЕКСАНДРОВ, И.А. ПУДОВ, А.Э. СТИВЕНС, А.И. БАБАЕВ, С.Н. СЕМЁНОВА Геополимерное вяжущее на основе керамзитовой пыли для инъекционных смесей в геотехническом строительстве .....	63
Х.Г.Х. АЛЬ-СУРРАЙВИ, М.А. ГОНЧАРОВА, А.Г. ЗАЕВА Синтез композитов на основе местного сырья при воздействии агрессивной среды .....	69

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»  
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,  
Moscow, 125319, Russian Federation  
Publisher: «STROYMATERIALY»  
Advertising-Publishing Firm, OOO  
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,  
Moscow, 125319, Russian Federation  
Registration certificate PI № 77–1989  
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)  
Included in the list of journals of the Higher  
Attestation Commission (Russia), Russian Science  
Citation Index on the platform Web of Science  
Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Highway,  
127434, Moscow, Russian Federation

Monthly scientific-technical and industrial journal

# STROITEL'NYE MATERIALY®

Founded in 1955

No 5  
(791) May 2021

Tel.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

## Prefabricated construction

E.V. RUMYANTSEV, A.Kh. BAYBURIN, V.G. SOLOV'EV, R.M. AHMED'YANOV, S.V. BESSONOV

**Technological Parameters of the Quality of Self-Compacting Fine-Grained Fresh Concrete for Winter Concreting . . . . 4**

**To the 90th anniversary of the professor Wieslaw Kurdowski. Science service talent (Information) . . . . . 15**

YU.A. GONCHAROV, G.G. DUBROVINA, O.V. KOZUNOVA

**Reliability and Durability of Frame Houses with the Use of Reinforced Cement-Perlite Panels. . . . . 16**

**New Reinforced Concrete Plant Near Gdansk – Maximum Degree of Automation**

**with Well-Thought-Out Logistics (Information) . . . . . 22**

**Automatic Welding Centers (Information) . . . . . 25**

**New Automatic Welding Line for Production of Meshes with Openings for HBF-LPHC (Information) . . . . . 26**

G.S. SLAVCHEVA

**3D-Build Printing Today: Potential, Challenges and Prospects for Implementation . . . . . 28**

A.P. KONSTANTINOV

**Features of the Use of Easily Dumped Window Structures in Gasified Residential Buildings. . . . . 37**

## Nanotechnology in construction

**XII International Conference «Nanotechnology for Green and Sustainable Construction: NTC-2021» (Information) . . . . 44**

V.V. TYUKAVKINA, E.A. SHCHELOKOVA, K.A. POZHIVINA, A.G. KASIKOV

**Nano-Additives Based on Titanium Dioxide and Silicon Dioxide for Self-Cleaning Concretes . . . . . 47**

## Modern binding materials

S.-A.Yu. MURTAZAEV, M.Sh. SALAMANOVA, A.Kh. ALASKHANOV, T. S.-A. MURTAZAEVA

**Prospects for the Use of Cement Industry Waste for the Production of Modern Concrete Composites . . . . . 54**

S.A. KNYAZEVA, G.I. YAKOVLEV, I.Ya. KHARCHENKO, Z.S. SAIDOVA, A.M. ALEXANDROV,

I.A. PUDOV, A.E. STEVENS, A.I. BABAIEV, S.N. SEMYONOVA

**Geopolymer Binder on the Basis of Expanded Clay Dust for Injection Mixtures in Geotechnical Construction . . . . . 63**

H.G.H. AL-SURRAYVI, M.A. GONCHAROVA, A.G. ZAEVA

**Synthesis of Composites on the Basis of Local Raw Materials Under the Influence of Aggressive Environment . . . . . 69**

# Редакционный совет

## Главный редактор:

**ЮМАШЕВА Е.И.,**

инженер-химик-технолог, почетный строитель России

## Председатель редакционного совета:

**РЕСИН В.И.,**

д-р экон. наук, профессор, академик РААСН (Москва)

**АЙЗЕНШТАДТ А.М.,**

д-р хим. наук, профессор (Архангельск)

**АСКАДСКИЙ А.А.,**

д-р хим. наук, профессор (Москва)

**БУРЬЯНОВ А.Ф.,**

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

**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)

**КОРОЛЕВ Е.В.,**

д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербург)

**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)

**НЕДОСЕКО И.В.,**

д-р техн. наук (Уфа)

**ПИЧУГИН А.П.,**

д-р техн. наук, профессор (Новосибирск)

**ПУХАРЕНКО Ю.В.,**

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

**ТРАВУШ В.И.,**

д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)

**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)

**ШЕБЛ С.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)

**Ю ЖЯНГМЯО,**

д-р философии (Китай, Гуанчжоу)

# Editorial Board

## Editor-in-chief

**YUMASHEVA E.,**

engineer-chemist-technologist, Honorary Builder of Russia

## Chairman of Editorial Board

**RESIN V.,**

Doctor of Science (Economy), Professor (Moscow)

**AZENSHTADT A.,**

Doctor of Sciences (Chemistry), Professor (Arkhangelsk)

**ASKADSKIY A.,**

Doctor of Science (Chemistry), Professor (Moscow)

**BURYANOV A.,**

Doctor of Science (Engineering), Director of the Russian Association of gypsum (Moscow)

**VERESHCHAGIN V.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Tomsk)

**GORIN V.,**

Candidate of Science (Engineering), President of the Union of Haydite and Haydite Concrete Producers (Samara)

**EROFEEV V.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Saransk)

**KOROLEV E.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

**KRIVENKO P.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Ukraine)

**LEONOVICH S.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Belarus, Minsk)

**LESOVIK V.,**

Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of RAACS (Belgorod)

**MURTAZAEV S.-A.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Grozniy)

**NEDOSEKO I.,**

Doctor of Science (Engineering) (Ufa, Bashkortostan)

**PICHUGIN A.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor, Member of the Russian Academy of Natural Science (Novosibirsk)

**PUKHARENKO Yu.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

**TRAVUSH V.,**

Doctor of Science (Engineering), academician of RAACS (Moscow)

**FEDOSOV S.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Ivanovo)

**FISHER H.-B.,**

Doctor-Engineer (Germany, Weimar)

**KHOZIN V.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Kazan)

**CHERNYSHOV E.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Voronezh)

**SHEBL S.M.,**

Doctor of Science, Professor (Egypt)

**SHLEGEL I.,**

Candidate of Science (Engineering), OOO «INTA-Stroy» (Omsk)

**SHTACKELBERG D.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Israel)

**YAKOVLEV G.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Izhevsk)

**YU JIANGMIAO,**

PhD / Associate Professor (China, Guangzhou)

Е.В. РУМЯНЦЕВ<sup>1</sup>, гл. конструктор департамента продукта (jekarum@yandex.ru);

А.Х. БАЙБУРИН<sup>2</sup>, д-р техн. наук (abayburin@mail.ru);

В.Г. СОЛОВЬЕВ<sup>3</sup>, канд. техн. наук (s\_vadim\_g@mail.ru);

Р.М. АХМЕДЬЯНОВ<sup>4</sup>, канд. техн. наук (arm20051@yandex.ru),

С.В. БЕССОНОВ<sup>4</sup>, инженер (sveb1990@inbox.ru)

<sup>1</sup> ООО «ПИК-Проект» (123242, г. Москва, ул. Баррикадная, 19, стр. 1)

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76)

<sup>3</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

<sup>4</sup> ООО «Уральский научно-исследовательский институт строительных материалов» (ООО «УралНИИСтром»)

(454047, г. Челябинск, ул. Сталеваров, 5, корп. 2)

## Технологические параметры качества самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей для зимнего бетонирования стыков

Применение самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей (СУМБС) на основе сухих строительных смесей (ССС) позволяет обеспечить качество бетонирования современных стыковых соединений сборных железобетонных конструкций, в том числе в зимних условиях. Проведенное комплексное экспериментальное исследование технологических параметров качества СУМБС позволяет восполнить недостаточный объем исследований по данному направлению. Для исследования использованы СУМБС на основе СССР трех производителей на цементных вяжущих, твердеющих при отрицательной температуре. Предложены обоснованные методики испытаний и выполнена сравнительная оценка технологических характеристик СУМБС: удобоукладываемости, жизнеспособности, устойчивости к расслоению и коэффициента уплотнения. Произведена оценка влияния температурного фактора и водотвердого отношения на исследуемые характеристики смесей. Полученные результаты могут быть использованы для разработки технологической документации по применению «холодных» СУМБС на основе цементных СССР, а также при подготовке нормативно-технических документов по технологии бетонирования стыковых соединений сборных железобетонных конструкций, в том числе при отрицательной температуре.

**Ключевые слова:** технологические параметры качества, самоуплотняющиеся мелкозернистые бетонные смеси, реологические свойства, стыки железобетонных конструкций, зимнее бетонирование.

Авторы выражают благодарность за предоставленные фотографии, использованные в статье, специалисту по качеству Центра 20 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» А.В. Анцибору.

**Для цитирования:** Румянцев Е.В., Байбури А.Х., Соловьев В.Г., Ахмедьянов Р.М., Бессонов С.В. Технологические параметры качества самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей для зимнего бетонирования стыков // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 4–14. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-4-14>

E.V. RUMYANTSEV<sup>1</sup>, Chief Designer of Product Department (jekarum@yandex.ru); A.Kh. BAYBURIN<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (abayburin@mail.ru); V.G. SOLOV'EV<sup>3</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (s\_vadim\_g@mail.ru);

R.M. AHMED'YANOV<sup>4</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (arm20051@yandex.ru), S.V. BESSONOV<sup>4</sup>, Engineer (sveb1990@inbox.ru)

<sup>1</sup> PIK-Proekt LLC (19, bldg. 1, Barrikadnaya Street, Moscow, 123242, Russian Federation)

<sup>2</sup> National Research South Ural State University (76, Lenina Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation)

<sup>3</sup> National Research Moscow State University Of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

<sup>4</sup> «Ural Research Institute of Construction Materials» LLC (5/2, Stalevarov Street, Chelyabinsk, 454047, Russian Federation)

### Technological Parameters of the Quality of Self-Compacting Fine-Grained Fresh Concrete for Winter Concreting

The use of self-compacting fine-grained fresh concrete (SCFGFC) based on dry construction mixes (DCM) allows to ensure the quality of advance joint connection of the precast reinforcement concrete structures, including in the winter conditions. The carried out comprehensive experimental study of the technological parameters of the quality of (SCFGFC) makes it possible to make up the insufficient volume of research in this area. For the study, we used SCFGFC based on DCM from three manufacturers on cement binders, hardening at low temperatures. The substantiated test methods are proposed and a comparative assessment of the technological characteristics of SCFGFC is carried out: workability, viability, segregation resistance and the compaction coefficient. The influence of the temperature factor and the water-solid ratio on the studied characteristics of the fresh concrete has been evaluated. The obtained research results can be used for the development of technological documentation for the use of «cold» SCFGFC based on cement dry mixes, as well as for the preparation of codes on the technology of joint connection of the precast reinforcement concrete structures, including at negative temperatures.

**Keywords:** technological parameters of the quality, self-compacting fine-grained fresh concrete, rheological properties, joint of the reinforcement concrete, winter concreting.

The authors are grateful for the provided photographs used in the article, the quality specialist of the Center 20 «The A.A. Gvozdev NIIZHB» of JSC «Research Center of Construction» A.V. Antsibor.

**For citation:** Rumyantsev E.V., Bayburin A.Kh., Solov'ev V.G., Ahmed'yanov R.M., Bessonov S.V. Technological parameters of the quality of self-compacting fine-grained fresh concrete for winter concreting. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 4–14. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-4-14>

Устойчивое развитие конструктивных систем железобетонных зданий, повышение их этажности, конкуренция строительных технологий монолитного и индустриального сборного домостроения способствуют применению бетонов заданной функциональности [1–4]. Особенностью современных стыковых соединений сборных железобетонных конструкций являются: высокий процент армирования, ограниченное пространство для укладки и уплотнения бетона, отсутствие свободного доступа к стыкам для их контроля. Для обеспечения качественного заполнения стыков необходимо применение специальных растворных и бетонных смесей с высокими технологическими характеристиками [5–10]. Мировая тенденция сокращения сроков строительства также обуславливает необходимость выполнения непрерывного всесезонного бетонирования стыков сборных конструкций без снижения принятого темпа монтажа, в том числе при отрицательной температуре [11–13]. В настоящее время на строительной площадке широко применяются самоуплотняющиеся бетонные смеси (СУБС) [14–17], в том числе в зимних условиях [18, 19]. Применение СУБС для всесезонного бетонирования конструкций обеспечивает требуемое качество, надежность и долговечность при сокращении трудоемкости и повышении энергоэффективности строительного производства. При этом наблюдается недостаточный объем исследований самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей (СУМБС), изготавливаемых из сухих строительных смесей (ССС). Основной целью данной работы является комплексное экспериментальное исследование СУМБС, предназначенных для зимнего бетонирования стыков сборных железобетонных конструкций. Особые требования к технологии зимнего бетонирования стыков сборных железобетонных конструкций и применению СУМБС при отрицательной температуре обуславливают необходимость проведения достаточных исследований технологических параметров качества и определения необходимых технических требований для их применения, выбора методик испытаний для сравнительной оценки и контроля. Тема исследования является своевременной и актуальной, а его результаты имеют высокое практическое значение для индустриального домостроения.

#### Используемые материалы

В исследовании были использованы СССР на цементных вяжущих трех производителей, предназначенные для производства и применения СУМБС, твердеющих при отрицательной температуре:

1. АО «Опытный завод сухих смесей», г. Москва, торговая марка «БИРСС» по ТУ 5745-00205668056–2011.

2. ООО «ПК Седрус», г. Москва, торговая марка «ИНДАСТРО» по ТУ «5745-005-62106559–14».

3. АО «ГЛИМС-Продакшн», г. Подольск, Московская область, торговая марка «Glimes-PRO» по ТУ 23.64.10-016-40397319–2017.

При проведении испытаний обозначение составов выполнялось условно: «Образец № 1.1(-15)», где 1.1 – уникальный номер образца смеси, (-15) – рекомендованная производителем минимальная отрицательная температура укладки смеси.

Все смеси производятся согласно ГОСТ 31357–2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Технические условия» и (или) ТУ завода-изготовителя. Проектные характеристики СССР и получаемых бетонов приведены в табл. 1.

Технологические параметры качества бетонной смеси напрямую связаны с ее реологическими свойствами в процессе приготовления, транспортировки, укладки и последующего твердения. Если представить бетонную смесь в качестве гетерогенной системы, в которой в результате взаимодействия дисперсных частиц твердой фазы и дисперсионной среды (воды), то она приобретает связность и может быть рассмотрена как единое физическое тело с определенными реологическими свойствами. Пластическую прочность бетонной смеси, в том числе СУМБС, принято описывать по основополагающей модели Бингама (Bingham)<sup>1</sup> двумя характеристиками: предельным напряжением сдвига и пластической вязкостью [17, 20–24]. Прямые испытания реологических свойств проводят с помо-

Таблица 1  
Table 1

Характеристики СССР и бетонов на их основе  
Performance of dry building mixtures  
and concretes based on them

Характеристика	Значение
Внешний вид	Однородный порошок белого или серого цвета без комков и посторонних включений
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	1,5–1,7
Наибольшая крупность зерен заполнителя с остатком на сите не более 5%, мм	5
Количество воды затворения, мл на 1 кг сухой смеси	80–130
Влажность, %	не более 0,2
Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	2300–2400
Сохраняемость первоначальной подвижности (жизнеспособность) бетонной смеси, мин	20–30
Стойкость к образованию усадочных трещин	Трещины отсутствуют
Прочность при сжатии через 8 ч, МПа	5–10
Прочность при сжатии через 24 ч, МПа	10–15
Прочность при сжатии через 28 сут, МПа	40–80
Прочность сцепления с основанием (адгезия), МПа	0,4–0,6
Марка по морозостойкости F, циклы	до F2300
Марка по водонепроницаемости	до W16

<sup>1</sup> В отечественной научной литературе принято наименование модели Шведова-Бингама.

шью реометров, пластометров (вискозиметров) различной конструкции [21, 23, 25–28]. С практической точки зрения предельное напряжение сдвигу связано с заполняемостью бетоном заданной формы, а также с началом текучести под действием приложенного давления, тогда как пластическая вязкость может быть связана со скоростью течения бетонной смеси и будет влиять на продолжительность укладки смеси.

В бетонной смеси непрерывно происходят процессы структурообразования цементного камня, связанные с физико-химическими реакциями гидратации минералов цементного клинкера. Скорость данных процессов зависит от многих факторов: типа и качества вяжущего, температуры, водоцементного отношения, наличия добавок и др. В случае применения бетонов на основе ССС главным переменным показателем скорости твердения является температурный фактор, в то время как водотвердое отношение устанавливается заводом-изготовителем ССС, подтверждается лабораторией входного контроля качества и может быть изменено только при нарушении (отклонении) от проектной технологии приготовления бетонной смеси или влияния климатических условий на заливку, например, осадков. Поэтому исследование реологических свойств СУБС необходимо выполнять с учетом температурного фактора [29–33], особенно для «холодных» бетонов. Также следует выполнять оценку влияния параметров качества с учетом возможного изменения водотвердого отношения для ССС.

Для контроля реологических свойств СУБС в производственных условиях прямые методы измере-

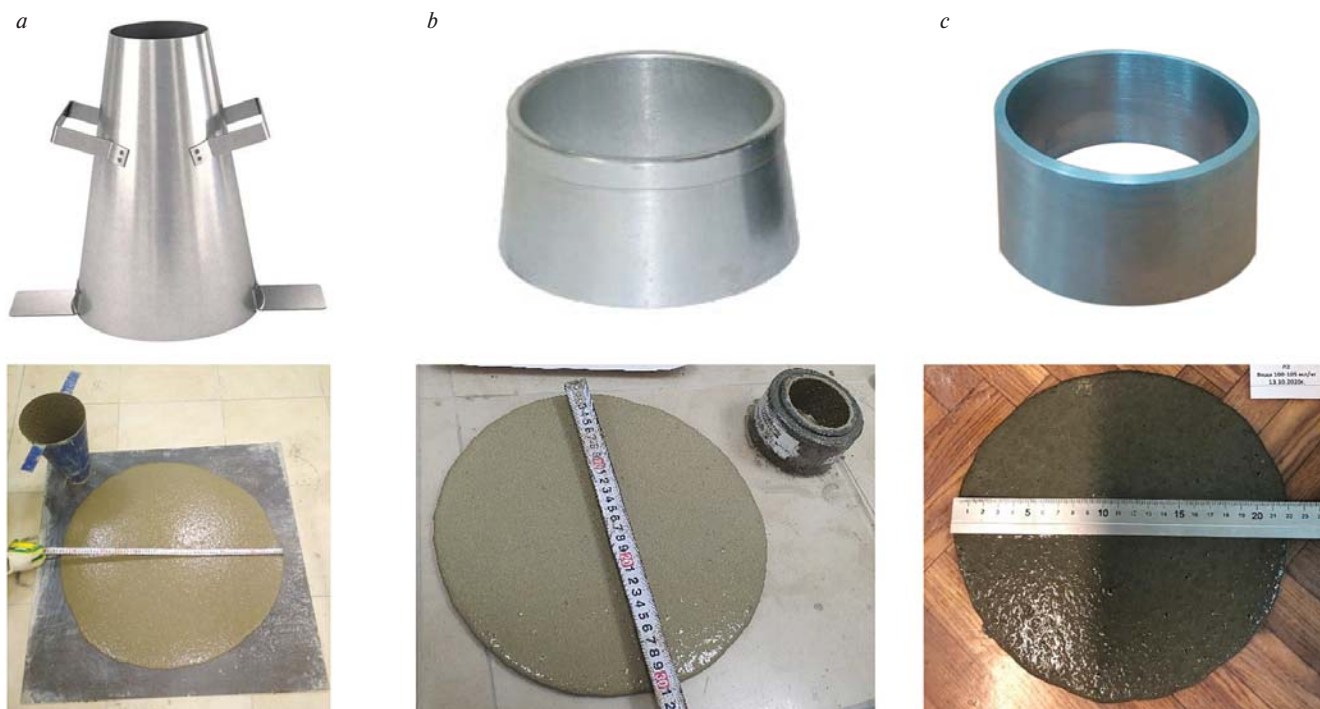
ния параметров пластической прочности не распространены [24], а применяются более простые методики, приведенные в двух проектах ГОСТ Р: «Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Методы испытаний», «Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Технические условия», которые в настоящее время проходят процедуру утверждения.

Важнейшим технологическим параметром качества СУБС является удобоукладываемость, которая характеризует способность бетонной смеси к текучести и самоуплотнению (качественное заполнение заданной формы бетоном) под действием собственных сил тяжести без внешнего уплотнения, сохраняя свою однородность. Подвижность СУБС оценивают классом удобоукладываемости по расплыву путем измерения расплыва смеси с помощью конуса (кольца) без встряхивания.

При проведении испытаний применялись следующие конусы (рис. 1):

- нормальный конус Абрамса по ГОСТ 10181–2014. Данный конус является стандартным для определения марки по расплыву конуса (*PK*) в проекте ГОСТ Р «Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Методы испытаний» и гармонизирован с классом удобоукладываемости по расплыву (*Slump-flow test – SF*) по EN 12350-8–2019;
- форма-конус Хегерманна по ГОСТ 310.4–81;
- кольцо по ГОСТ 31356–2007 из нержавеющей металла с полированной внутренней поверхностью.

Методика испытаний соответствовала проекту ГОСТ Р «Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Методы испытаний» и EN 12350-8–2019. В качестве



**Рис. 1.** Средства испытания и результаты определения подвижности по расплыву (пример): *a* – нормальным конусом Абрамса; *b* – конусом Хегерманна; *c* – кольцом по ГОСТ 31356–2007

**Fig. 1.** Test tools and results for determining the Slump-flow test (example): *a* – the standard Abrams' cone; *b* – the Hegermann' cone; *c* – the ring in accordance with GOST (State Standard) 31356–2007



Таблица 2  
Table 2

Результаты испытаний СУМБС по распылу и вязкости при положительной температуре  
Results of tests of SCC for Slump-flow test and 500 mm flow time at positive temperatures

Обозначение образца	В/Т	T <sub>СС</sub> , смеси, °С	T <sub>В</sub> , воды, °С	Время перем., мин	t <sub>500</sub> , с	PK (SF), мм	P <sub>КН</sub> , мм	P <sub>К</sub> , мм
Образец № 1.1(-15)	0,1	+5	+5	4	2,3	840	301	220
Образец № 1.2(-20)	0,1			4	–	870	305	–
Образец № 1.3(-25)	0,1			4	2,5	860	308	220
Образец № 2.1(-15)	0,11			5	6,4	770	303	205
Образец № 2.2(-20)	0,11			5	–	780	282	–
Образец № 3.1(-25)	0,1			7	8,1	840	283	220

**Примечания:** T<sub>СС</sub> – температура ССС; T<sub>В</sub> – температура воды затворения; время перем., мин – время перемешивания смеси перед определением распыла; t<sub>500</sub> – время достижения распыла диаметром 500 мм; PK (SF) – средний диаметр распыла нормального конуса по ГОСТ 10181 с округлением до 10 мм; P<sub>КН</sub> – средний диаметр распыла конуса по ГОСТ 310.4; P<sub>К</sub> – средний диаметр распыла кольца по ГОСТ 31356–2007.

нормируемого параметра вязкости принимали время распыла нормального конуса до величины диаметра окружности, равного 500 мм, – показатель  $t_{500}$ .

Особенностью исследуемых «холодных» СУМБС является интенсивное тепловыделение после затворения ССС водой при положительной температуре (18–20°С), что впоследствии приводило к сокращению сроков схватывания смеси и продолжительности выполнения испытаний. Для снижения влияния температурного фактора ССС и вода затворения предварительно охлаждались до температуры +5°С. Время перемешивания смесей и В/Т (водотвердое отношение) принимались по рекомендациям заводов-изготовителей. Результаты испытаний распыла СУМБС при положительной температуре приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, наибольшей подвижностью обладает группа образцов № 1, они же имеют меньшую вязкость, определяемую по времени достижения распыла конуса до 500 мм, с наибольшим значением PK 84–86 см, которая характеризуется большей скоростью растекания со значением времени истечения в 2–3 раза меньшим, чем у других образцов. Группа образцов № 2 обладает меньшими значениями подвижности с PK 77–78 см при средних значениях вязкости. Таким образом, все образцы обладают наибольшей маркой удобоукладываемости PK3 и соответствуют марке вязкости V2 со значениями  $t_{500}$  от 2,3 до 8,1 согласно проекту ГОСТ Р «Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Технические условия». Несмотря на ускорение процесса укладки более подвижных бетонных смесей, на практике следует избегать излишней подвижности, так как это может приводить к протечкам смеси на лицевые поверхности стеновых панелей зданий и требовать тщательной герметизации конструкций опалубки перед заливкой стыковых соединений; очевидно также, что повышение подвижности повышает вероятность расслоения. На основании проведенных испытаний определены начальные значения минимальной подвижности (распыла) СУМБС, обеспечивающие заполнение стыков железобетонных конструкций: PK – 77 см; P<sub>КН</sub> – 28 см; P<sub>К</sub> – 20 см.

Способность бетонной смеси к заполнению заданной формы характеризуется текучестью смеси с учетом необходимости проходить при заливке узкие пространства, включая просветы между арматурными стержнями, анкерами, полостями сборных конструкций (шпонки, штрабы, швы) и других препятствий без расслоения и закупоривания. Для ее определения применяют различные методы: L-образного короба, V-образной воронки, блокирующего кольца, U-образного короба с круглым или плоским дном, с помощью прибора Orimet и др. [EN 12350, ACI 237R-07, 21, 23, 34]. Данные методы испытания не в полной мере применимы к СУМБС, так как в них отсутствует крупный заполнитель и они обладают повышенной текучестью, что приводит, например, к полному заполнению L-образного короба. Кроме того, указанные методы требуют большого объема бетонных смесей (до 14 л) для проведения испытаний, а установленные зависимости в ходе испытаний распылов, полученные разными средствами, позволяют перейти к испытаниям подвижности другими методами с изготовлением меньшего объема смеси.

Известны стенды для испытания ремонтных (бетонных и растворных) смесей на удобоукладываемость по текучести согласно ГОСТ Р 56378–2015 «Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к ремонтным смесям и адгезионным соединениям контактной зоны при восстановлении конструкций» по типу L-образного короба меньшего размера, чем стандартный. Недостатком данных стендов наряду с большим требуемым объемом смеси является определение удобоукладываемости только по показателю текучести – периоду времени, за который поток смеси переместится по лотку на требуемое расстояние. Таким образом, данные установки при использовании исходной подвижности применяемых материалов не позволяют определить степень заполняемости смесью заданной формы, т. е. не могут быть в полной мере использованы для оценки абсолютных значений минимальной необходимой подвижности.

Для испытания минимальной требуемой подвижности СУМБС с учетом изменения В/Т использовали простой стенд, предложенный исследователями ООО «УралНИИСтром». Для этого последовательно приготавливали СУМБС на основе ССС с уменьшением В/Т отношения с шагом 0,01. В качестве емкости использовали воронку для определения насыпной плотности по ГОСТ 9758–2012, в качестве короба (по типу L-образного) или лотка [35, ГОСТ Р 56378–2015] использовали форму призмы ФП-70 (70×70×280 мм) по ГОСТ 22685–89. На плоскую ровную поверхность устанавливали форму призмы ФП-70. Воронку располагали так, чтобы при ее открытии содержимое вытекало в форму с одного края на расстоянии 10–50 мм от торца. Изготавливали пробный замес СУМБС с водотвердым отношением, рекомендуемым заводом-изготовителем ССС, объемом не менее 2 дм<sup>3</sup>. Полностью заполняли мерный цилиндрический сосуд вместимостью 1 дм<sup>3</sup> и переливали его содержимое в воронку. Открывали воронку и заполняли бетонной смесью форму без применения механических воздействий и вибраций (рис. 2, а). Фиксировали время  $t_f$  с точностью до 0,1 с от момента открытия клапана воронки до момента, когда впервые станет возможным вертикально через воронку увидеть форму, находящуюся под воронкой. По окончании движения бетонной смеси в форме измеряли высоту  $H_1$  с одного края формы от ее верха до бетонной смеси и высоту  $H_2$  с другого края формы от ее верха до бетонной смеси с точностью до 1 мм (рис. 2, б, с, d). При равенстве высот  $H_1$  и  $H_2$  повторяли испытание с использованием водотвердого отношения меньшего, чем при предыдущем испытании. Если  $H_1 \neq H_2$ , испытание повторяли с использованием В/Т большим, чем при предыдущем проведении испытания с шагом 0,01.

Фиксировали минимальное водотвердое отношение с точностью 0,01 (при необходимости 0,005), при котором соблюдается равенство  $H_1 = H_2$ . Проводили дополнительное параллельное испытание для подтверждения установленного водотвердого отношения. При получении в двух параллельных испытаниях одинакового результата при равенстве  $H_1 = H_2$  установленное водотвердое отношение считали минимальным, при котором достигается требуемый показатель подвижности бетонной смеси по удобоукладываемости. После установления минимального В/Т определяли соответствующий минимальной тре-

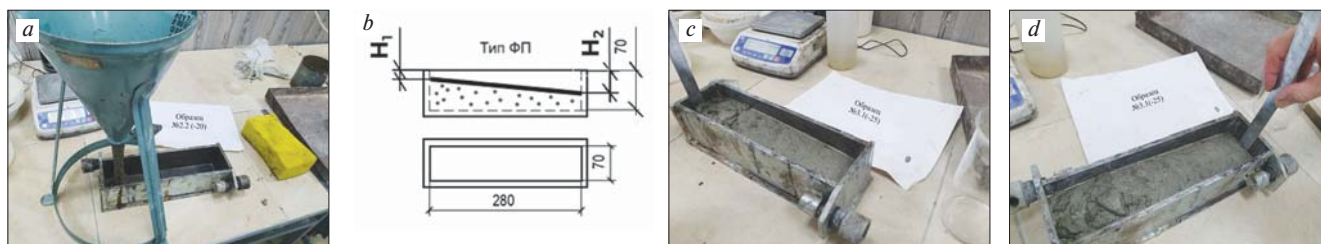
буемой подвижности расплыв бетонной смеси с помощью конуса Хегерманна.

В результате экспериментов получены значения минимального водотвердого отношения и соответствующие им показатели подвижности: расплыв и вязкость, которые приведены в табл. 3 с указанием характеристик консистенции смеси по степени удобоукладываемости.

При анализе результатов, приведенных в табл. 2 и 3, установлено, что возможное снижение В/Т без ухудшения удобоукладываемости СУМБС на основе ССС составляет на 5–10% ниже рекомендуемого. Допустимое отклонение подвижности по показателю расплыва  $P_{KH}$  при этом составило на 6–11% меньше начального. В качестве допустимых значений отклонений по значению В/Т рекомендуется принимать **не более минус 5%** от рекомендуемого значения, а в качестве критерия минимальной допустимой подвижности рекомендуется принять снижение значения удобоукладываемости по расплыву **не более чем на 10%** от заявленного в паспорте значения (минимального начального значения).

Согласно ГОСТ 31357–2007 в качестве одного из показателей качества СУМБС принят критерий сохраняемости первоначальной подвижности (жизнеспособность). При этом численное значение показателя данный ГОСТ не устанавливает. ГОСТ Р 56378–2015 в качестве требования показателей свойств ремонтных смесей при идентификационных испытаниях устанавливает допустимое отклонение для жизнеспособности (для ремонтных смесей на полимерных вяжущих), равное  $\pm 20\%$  от заявленного значения.

На первом этапе эксперимента для снижения влияния температурного фактора при проведении испытаний удобоукладываемости бетонных смесей по методике ГОСТ в нормальных условиях (температура  $+18 \pm 2^\circ\text{C}$ ) были использованы охлажденные компоненты бетонной смеси (табл. 2). На втором и третьем этапах эксперимента бетонную смесь готовили из охлажденных компонентов: вода –  $+5^\circ\text{C}$  (2-й и 3-й этапы); ССС –  $+5^\circ\text{C}$  (2-й этап); ССС – минимальная температура укладки бетонной смеси (3-й этап), но после перемешивания бетонных смесей 2-й и 3-й этапы их помещали в морозильную камеру для выдерживания при минимальной рекомендуемой производителем температуре укладки бетон-



**Рис. 2.** Стенд для испытания минимальной подвижности СУМБС по методу УралНИИСтром: а – общий вид установки; б – схема измерений высот  $H_1$  и  $H_2$ ; с и d – выполнение измерений высоты заполнения бетонной смеси в форме

**Fig. 2.** Equipment for testing the minimal workability of a fresh SCC according to the UralNIISTrom method: а – general view of the equipment; б – scheme for measuring heights  $H_1$  and  $H_2$ ; с and d – taking a measurement of the filling height of the fresh concrete in the form

ной смеси. Затем с периодичностью 5 мин смесь извлекали из камеры, перемешивали в течение 10 с и производили измерения показателей расплыва конуса. В качестве критерия определения времени сохранения подвижности выбирали равное количество минут, необходимое для уменьшения диаметра расплыва формы конуса Хегерманна по ГОСТ 310.4 более чем на 10% от диаметра расплыва, определенного непосредственно после приготовления бетонной смеси. Время сохранения первоначальной подвижности при положительной температуре составило 5–15 мин, при отрицательной температуре выдерживания СУМБС составило 10–40 мин. Следует отметить, что в результате выдерживания СУМБС при положительной температуре (18–20°C) жизнеспособность смеси резко уменьшается в два раза и более, чем при выдерживании при минимальной отрицательной температуре. Довольно грубый шаг измерения расплыва конуса (5 мин) не позволяет оценить точное время изменения подвижности с достаточной точностью и рекомендуется лишь для подтверждения паспортных значений жизнеспособности смеси.

Для повышения точности испытаний был использован метод определения подвижности растворной смеси, основанный на измерении глубины погружения в растворную (бетонную) смесь эталонного конуса по ГОСТ 5802–86 «Растворы строительные. Методы испытаний». Для этого прибор для определения подвижности растворной смеси вместе с бетонной смесью помещали в морозильную камеру для выдерживания при минимальной отрицательной температуре. Глубину погружения конуса в смесь определяли непосредственно после приготовления и далее с интервалом 5 мин с последующим уменьшением интервала после изменения глубины погружения конуса. Перед каждым определением глубины погружения конуса исходную бетонную смесь допол-

нительно перемешивали в течение 10 с. На рис. 3 показаны графики зависимости величины погружения эталонного конуса от времени при различной температуре исходных сухих смесей (2-й и 3-й этапы) при выдерживании при минимальной температуре. В качестве критерия сохранения подвижности при ее эксплуатации в условиях отрицательной температуры принимали временной интервал, при котором глубина погружения конуса начинала резко снижаться (точка С на графиках рис. 3).

Из анализа графиков на рис. 3 установлено максимальное время сохранения подвижности: образцами группы № 1 до 14–30 мин (рис. 3, а, б); образцами группы № 2 до 36,5 мин (рис. 3, с); образцами группы № 3 всего 5–6 мин (рис. 3, д). По наблюдениям за изменением температуры образцов в результате эксперимента зафиксировано наибольшее тепловыделение образцов группы № 3, которое приводило к резкому снижению времени сохранения подвижности (более чем в пять раз относительно проектных) даже при минимальной температуре выдерживания. Данные особенности следует учитывать при повышении температуры воздуха при укладке СУМБС, например путем сокращения объема укладки при ручном перемешивании и/или непрерывного перемешивания смесей при использовании автоматизированных установок. Таким образом, минимальная продолжительность сохранения подвижности для СУМБС должна составлять **не менее 20–30 мин.**

Нормативные документы устанавливают требования по сегрегационной способности бетонных смесей (расслаиваемости), в том числе самоуплотняющихся. Расслаиваемость СУБС определяют по показателям раствороотделения на сите и водоотделения, а также по визуальным индексам стабильности расплывов нормального конуса и блокирующего кольца

Таблица 3  
Table 3

Эмпирические значения минимального водотвердого отношения для достижения СУМБС требуемых показателей минимальной подвижности  
Empirical values of the minimal water-solid ratio to achieve the SCC required indicators or the minimum workability

Обозначение образца	В/Т	$P_{KH}$ , мм	$t_V$ , с	$H_1$ , мм	$H_2$ , мм	Консистенция
№ 1.2(-20)	0,09	287	24,4	24	24	Смесь соответствует требуемому показателю минимальной подвижности
	0,08	230	>600	70	0	Смесь не затвердела, но потеряла подвижность и не соответствует требуемому показателю подвижности
№ 2.2(-20)	0,105	254	168,7	22	22	Смесь соответствует требуемому показателю минимальной подвижности
	0,1	221	337,4	25	21	Смесь не соответствует требуемому показателю подвижности
№ 3.1(-25)	0,095	252	43,6	23	23	Смесь соответствует требуемому показателю минимальной подвижности
	0,09	231	–	35	19	Смесь твердеет в воронке в сроки менее 3 мин и не соответствует требуемому показателю подвижности

Примечания:  $P_{KH}$  – средний диаметр расплыва конуса Хегерманна;  $t_V$  – длительность вытекания смеси из воронки;  $H_1$ ,  $H_2$  – высота с одного и другого краев формы от ее верха до смеси.

по Приложению А проекта ГОСТ. Отмечается, что особенности состава бетонных смесей на основе растворных самоуплотняющихся ССС (содержание зерен наибольшей крупности 5 мм не более 0,5%) отличаются от рядовых СУБС с крупным заполнителем, поэтому стандартные требования к СУБС, содержащим крупный заполнитель, и методы их испытаний применимы не в полной мере.

ГОСТ 31357–2007 п. 4.9 устанавливает требование к водоудерживающей способности ремонтных смесей, готовых к применению, не менее 90%, содержащих водоудерживающие добавки – не менее 95%. Данные требования подлежат уточнению, так как отделение воды может отрицательно повлиять на качество бетона на границе сред при зимнем бетонировании стыков, например в зоне охлажденной арматуры, закладных деталей и старого бетона конструкций. Дополнительное влияние на снижение качества бетона при зимнем бетонировании стыков может оказывать значительный влагоперенос в бетоне стыка, спровоцированный высоким градиентом температуры при взаимодействии теплой бетонной смеси и охлажденного бетона конструкции [36]. Таким образом, водоотделение ( $P_в$ ) СУМБС должно быть минимальным.

Для создания интенсификации водоотделения (снижения водоудерживающей способности) использовали методику ГОСТ 5802 п. 5 для растворной смеси, при этом металлическое кольцо и стеклянную пластину предварительно охлаждали до минимальной температуры укладки бетонной смеси. Стоит отметить, что в работе [37] указывается, что в методике ГОСТ 5802 п. 5 содержится ошибка: потеря растворной смеси воды выражена в процентах по отношению ко всей массе растворной смеси по аналогии с методикой определения водоотделения по ГОСТ 10181–2014 п. 7.4, а не по отношению только к массе воды. Поэтому результаты водоудерживающей способности дополнительно оценивались с учетом данного замечания (рис. 4).

На основании проведенных испытаний установлено, что водоотделение СУБС (по отношению к массе бетона), которое составило не более 0,3%, значительно меньше требуемого значения по ГОСТ 7473–2010 – 0,8% (для бетонных смесей с маркой по удобоукладываемости П5 и Р6). Водоудерживающая способность (по отношению только к массе воды) находится в пределах 96,9–98,6% (рис. 4).

Расслаиваемость СУБС в соответствии с требованиями проекта ГОСТ с маркой по удобоукладываемости РКЗ не должна превышать значение 20%. Расслаиваемость смеси определяли по показателям растворотделения  $P$  на сите без динамического воздействия аналогично методике проекта ГОСТ п. 7.2. Данный метод определения показателя растворотделения гармонизирован с показателем устойчивости к расслоению  $SR$  (sieve segregation test) по EN 12350-11:2010. Очевидно, что стандартная мето-

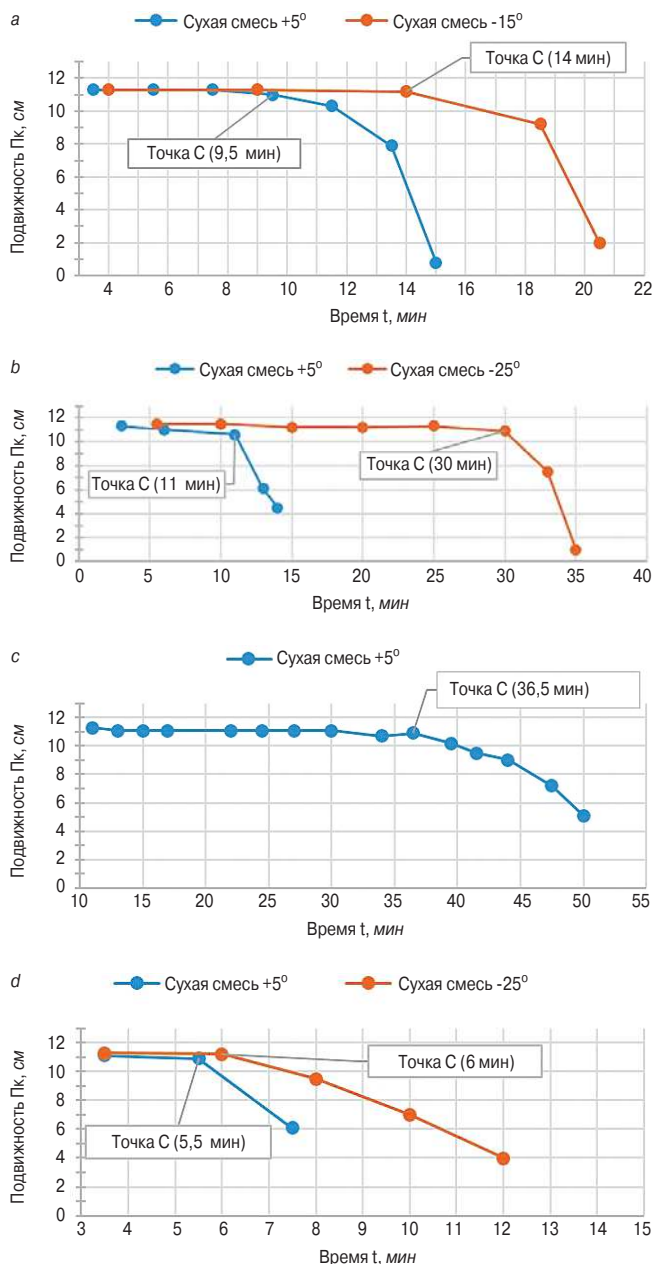
дика по определению  $P(SR)$  подлежит корректировке для испытания растворных СУМБС на основе ССС, так как сито с диаметром ячеек 5 мм слишком крупное. Применяли сито с размером ячеек 2,5 мм, при этом точность округления результатов повышали с 1 до 0,01%.

Дополнительно определяли растворотделение ( $P_p$ ), характеризующее ее расслаиваемость при виброуплотнении с использованием мокрого отсева аналогично методике ГОСТ 10181–2014 п. 7.3, при этом стандартное сито с отверстиями диаметром 5 мм заменяли на сито с диаметром ячеек 1,25 мм, а точность округления результатов повышали с 1 до 0,01%. Результаты сравнивали с растворотделением с использованием мокрого отсева без виброуплотнения, а также с расслоением под собственным весом на сите 2,5 мм (рис. 5).

Согласно результатам испытаний (рис. 5) наибольшей расслаиваемостью по показателю  $P(SR)$  обладают образцы группы № 1 с большими показателями удобоукладываемости. Применение динамического воздействия при виброуплотнении повлияло на результаты испытаний в неравной степени. Образцы группы № 2 проявили низкую устойчивость к расслоению в результате виброуплотнения, что, вероятно, связано с повышением седиментации дисперсных частиц твердой фазы. С целью недопущения снижения устойчивости к расслоению применение виброуплотнения СУМБС не допускается. На строительной площадке оценку расслоения СУМБС проводят по визуальным признакам стабильности расплыва конуса для каждого замеса смеси при выполнении операционного строительного контроля; пример визуального признака расслоения и водоотделения смеси показан на рис. 6. Такие смеси, безусловно, подлежат выбраковке и не допускаются для бетонирования.

Уплотненность структуры бетона напрямую связана с его качеством, в первую очередь с механической прочностью. Известно, что прочность бетона уменьшается с увеличением внутренней пористости [21]. Для исследования коэффициента уплотнения бетонной смеси сравнивали плотность стандартных образцов-кубов размером 100×100×100 мм непосредственно после формовки, затем через 1, 7 и 28 сут твердения в нормальных условиях при температуре 20±2°C и относительной влажности воздуха 95±5%. Первая серия образцов формовалась без применения вибрации, т. е. уплотнение смеси происходило под действием собственного веса смеси, а вторая серия образцов уплотнялась на виброплощадке с добавлением необходимого количества смеси в форму. В качестве коэффициента уплотнения принимали отношения плотностей вибрированных и невибрированных образцов – обратная величина степени уплотнения.

Согласно результатам испытаний (рис. 7) средний коэффициент уплотнения смесей находится в пределах 0,97–0,98, что свидетельствует о высокой плот-

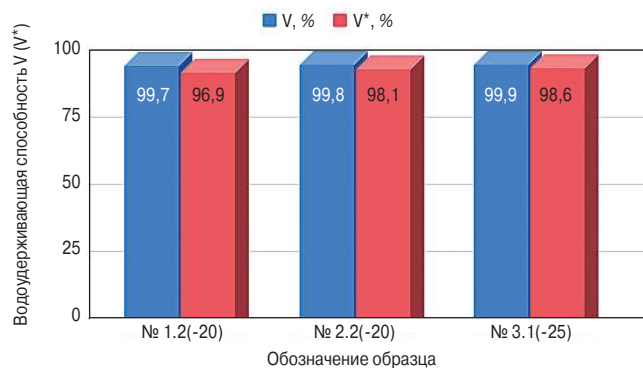


**Рис. 3.** Графики зависимости величины погружения стандартного конуса от времени выдерживания СУМБС при минимальной отрицательной температуре: *a* – образец № 1.1(-15); *b* – образец № 1.3(-25); *c* – образец № 2.1(-15); *d* – образец № 3.1(-25)  
**Fig. 3.** Graphs on the dependence of the amount of immersion of a standard cone of the holding time of the SCC at a minimum negative temperature: *a* – specimen No. 1.1(-15); *b* – specimen No. 1.3(-25); *c* – specimen No. 2.1(-15); *d* – specimen No. 3.1(-25)

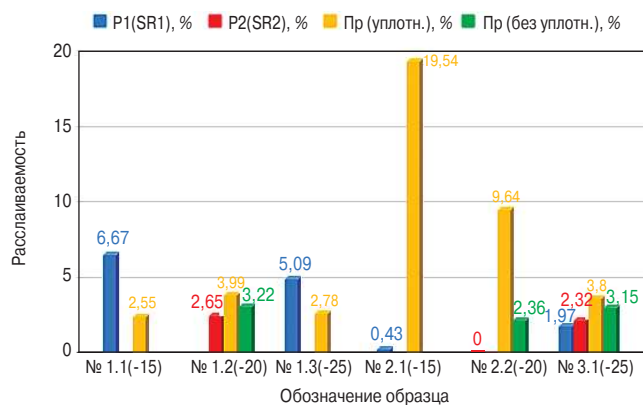
ности структуры СУМБС – аналогично марке по уплотнению КУ5 по ГОСТ 7473–2010.

**Выводы**

По результатам комплексного экспериментального исследования технологических характеристик качества СУМБС был проведен анализ их характеристик, включая оценку влияния температурного фактора, предложены обоснованные методики их оценки и сравнения. В результате проведенных исследований было установлено:



**Рис. 4.** Водоудерживающая способность образцов: V – рассчитанная по ГОСТ 5802; V\* – рассчитанная по отношению только к массе воды  
**Fig. 4.** Water retention of samples: V – calculated according to GOST (State Standard) 5802; V\* – calculated in relation only to the mass of water



**Рис. 5.** Расслаиваемость СУМБС по показателям растворотделения: P1(SR1) на сите 2,5 мм; P2(SR2) на сите 1,25 мм; Пр (уплот.) при виброуплотнении и мокром севе на сите 1,25 мм; Пр (без уплот.) без виброуплотнения и при мокром севе на сите 1,25 мм  
**Fig. 5.** Segregation resistance SCC according to the indicators of solution separation: P1(SR1) on a 2,5 mm sieve; P2(SR2) on a 1,25 mm sieve; Pr (vibration) with vibration compaction and wet sieving on a 1,25 mm sieve; Pr (without vibration) without vibration compaction and wet sieving on a 1,25 mm sieve

1. Минимальные уровни начальных значений подвижности по показателям распылов:  $P_K - 77$  см;  $P_{KH} - 28$  см;  $P_K - 20$  см.
2. Допустимые отклонения по величине В/Т отношения должны составлять не более минус 5% от рекомендуемого паспортного значения.
3. Допустимое снижение подвижности по показателям распылов рекомендуется принимать не более чем на 10% от начального значения.
4. Рекомендуется назначать минимальную продолжительность сохранения подвижности не менее 20–30 мин.
5. При повышении температуры происходит резкое снижение продолжительности сохранения подвижности «холодных» бетонных смесей в результате интенсивной экзотермии в раннем возрасте. Это следует учитывать при изменении температуры укладки путем сокращения объема укладки или непрерывного перемешивания смесей.
6. Водоотделение «холодных» СУМБС следует снижать до значений не более 0,3% (по отношению к общей массе смеси).

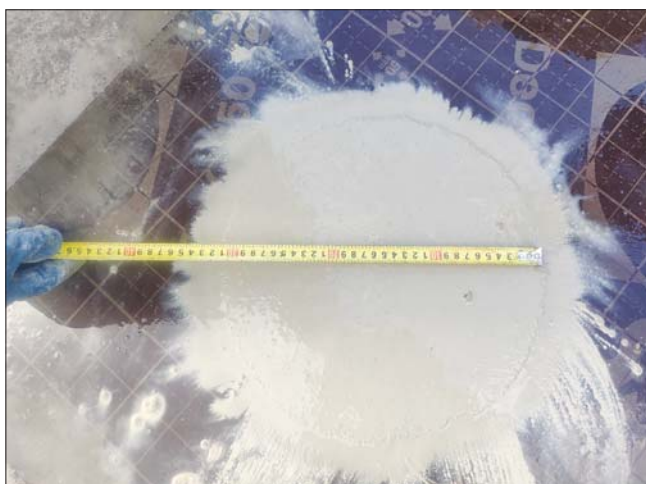


Рис. 6. Расслоение и водоотделение СУМБС в процессе пробного замеса СУМБС (фото предоставлено НИИЖБ им. А. А. Гвоздева)

Fig. 6. Segregation and water separation of SCC in the process of trial mixing of SCC (photo courtesy of "The A.A. Gvozdev NIIZHВ" of JSC «Research Center of Construction»)

7. Водоудерживающую способность «холодных» СУМБС следует принимать **не менее 95%** (по отношению к массе воды).

8. Для определения водоудерживающей способности (водоотделения) по методике ГОСТ 5802 п. 5 для «холодных» СУМБС рекомендуется выполнять охлаждение металлического кольца и стеклянной пластины до минимальной температуры укладки бетонной смеси.

9. С целью недопущения снижения устойчивости к расслоению применение виброуплотнения СУМБС не допускается.

10. СУМБС обладают высокой плотностью структуры с коэффициентом уплотнения **1,01–1,03**.

Полученные результаты исследования могут быть использованы для разработки технологической документации по применению «холодных» СУМБС на основе цементных ССС, а также при подготовке нормативно-технических документов по технологии зимнего бетонирования стыковых соединений сборных железобетонных конструкций (в том числе Приложения Ж СП 335.1325800.2017

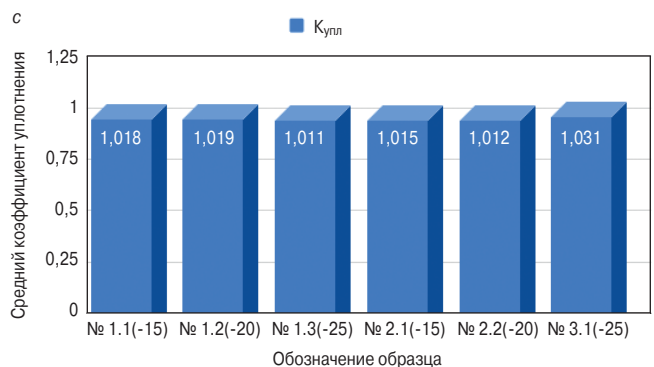
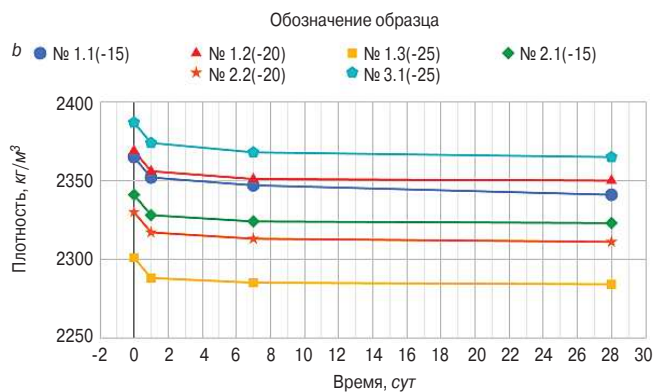
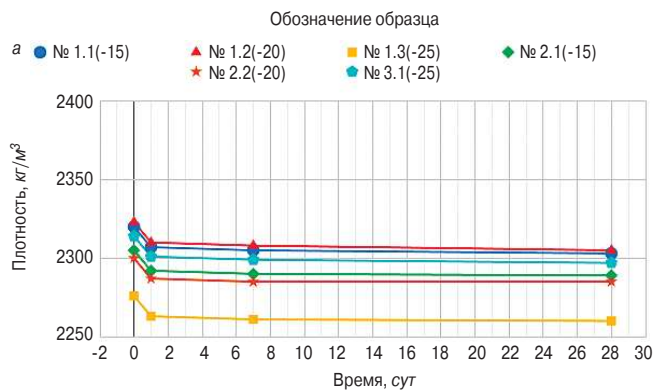


Рис. 7. Результаты исследования коэффициентов уплотнения СУБС: а – плотность невибрированных образцов (серия 1); б – плотность вибрированных образцов (серия 2); с – средний коэффициент уплотнения за время твердения образцов

Fig. 7. The results of the study of the coefficient of compaction of the SCC: а – the density of the non-vibrated samples (series 1); б – the density of the vibrated samples (series 2); с – the average coefficient of compaction during the hardening of the samples

«Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования»). Применение СУМБС для бетонирования стыковых соединений позволяет реализовать многообразие конструктивных решений сборных конструкций и способствует развитию индустриального строительства. Перспективным направлением дальнейших исследований является определение кинетики изменения физико-механических характеристик и экзотермии «холодных» СУМБС при отрицательной температуре для возможности интенсификации технологий зимнего бетонирования.

## Список литературы / References

1. Мухамедиев Т.А., Кудинов О.В. Увеличение этажности сборных крупнопанельных зданий // *Бетон и железобетон*. 2006. № 3. С. 7–9.
1. Mukhamediev T.A., Kudinov O.V. Increase in the number of floors of prefabricated large-panel buildings. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2006. No. 3, pp. 7–9. (In Russian).
2. Alfred A. Yee, Hon. D. Structural and economic benefits of precast/prestressed concrete construction. *PCI Journal*. 2001. Vol. 46. No. 4, pp. 34–42. DOI: <https://doi.org/10.15554/pcij.07012001.34.42>
3. Smith R.E. Prefab architecture: a guide to modular design and construction. Hoboken, New Jersey, USA: Published by John Wiley & Sons, Inc. 2010. 366 p.
4. Фаликман В.Р. Бетоны заданной функциональности – «Умные бетоны»: *Материалы конференции ICCX Россия*. СПб. 3–6 декабря 2019. С. 52–63.
4. Falikman V.R. High performance concrete – «Smart concretes». *Materials of the conference ICCX Russia*. St. Petersburg. December 3–6, 2019, pp. 52–63. (In Russian).
5. Singhal S., Chourasia A., Chellappa S., Parashar J. Precast reinforced concrete shear walls: State of the art review. *Structural Concrete*. 2019. Vol. 20. Iss. 3, pp. 886–898. DOI: <https://doi.org/10.1002/suco.201800129>
6. Xiao J., Liu L., Ding T., Xie Q. Experimental study on mechanical behavior of thermally damaged grouted sleeve splice under cyclic loading. *Structural Concrete*. 2020. Vol. 21. Iss. 6, pp. 2494–2514. DOI: <https://doi.org/10.1002/suco.202000092>
7. Sorensen J.H., Hoang L.C., Olesen J.F., Fischer G. Tensile capacity of loop connections grouted with concrete or mortar. *Magazine of Concrete Research*. 2017. Vol. 69. Iss. 17, pp. 892–904. DOI: <https://doi.org/10.1680/jmacr.16.00466>
8. FIB, bulletin No. 43. Structural connections for precast concrete buildings. Guide to good practice. The International Federation for Structural Concrete (*fib*). Lausanne, Switzerland. 2014. 370 p.
9. FIB, bulletin No. 74. Planning and design handbook on precast building structures. Manual/Textbook. The International Federation for Structural Concrete (*fib*). Lausanne, Switzerland. 2014. 313 p.
10. Румянцев Е.В. Особенности технологии применения мелкозернистых бетонов на основе сухих строительных смесей в монолитных стыках крупнопанельных зданий. *Материалы конференции ICCX Россия*. СПб. 1–4 декабря 2020. С. 55–57.
10. Rumyantsev E.V. Features of the technology for the use of fine-grained concrete based on dry construction mixtures in-situ joints of large-panel buildings. *Materials of the ICCX Russia conference*. St. Petersburg. December 1–4, 2020, pp. 55–57. (In Russian).
11. Nehdy M., Elsayed M., Provost-Smith D.J. Investigation of grouted precast concrete wall connections at subfreezing conditions. *Material of Conference “Resilient infrastructure”*. London, GB. 2016. pp. 1–10. [https://www.researchgate.net/publication/304115263\\_INVESTIGATION\\_OF\\_GROUTED\\_PRECAST\\_CONCRETE\\_WALL\\_CONNECTIONS\\_AT\\_SUBFREEZING\\_CONDITIONS#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/304115263_INVESTIGATION_OF_GROUTED_PRECAST_CONCRETE_WALL_CONNECTIONS_AT_SUBFREEZING_CONDITIONS#fullTextFileContent) (Date of access 03.02.2021).
12. Румянцев Е.В., Видякин А.А., Байбурин А.Х. Температурный мониторинг монолитных стыков крупнопанельных зданий при зимнем бетонировании // *Бетон и железобетон*. 2020. № 1 (601). С. 42–48.
12. Rumyantsev E.V., Vidyakin A.A., Bayburin A.Kh. Temperature monitoring of monolithic joints of large-panel buildings during winter concreting. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2020. No. 1 (601), pp. 42–48. (In Russian).
13. Кокки П., Мякеля Х. Строительство в зимних условиях: Теплозащита и экономия энергии / Пер. с фин. В.П. Калинина; Под ред. С.А. Миронова. М.: Стройиздат, 1986. 84 с.
13. Kokki P., Myakel H. Stroitel'stvo v zimnih usloviyah: Teplozashchita i ekonomiya energii [Construction in winter conditions: Heat protection and energy saving. Trans. from Fin. V.P. Kalinina, Edited by S.A. Mironov]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 84 p.
14. Okamura M., Ouchi H. Self-compacting high performance concrete. *Progress in Structural Engineering and Materials*. 1998. Vol. 1. Iss. 4, pp. 378–383. DOI: <https://doi.org/10.1002/pse.2260010406>
15. Self-compacting concrete. *Proceedings of the First International RILEM Symposium*. Edited by A. Skarendahl and O. Petersson. RELEM Publication S.A.R.L., Stockholm, Sweden. 1999. 578 p.
16. Khayat K.H. Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete. *ACI Materials Journal*. 1999. Vol. 96. No. 3, pp. 346–353.
17. Батудаева А.В., Кардумян Г.С., Каприелов С.С. Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей // *Бетон и железобетон*. 2005. № 4. С. 14–18.
17. Batudaeva A.V., Kardumyan G.S., Kapriellov S.S. High-strength modified concrete from self-compacting mixtures. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2005. No. 4, pp. 14–18. (In Russian).
18. Мозгалева Д.А., Головнев С.Г., Мозгалева Д.А. Эффективность применения самоуплотняющихся бетонов при возведении монолитных зданий в зимних условиях // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Строительство и архитектура*. 2014. Т. 14. № 1. С. 33–37.
18. Mozgalev D.A., Golovnev S.G., Mozgaleva D.A. Efficiency of use of self-compacting concretes in the construction of monolithic buildings in winter conditions. *Vestnik YUzhno-Ural'skogogosudarstvennogo universiteta, Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura»*. 2014. Vol. 14. No. 1, pp. 33–37. (In Russian).
19. Минаков Ю.А., Кононова О.В., Анисимов С.Н., Грязина М.В. Управление кинетикой твердения

- бетона при отрицательных температурах // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 4. С. 307–311.
19. Minakov Yu.A., Kononova O.V., Anisimov S.N., Gryazina M.V. Management of concrete hardening kinetics at negative temperatures. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013. No. 4, pp. 307–311. (In Russian).
  20. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
  20. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modificirovannye vysokokachestvennye betony [Modified high-quality concrete]. Moscow: ASV. 2006. 368 p.
  21. Юань Ю., Лин В., Пе Т. Высококачественный цементный бетон с улучшенными свойствами. М.: АСВ, 2014. 448 с.
  21. Yuan Yu., Lin V., Pe T. Vysokokachestvennyj cementnyj beton s uluchshennymi svojstvami [High-performance cement concrete with improved properties] Moscow: ASV. 2014. 448 p.
  22. Banfill P.F.G. Rheology of fresh cement and concrete. *Rheology Reviews 2006*. London, British Society of Rheology. 2006, pp. 61–130.
  23. Hanehara S., Yamada K. Rheology and early age properties of cement systems. *Cement and Concrete Research*. 2008. Vol. 38. Iss. 2, pp. 175–195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.09.006>
  24. Мозгалев К.М., Головнев С.Г. Самоуплотняющиеся бетоны: возможности применения и свойства // *Академический вестник УралНИИПроект РААСН*. 2011. № 4. С. 70–74.
  24. Mozgalev K.M., Golovnev S.G. The self-compacting concrete: possibilities of application and properties. *Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2011. No. 4, pp. 70–74. (In Russian).
  25. Баженов Ю.М., Алимов В.В., Воронин В.В. Наномодифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2017. 198 с.
  25. Bazhenov, Yu.M., Alimov V.V., Voronin V.V. Nanomodificirovannye vysokokachestvennye betony [Nanomodified high-performance concrete]. Moscow: ASV. 2017. 198 p.
  26. Ноцевар А., Кавсич Ф., Вокан-Босилжков В. Rheological parameters of fresh concrete – comparison of rheometers. *GRADEVINAR 65*. 2013. No. 2, pp. 99–109.
  27. Ken W.D., Aldred J., Hudson B. Concrete mix design, quality control and specification. N.Y.: CRC Press. 2017. 349 p.
  28. Roussel N. Rheology of fresh concrete: from measurements to predictions of casting processes. *Materials and Structures*. 2007. Vol. 40. Iss. 10, pp. 1001–1012. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-007-9313-2>
  29. Ghafoori N., Diawara H. Influence of temperature on fresh performance of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*. 2010. Vol. 24. Iss. 6, pp. 946–955. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.01.009>
  30. Petit J.-Y., Wirquin E., Khayat K.H. Effect of temperature on the rheology of flowable mortars concrete. *Cement & Concrete Composites*. Vol. 32. Iss. 1. January 2010, pp. 43–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.10.003>
  31. Schmidt W., Brouwers H.J.H., Kuhne H.C., Meng B. Influences of superplasticizer modification and mixture composition on the performance of self-compacting concrete at varied ambient temperatures. *Cement & Concrete Composites*. Vol. 49. May 2014, pp. 111–126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.12.004>
  32. Fernandez-Altable V., Casanova I. Influence of mixing sequence and superplasticiser dosage on the rheological response of cement pastes at different temperatures. *Cement and Concrete Research*. Vol. 36. Iss. 7. July 2006, pp. 1222–1230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.02.016>
  33. Mohd Z., Lai F.C. Sustainable high performance Self-compacting concrete by using new Antifreeze superplasticiser for the cold & Hot weather concreting. *Proceedings of ICACS 2003*, 17–19 September 2003, Xuzhou, China, pp. 985–989.
  34. Benaicha M., Roguiez X., Jalbaud O., Burtschell Y., Alaoui A.H. Influence of silica fume and viscosity modifying agent on the mechanical and rheological behavior of self compacting concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 84. Iss. 1. June 2015, pp. 103–110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.061>
  35. Benaicha M., Roguiez X., Jalbaud O., Burtschell Y., Alaoui A.H. New approach to determine the plastic viscosity of self-compacting concrete. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. Vol. 10. Iss. 2. June 2016, pp. 198–208. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11709-015-0327-5>
  36. Иванов Д.А., Молодин В.В. Влияние миграции влаги на прочность бетона при его укладке на мерзлое бетонное основание. *Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VII очной Международной научно-практической конференции* / Под ред. Ф.К. Абдразакова. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2018. С. 129–140.
  36. Ivanov D.A., Molodin V.V. The effect of moisture migration on the strength of concrete when it is laid on a frozen concrete base. Current problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply. *Materials of the VII full-time International Scientific and Practical Conference*. Edited by F.K. Abdrazakov. Saratov: Saratov GAU. 2018, pp. 129–140. (In Russian).
  37. Плотников В.В. Химия вяжущих материалов и бетонов: Справочник: Учебное пособие. М.: АСВ, 2015. 400 с.
  37. Plotnikov V.V. Himiya vyazhushchih materialov i betonov. [Chemistry of binding materials and concretes]. Reference: Tutorial. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities. 2015. 400 p.





# К 90-летию профессора Веслава КУРДОВСКИ

## Талант служения науке

Цемент – хлеб строительства. Бетон – композиционный материал, который приобретает свойства в результате гидратации цемента. Оба известные выражения – народное и из EN 206 выделяют роль вяжущего в строительной сфере. Масштабы производства цемента и его применения в бетоне характеризуют уровень развития любой страны мира. Технологический прогресс достигается за счет накопления и реализации фундаментальных и прикладных знаний.

Польше повезло. Не одно десятилетие исследования в области цемента и бетона на стыке науки с практикой возглавляет ученый с мировым именем, профессор Веслав Курдовски. Результатом его вклада в науку и технологию цемента, бетона, керамики и стекла стали две фундаментальные монографии. Первая – «Химия цемента и бетона» на польском (Kurdowski W. *Chemia cementu i betonu*. Kraków, Polski cement, 2010. 728 s.) и английском языках (Kurdowski W. *Cement and Concrete Chemistry*. Heidelberg, New-York, London. Springer, 2014. 669 p.). В них энциклопедически представлен спектр вопросов клинкообразования, гидратации клинкерных фаз цемента, химических и минеральных добавок, обычных и специальных цементов, традиционных и новых бетонов. Вторая – «Химические основы минеральных строительных материалов» (Kurdowski W. *Podstawy chemiczne mineralnych materiałów budowlanych i ich właściwości*. Kraków, Polski cement, 2018. 368 s.) посвящена приложению некоторых разделов физической и коллоидной химии, кристаллохимии, термодинамики и др. к решению задач строительного материаловедения.

Путь в науку и технологии стройматериалов автор монографий начал в 1949 г. в одном из ведущих польских вузов – Краковской горно-металлургической академии (AGH). Он изучал минералогии и керамику и по окончании академии получил степень магистра.

Затем до 1980 г. работа в Институте вяжущих материалов в Ополе и Кракове была посвящена исследованиям минерализации клинкеров и др. Формированию европейского научного уровня способствовали стажировки в Брюсселе и Париже.

В период активной научно-педагогической деятельности в AGH (1980–2001) В. Курдовски разрабатывает быстротвердеющие, расширяющиеся и другие цементы, решает задачи экономии топлива, повышения коррозионной стойкости бетона. Он консультирует практически все польские цементные заводы. При его непосредственном участии развивается цементная промышленность Алжира, Туниса, Ливии и Ирака.

В 2001–2019 гг. профессор В. Курдовски – сотрудник Института керамики и стройматериалов в Кракове.

Постоянны и плодотворны его международные контакты с известными учеными – профессорами Н. Тейлором (Англия), И. Штарком (Германия), Я. Скальни (США), М. Регуром (Франция), П.-К. Айчином (Канада). Тесные и дружеские узы связывали В. Курдовски с учеными России – профессорами В. Тимашовым, А. Бойковой; Украины – О. Мчедловым-Петросяном и др. С одним из авторов этих строк до сего дня сохраняются постоянные научные контакты. В 1995 г. польскому коллеге присвоено звание почетного профессора Харьковского университета строительства и архитектуры.

Профессор Курдовски – неперенный участник международных конгрессов по химии цемента. Первый доклад на тему «Быстротвердеющий и высокопрочный цемент из одного клинкера» он представил в 1974 г. на конгрессе в Москве. На конгрессах в Париже, Рио-де-Жанейро и Праге он был членом научных комитетов.

Более 50 лет назад профессор Курдовски основал и стал главным редактором международного издания – журнала «Cement-Wapno-Beton» (CWB). Сегодня это журнал, издающийся на польском и английском языках, публикации в котором отражаются в научной базе Scopus. Каждый выпуск CWB формируется из статей ученых разных стран после рецензирования. Авторитет издания стал основанием для занесения в Филадельфийский список престижных научных журналов мира.

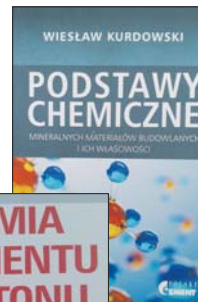
Высокая позиция ученого подкрепляется прекрасными человеческими качествами. Искренность, доброжелательность, обязательность – черты интеллигентного, даже аристократично устроенного человека. На конференциях и семинарах ученый стремится к научной объективности, передаче опыта представителям науки и производства.

Вне научных занятий Веслав – душа компании. Удивляет знание интересных, в том числе пикантных историй, шуток, анекдотов на разных языках. Приятно слышать из его уст песни Вертинского, Бернеса, Высоцкого. Непременна при этом дегустация хорошего французского вина.

Неиссякаемая энергия в поиске новых сведений о цементе и бетоне привела профессора к одному незамеченному ранее факту. В результате изучения состояния конструкций моста в г. Кельце (Польша) после многолетней эксплуатации методами электронной микроскопии и рентгеновского анализа установлено взаимодействие цементной матрицы с арматурной сталью за счет диффузии вначале ионов железа, а затем ионов кальция из слоя портландита в переходной зоне. Высокая щелочность среды ( $pH \approx 12,5-13,5$ ) не приводит к коррозии металла и обуславливает эффект самозалечивания микротрещин в контактной зоне. В настоящее время готовится к печати новое издание В. Курдовски – «Справочник технолога цементного производства».

Может ли бетон быть красивым? – риторический вопрос сына лесника и маститого ученого в одном лице. В неопубликованном эссе он утверждает сходство красоты живой природы – цветов, бабочек, пчел с красотой структуры кристаллов этрингита, портландита, нанокристаллов CSH-фазы...

Служение науке – вот смысл и содержание трудовой жизни талантливого ученого и замечательного человека Веслава Курдовски, чей юбилей друзья и коллеги отметили 11 мая 2021 г.



*А. Уиеров-Маршак, профессор,  
Харьковский национальный университет  
строительства и архитектуры, Украина  
Я. Малолепши, профессор,  
Горно-металлургическая академия  
им. Станислава Сташица, Краков, Польша  
Т. Кузнецова, профессор,  
Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия*

Ю.А. ГОНЧАРОВ<sup>1</sup>, инженер, председатель Совета директоров,  
Г.Г. ДУБРОВИНА<sup>1</sup>, инженер, технический советник (dubrovina\_gg@mail.ru);  
О.В. КОЗУНОВА<sup>2</sup>, канд. техн. наук (kozunova@gmail.com), начальник проектно-конструкторского отдела

<sup>1</sup> Корпорация «ВОЛМА» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 24)

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ) (246653, Республика Беларусь, г. Гомель, ул. Кирова, 34)

## Надежность и долговечность каркасных домов с применением армированных цементно-перлитовых панелей

Рыночная экономика постоянно указывает на способы рационального использования ограниченных ресурсов. Инновационные технологии при создании архитектурных объектов направлены на сохранение окружающей среды и сбережение энергии. Концепция формирования «умного здания», использующая технические инновации будущего, сложную интегрированную экологическую систему, служит повышению комфорта жилой среды и экономии энергоресурсов, улучшению экологических условий. В современном каркасном здании несущий каркас состоит из колонн и ригелей, выполненных в виде балок с четвертями для опирания конструкций перекрытий. Колонны и ригели образуют несущие рамы, воспринимающие вертикальные и горизонтальные нагрузки здания. Наружные стены каркасных зданий могут быть самонесущими. В этом случае они опираются непосредственно на фундаменты или на фундаментные балки, установленные на столбчатые фундаменты. Несущие стены в виде навесных панелей прикрепляют к наружным колоннам каркаса. На территории Республики Беларусь в каркасных зданиях используются каркасно-обшивные стены с применением цементно-перлитовых или цементно-керамзитовых панелей и стальных гнутых оцинкованных профилей. Инновационная технология строительства с помощью цементных плит имеет следующие преимущества: абсолютная влагостойкость – без разбухания или крошения; стойкость к климатическим воздействиям; морозостойкость, подтвержденная испытаниями; долговечность; возможность создания криволинейных поверхностей; ударопрочность и износостойчивость.

**Ключевые слова:** каркасные здания, каркасно-обшивные стены, армированные цементно-перлитовые панели, стальные гнутые оцинкованные профили, фасад, надежность, долговечность.

**Для цитирования:** Гончаров Ю.А., Дубровина Г.Г., Козунова О.В. Надежность и долговечность каркасных домов с применением армированных цементно-перлитовых панелей // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 16–21.  
DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-16-21>

YU.A. GONCHAROV<sup>1</sup>, Engineer, Chairman of the Board of Directors, G.G. DUBROVINA<sup>1</sup>, Engineer, Technical Adviser (dubrovina\_gg@mail.ru);  
O.V. KOZUNOVA<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), (kozunova@gmail.com), Head of the Design Department

<sup>1</sup> VOLMA Corporation (24, Kozlova Street, Minsk, 220037, Republic of Belarus)

<sup>2</sup> Belorussian State University of Transport (34, Kirova Street, Gomel, 246653, Republic of Belarus)

### Reliability and Durability of Frame Houses with the Use of Reinforced Cement-Perlite Panels

The market economy constantly points to ways to use limited resources efficiently. Innovative technologies when creating architectural objects are aimed at preserving the environment and saving energy. The concept of forming a “smart building”, using the technical innovations of the future, a complex integrated environmental system, serves to increase the comfort of the living environment and save energy resources, improve environmental conditions. In a modern frame building, the load-bearing frame consists of columns and cross-bars made in the form of beams with quarters to support the floor structures. Columns and cross-bars form load-bearing frames that take the vertical and horizontal loads of the building. The exterior walls of frame buildings can be self-bearing. In this case, they are supported directly on the foundations or on the foundation beams installed on the columnar foundations. Load-bearing walls in the form of curtain panels are attached to the outer columns of the frame. On the territory of the Republic of Belarus, frame buildings use frame-clad walls with the use of cement-perlite or cement-expanded clay panels and steel bent galvanized profiles. The innovative technology of construction using cement slabs has the following advantages: absolute moisture resistance-without swelling or crumbling; resistance to climatic influences; frost resistance, confirmed by tests; durability; the ability to create curved surfaces; impact resistance and wear resistance.

**Keywords:** frame buildings, frame-clad walls, reinforced cement-perlite panels, steel bent galvanized profiles, facade, reliability, durability.

**For citation:** Goncharov Yu.A., Dubrovina G.G., Kozunova O.V. Reliability and durability of frame houses with the use of reinforced cement-perlite panels. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 16–21. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-16-21>

Каким бы проектировщик и заказчик ни видели будущий дом, основными функциями фасада остается снижение теплопотерь через внешние стены и защита несущих конструкций здания от погодных воздействий [1, 2]. Строительство находится в зависимости также не только от климатических условий, но и от наличия местных строительных материалов, квалифицированных работников и действующих строительных норм. Специалисты компании «Корпорация ВОЛМА-Бел» на основании собственного многолет-

него опыта производства гипсокартона и строительства нового завода «Белгипс» в РБ разработали новую линию и рецептуру армированных цементно-перлитовых панелей из белорусского цемента и сырья. Данные панели эффективно используются в легких стальных тонкостенных конструкциях (ЛСТК) [3].

Конструкция стеновой панели ЛСТК приведена на рис. 1.

Преимущества ЛСТК: быстрый монтаж в любое время года; эффективное энергосбережение; долго-

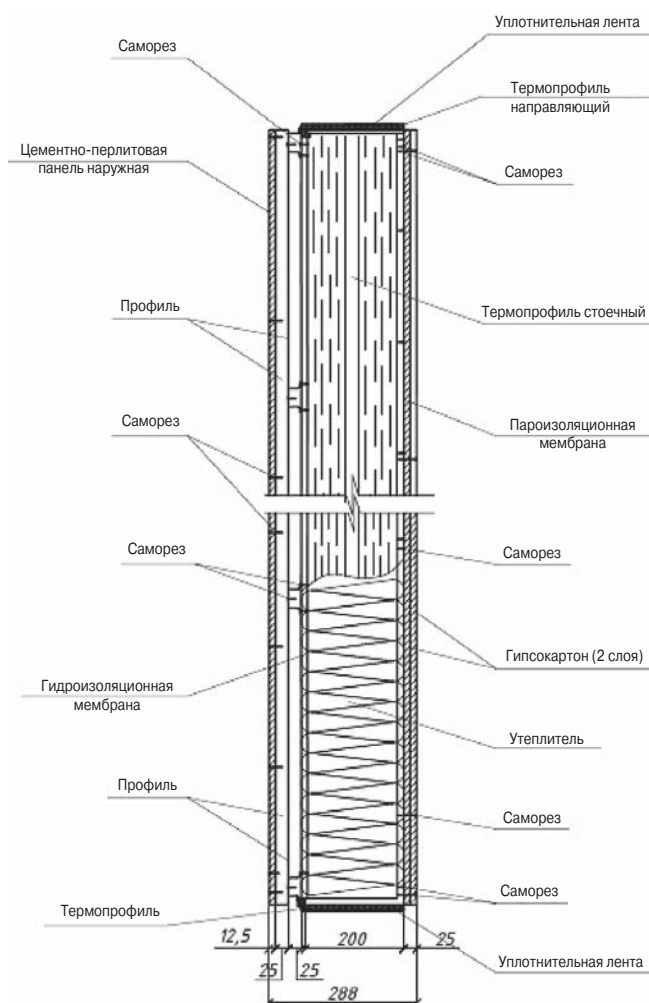


Рис. 1. Конструкция стеновой панели легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК)

Fig. 1. Construction of the wall panel of light steel thin-walled structures (LSTK)

вечность и надежность конструкций; малый удельный вес конструкции; экологичность; обеспечение необходимых звукоизоляционных характеристик; пожаробезопасность; стойкость к динамическим, сейсмическим нагрузкам; низкая эксплуатационная стоимость; возможность воплощения уникальных дизайнерских стилей с помощью фасадного декора.

Применяемые в каркасном строительстве армированные цементно-перлитовые панели экологичны в производстве, при монтаже и эксплуатации; конструкции монтируются быстро и легко, вместе с тем они надежны и долговечны, устойчивы к различным внешним воздействиям. Армированные цементно-перлитовые панели представляют собой изделие

прямоугольной формы из мелкозернистого легкого бетона, плоскости которого армированы щелочестойкой стеклянной сеткой, за исключением торцевых обрезных кромок (рис. 2). Как правило, выпускают цементные панели размером  $2400 \times 1200 \times 12$  мм;  $2400 \times 1200 \times 9$  мм. Цементные панели выпускаются двух видов: внутренняя и наружная. Внутренняя цементная панель представляет собой надежную основу для любого (даже плиточного) покрытия, что позволяет использовать ее для облицовки душевых, ванн, бассейнов, бань, саун и других помещений с постоянной влажностью более 85%. Наружная панель цементно-перлитовая применяется при устройстве фасадов и элементов ландшафтного дизайна. Наружные панели отличаются повышенной прочностью, абсолютной стойкостью к неблагоприятным атмосферным воздействиям, а также имеют высокую морозостойкость (выдерживают свыше семидесяти пяти циклов замораживания-оттаивания). Гладкая и ровная поверхность плит дает возможность в процессе конечной отделки обойтись без нанесения толстых слоев штукатурки. Толщина панели 12,5 мм и технология монтажа, аналогичная гипсокартону, позволяют успешно совмещать эти материалы в одной конструкции.

Армированные цементно-перлитовые панели негорючие, прочные, гибкие, влагостойкие, устойчивы к грибку, плесени и агрессивному химическому воздействию, легки в обработке, совместимы с широким спектром применяемых отделочных материалов [4–6].

Они нашли широкое применение в строительстве: для возведения стен любой формы; для устройства перегородок; для возведения конструкций в неотапливаемых помещениях (подвалы, склады и т. д.); для выполнения облицовочных работ конструкций различной формы внутри и снаружи зданий и сооружений; для выполнения работ по устройству полов, конструкций, подвергающихся значительным нагрузкам.

Примеры применения армированных цементно-перлитовых панелей приведены на рис. 3.

Несмотря на многообразие индивидуальных домов, строящихся в мире из обычных, изготовленных индустриальным способом цементных панелей, они могут соответствовать самым высоким художественно-эстетическим, архитектурным требованиям и социальной значимости (престижности) здания [7–10] благодаря применению фасадных элементов (рис. 4) и защитно-декоративной отделке.

Наружные ограждающие конструкции в наибольшей степени подвержены воздействию неблагоприятных

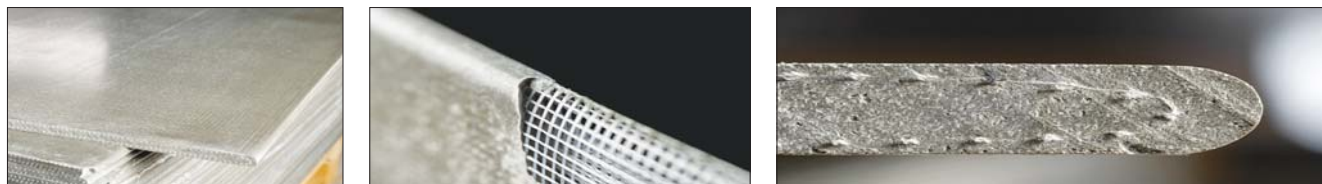


Рис. 2. Армированные цементно-перлитовые панели

Fig. 2. Reinforced cement-perlite panels



Рис. 3. Применение цементно-перлитовых панелей в строительстве  
Fig. 3. Application of cement-perlite panels in construction

ятных факторов: атмосферным осадкам, ветрам, действию термических и механических нагрузок, ультрафиолетовому облучению (Альбом технических решений КНАУФ Аквапанель Наружная стена. Наружные ненесущие каркасно-обшивные стены с каркасом из стальных тонкостенных холодногнутых оцинкованных профилей с применением материалов КНАУФ. 2018. 175 с.). На рис. 5 представлены все факторы, воздействующие на армирующую цементно-перлитовую панель с защитно-декоративным покрытием в каркасном здании.

При анализе долговечности защитно-декоративного слоя на цементной подложке установлено, что количество химически связанной воды в поверхностном слое на 14,5% меньше по сравнению с внутренними слоями. Как следствие, капиллярная пористость поверхностного слоя увеличивается на 25–44%, это свидетельствует о дифференциации структуры цементной панели. Экспериментальный расчет количества циклов морозостойкости для бетонов ведут по формуле Г.И. Горчакова (Горчаков Г.И. и др. Состав, структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1976. 145 с.; Горчаков Г.И. и др. Трещиностойкость и водостойкость легких бетонов. М.: Стройиздат, 1971. 180 с.):

$$M = 14(1 - P)^b, \quad (1)$$

где  $P$  – объем капиллярных пор, %.

Расчетная морозостойкость поверхностного слоя цементной плиты меньше, чем морозостойкость внутреннего слоя. Фактически полученная морозостойкость – 150 циклов гарантирует долговечность армированных цементно-перлитовых панелей.

Таким образом, соответствующий состав армирующих цементно-перлитовых панелей, условия формирования и твердения закладывают дифференциацию структуры и эксплуатационные свойства самой цементной панели во время ее изготовления.

Что касается разрушений защитно-декоративных покрытий на цементных панелях, то одним из самых распространенных видов разрушения покрытий (Логанина В.И., Орендлихер Л.П. Стойкость защитно-декоративных покрытий наружных стен зданий. М.: АСВ, 2000. 104 с.) является нарушение монолитности вследствие растрескивания и отслаивания. Растрескивание покрытий происходит, когда внутренние растягивающие напряжения достигают значения когезионной прочности материала покрытия, т. е.:



Рис. 4. Применение фасадных элементов в строительстве  
Fig. 4. Application of facade elements in construction

$$\sigma = R_{kog}. \quad (2)$$

Таким образом, монолитность отделочного слоя зависит от напряженного состояния покрытий. Внутренние напряжения обусловлены гидратацией цементной составляющей; разностью температур покрытия и подложки как в период производства цементных панелей и нанесения защитно-декоративного слоя, так и в последующей эксплуатации; различием в коэффициентах температурного и влажностного линейного расширения покрытия и подложки (Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. М.: Химия, 1977. 351 с.).

Выбирая систему защитной отделки каркасно-обшивных конструкций, необходимо помнить, что **фасад, как и любой конструкционный строительный элемент здания, должен отвечать хрестоматийной триаде Витрувия: «Прочность, польза, красота».**

На практике, подбирая подходящий тип армированной цементно-перлитовой панели для здания или

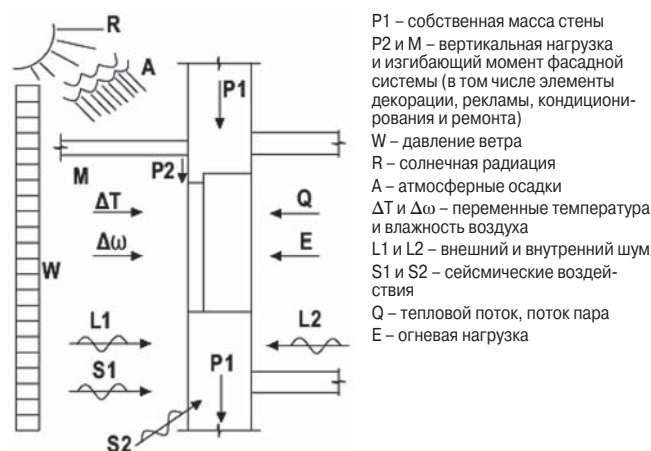


Рис. 5. Воздействие на наружные ненесущие цементные панели в каркасном здании  
Fig. 5. Impact on exterior non-load bearing cement panels in a frame building

сооружения, конструкция которой приведена на рис. 1, в первую очередь необходимо помнить о ее надежности и учитывать выдвинутые требования со стороны конструктивного элемента (наружная стена, внутренняя стена, кровля, потолок), величину и характер нагрузки, и влияние температуры. Дополнительно должны быть также выполнены требования по тепло-техническим свойствам и огнестойкости панелей. В результате выбирается требуемый тип панели и ее параметры – толщина стали армирующего элемента, наполнитель, его толщина, максимальный пролет.

**К понятию надежности предлагаемой конструкции**, как ранее сказано, в комплексе применимы следующие термины и определения, используемые при расчете несущей способности цементно-перлитовой панели в каркасном исполнении:

– *долговечность* – способность панели выдерживать окружающие воздействия, приводящие со временем к снижению механической прочности, вызванные такими факторами, как температура, влажность, постоянные и временные нагрузки, циклы замораживания и оттаивания и их различные комбинации;

– *фасадная панель* – панель, способная в силу своего материала и формы выдерживать собственный вес и все приложенные нагрузки (например, снег, ветер, внутреннее воздушное давление) и передавать эти нагрузки на опоры;

– *ползучесть* – рост прогибов панели под воздействием нагрузки во времени в результате вязкого течения материала панели;

– *стык* – сопряжение по продольным кромкам соседних панелей, обеспечивающее непроницаемое для влаги соединение панелей в одной плоскости.

Необходимо отметить, что стыки могут включать дополнительные элементы, которые усиливают механические свойства конструкции, а также улучшают тепловые, акустические и противопожарные свойства и ограничивают движение воздуха; стыки не охватывают сопряжение разрезных панелей или сопряжение, в котором панели не соединены в одной и той же плоскости.

**Проверку несущей способности** цементно-перлитовых панелей (далее – панелей) следует производить путем расчетов и/или испытаний так, чтобы удовлетворялось требование уравнения (3). Внутренние напряжения от эксплуатационных или особых нагрузок должны быть равны или менее расчетных напряжений, либо деформации от нагрузок должны быть меньше расчетных (по формуле 4). Допускается при подборе фасадных панелей использовать значения несущей способности, представленные в табличных формах.

Предельное состояние по потере несущей способности:

$$\sum \gamma_f \Psi_i S_{ki} \leq \frac{R_n}{\gamma_m}, \quad (3)$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузкам;  $\Psi_i$  – коэффициент сочетаний нагрузок;  $S_{ki}$  – нормативное значение воздействия;  $R_n$  – нормативное или

экспериментальное значение сопротивления материала;  $\gamma_m$  – коэффициент надежности по материалу.

Предельное состояние по деформациям:

$$f \leq f_u, \quad (4)$$

где  $f$  – прогиб (выгиб) и перемещение элемента конструкции (или конструкции в целом);  $f_u$  – предельный прогиб (выгиб) или перемещение.

Нагрузки и воздействия должны учитываться в расчетах и приниматься в соответствии с положениями СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07–85\* «Нагрузки и воздействия». Их следует рассматривать либо индивидуально, либо в сочетаниях с использованием коэффициентов сочетания.

*Постоянные нагрузки*, учитываемые в расчете, должны включать собственную массу панели (расчитанную исходя из номинальных размеров и средней плотности); массу любых постоянных элементов конструкции, которые оказывают воздействие непосредственно на панель; постоянно действующие деформации.

*К кратковременным нагрузкам* относят вес людей, ремонтных материалов в зонах ремонта или обслуживания; снеговые нагрузки с полным расчетным значением; температурные климатические воздействия с полным нормативным значением; ветровые нагрузки.

*К особым нагрузкам* относятся сейсмические воздействия; взрывные воздействия; нагрузки, вызываемые столкновением транспортных средств с частями сооружения; нагрузки, обусловленные пожаром; ползучесть материала панелей.

Нагрузками, определяющими в первую очередь надежность и долговечность стеновых и кровельных ограждений, являются: ветровые, снеговые нагрузки и температурные воздействия.

Для вертикальных стен прямоугольных в плане зданий ветровая нагрузка определяется с требованиями СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07–85\* «Нагрузки и воздействия», раздел 11. Ветровая нагрузка для стены представляет собой совокупность нормального давления  $W_e$ , приложенного к внешней поверхности стены, и нормального давления  $W_i$ , приложенного к внутренним поверхностям стены с открывающимися или постоянно открытыми проемами.

*Снеговые нагрузки* определяются в соответствии с предписаниями раздела 10 СП 20.13330.2011. *Температурные градиенты*, обусловленные различием между температурой наружного воздуха  $T_1$  и температурой  $T_2$  внутри объекта, носят характер кратковременного воздействия. В соответствии с примечанием п.13.3 СП 20.13330.2011 для многослойных конструкций необходим *теплотехнический расчет*.

*Предельное состояние по потере несущей способности* (первое), которое соответствует максимальной несущей способности панели, должно характеризоваться одним из следующих видов разрушения индивидуального либо комбинированного действия: пластическая деформация панели с последующим раз-

рушением; местная потеря устойчивости панели с последующим разрушением; разрушение панели при срезе; разрушение соединения между армирующим слоем панели и сердечником цементно-перлитовым; разрушение между защитно-декоративным слоем и самой панелью на опоре; разрушение панелей в местах крепления к опорной конструкции.

Учитывая сочетания нагрузок для предельного состояния по потере несущей способности, необходимо произвести при проектировании ряд расчетов.

1. Расчет конструкций панелей ведется по первому и второму предельным состояниям с учетом наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузок. Эти сочетания устанавливаются из анализа реальных вариантов одновременного действия различных нагрузок для рассматриваемой стадии работы конструкции.

2. При расчете панелей следует учитывать следующие сочетания нагрузок: а) основное сочетание, состоящее из постоянных, длительных и кратковременных нагрузок; б) особые сочетания, состоящие из постоянных, длительных, кратковременных и одной из особых нагрузок.

Таким образом, расчет армированных цементно-перлитовых панелей сводится к проверке запроектированной конструкции многослойной неоднородной панели по несущей способности и деформациям.

### Выводы

Армированные цементно-перлитовые панели экологичны в производстве, при монтаже и эксплуатации; конструкции монтируются быстро и легко,

### Список литературы

1. Гончаров Ю.А., Дубровина Г.Г. Достижение эргономичности в архитектуре за счет применения декора фасадного на основе минеральной ваты // *Строительные материалы*. 2019. № 3. С. 14–18. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-14-18>
2. Гришнева Е.А. Повышение энергоэффективности строительства объектов недвижимости с использованием концепции «Умный дом» // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 429–444.
3. Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Карпова А.О. Фасадные системы: прочность, польза, красота // *Вестник МГСУ*. 2015. № 10. С. 201–207.
4. Бударин Е.Л., Сапрыкина Н.А. Особенности принципа эргономичности в архитектуре и дизайне современного жилища // *Онтология проектирования*. 2016. Т. 6. № 2 (20). С. 205–215. [http://agora.guru.ru/scientific\\_journal/files/Ontology\\_Of\\_Designing\\_2\\_2016\\_st.pdf](http://agora.guru.ru/scientific_journal/files/Ontology_Of_Designing_2_2016_st.pdf)
5. Шубин И.Л., Аистов В.А., Пороженко М.А. Звукоизоляция ограждающих конструкций в многоэтажных зданиях. Требования и методы обеспечения // *Строительные материалы*. 2019. № 3. С. 33–43. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-33-43>

вместе с тем они надежны и долговечны, устойчивы к различным внешним воздействиям.

Наружная панель цементно-перлитовая применяется при устройстве фасадов и элементов ландшафтного дизайна. Наружные панели отличаются повышенной прочностью, абсолютной стойкостью к неблагоприятным атмосферным воздействиям, а также имеют высокую морозостойкость (выдерживают до ста пятидесяти циклов замораживания-оттаивания).

Гладкая и ровная поверхность плит позволяет в процессе конечной отделки обойтись без нанесения толстых слоев штукатурки.

Технология монтажа цементных панелей аналогична монтажу гипсокартона, что позволяет успешно совмещать названные материалы с индустриальными толщинами в конструкции каркасного дома.

Панели для наружной стены эффективно применяются в качестве несущих стен в малоэтажном домостроении и в качестве ненесущих каркасно-обшивных конструкций — в многоэтажном.

Инновационная технология строительства с помощью цементных плит может стать альтернативой традиционным методам возведения зданий из массивных материалов и имеет следующие преимущества: абсолютная влагостойкость — без разбухания или крошения; стойкость к климатическим воздействиям; морозостойкость, подтвержденная испытаниями; долговечность; возможность создания криволинейных поверхностей; ударопрочность и износоустойчивость.

### References

1. Goncharov Y.A., Dubrovina G.G. Achievement of ergonomics in architecture due to the use of façade décor on the basis of mineral wool. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 3, pp. 14–18. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-14-18>
2. Grishneva E.A. Increase of power efficiency in real estate objects construction with implementation of “Smart Home” concept. *ACADEMIA. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2010. No. 3, pp. 429–444. (In Russian).
3. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Karpova A.O. Facade Systems: durability, utility and beauty. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 10, pp. 201–207. (In Russian).
4. Budarin E.L., Saprykina N.A. Features of the principle of ergonomics in architecture and design of the modern housing. *Ontologia proektirovaniya*. 2016. Vol. 6. No. 2 (20), pp. 205–215. [http://agora.guru.ru/scientific\\_journal/files/Ontology\\_Of\\_Designing\\_2\\_2016\\_st.pdf](http://agora.guru.ru/scientific_journal/files/Ontology_Of_Designing_2_2016_st.pdf) (In Russian).
5. Shubin I.L., Aistov V.A., Porozhenko M.A. Sound Insulation of enclosing Structures in high-rise Buildings. Requirements and Methods of Support. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 3, pp. 33–43. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-33-43> (In Russian).

6. Деркач В.Н., Горшков А.С., Орлович Р.Б. Проблемы трещиностойкости стенового заполнения каркасных зданий из ячеисто-бетонных блоков // *Строительные материалы*. 2019. № 3. С. 52–56. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-52-56>
  7. Стефаненко И.В. Эффективный рост высоких технологий в строительной индустрии // *Строительство и реконструкция*. 2011. № 5 (37). С. 95–98. <http://oreluniver.ru/public/file/archive/5-37.pdf> (дата обращения 08.09.18).
  8. Безденежных М.А., Муниева Э.Ю., Жуков А.Д. Строительные материалы и экология // *Перспективы науки*. Тамбов. 2017. № 11 (98). С. 39–42. [http://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/98/science-prospect-11\(98\)--main.pdf](http://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/98/science-prospect-11(98)--main.pdf) (дата обращения 05.11.18).
  9. Бурьянов А.Ф., Морозов И.В., Гальцева Н.А., Локтионова А.А., Шалимов В.Н., Ильин Д.А. Исследование эффективных способов использования отходов производства теплоизоляционных плит PIR // *Строительные материалы*. 2019. № 3. С. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-68-72>
  10. Калабин А.В., Куковьякин А.Б. Массовая жилая застройка: проблемы и перспективы // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2017. № 3 (34). С. 55–60.
6. Derkach V.N., Gorshkov A.S., Orlovich R.B. Problems of crack resistance of wall filling of frame buildings of cellular concrete blocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 3, pp. 52–56. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-52-56> (In Russian).
  7. Stefanenko I.V. Effective development of high the technologies in bulding industry. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2011. No. 5 (37), pp. 95–98. <http://oreluniver.ru/public/file/archive/5-37.pdf> (Date of access 08.09.18). (In Russian).
  8. Bezdenezhnykh M.A., Muniyeva E.Yu., Zhukov A.D. Building materials and environment. *Perspektivy nauki*. 2017. No. 11 (98), pp. 39–42. [http://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/98/science-prospect-11\(98\)--main.pdf](http://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/98/science-prospect-11(98)--main.pdf) (Date of access 05.11.18). (In Russian).
  9. Bur'yanov A.F., Morozov I.V., Gal'tseva N.A., Loktionova A.A., Shalimov V.N., Il'in D.A. The study of effective ways of use of waste of production of heat-insulating plates PIR. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 3, pp. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-68-72> (In Russian).
  10. Kalabin A.V., Kukovyakin A.B. Mass housing estate: problems and prospects. *Akademicheskii vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2017. No. 3 (34), pp. 55–60. (In Russian).



**8–9  
сентября  
2021 г.  
г. Воронеж**

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

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

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

---

**Тематика конференции:**

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

---

**Генеральный информационный спонсор: журнал** 

# Новый завод ЖБИ под Гданьском — максимальная степень автоматизации с продуманной логистикой

## New Reinforced Concrete Plant Near Gdansk — Maximum Degree of Automation with Well-Thought-Out Logistics

Недавно EBAWE Anlagentechnik и Progress Maschinen & Automation (дочерние компании PROGRESS GROUP) ввели к эксплуатации один из наиболее современных заводов по производству сборных железобетонных элементов в Польше, недалеко от Гданьска. Высокосовременный завод оснащен по последнему слову техники с использованием технологий, доступных во всем мире. Построенный для этого новый производственный цех состоит из двух уровней. На нижнем уровне расположена линия циркуляции паллет для производства филигранных/сборных перекрытий и двойных стеновых панелей с теплоизоляцией и без, а также типовых стеновых панелей. На верхнем уровне расположен полностью автоматизированный арматурный участок, состоящий из установки для сварки треугольных арматурных каркасов/ферм, установки для сварки арматурной сетки и магнитной траверсы. Благодаря этой современной машинной технологии заказчик Pekabex способен удовлетворить любые требования местного рынка.

Recently, EBAWE Anlagentechnik and Progress Maschinen & Automation (subsidiaries of the PROGRESS GROUP) have commissioned one of the most modern precast concrete production plants in Poland, near Gdansk. The state-of-the-art plant is equipped with the latest technology using technologies available all over the world. The new production shop built for this purpose consists of two levels. On the lower level there is a pallet circulation line for the production of filigree / prefabricated floors and double wall panels with and without thermal insulation, as well as standard wall panels. On the upper level, there is a fully automated reinforcement section consisting of a plant for welding triangular reinforcement frames/trusses, a plant for welding reinforcement mesh and a magnetic traverse. Due to this state-of-the-art machine technology, the Pekabex customer is able to meet any requirements of the local market.

По словам члена правления Pekabex Group Кристофа Кариона, благодаря новому заводу расширен ассортимент продукции и впервые начали выпускаться двойные стеновые панели. Высокая степень автоматизации привела не только к значительному улучшению качества конечной продукции, но и к высокой производительности за счет ускоренного процесса производства. Удалось увеличить производственные мощности в четыре раза.

### Полностью автоматизированный процесс установки и снятия опалубки

Производственный цикл на новом заводе начинается с подачи паллеты в автоматическую зону распалубочного робота. Паллета сканируется, опалубочные профили в полностью автоматическом режиме поднимаются и подаются на рольганг для чистки и хранения. После прохождения станции чистки и удаления остатков бетона для дальнейшей обработки с помощью ленточного конвейера, разделитель-

ная смазка наносится полностью автоматически на очищенную опалубочную поверхность, при этом исключительно на бетонируемую часть опалубочной поверхности. Затем паллета перемещается к опалубочному роботу.

Опалубочный робот FormMaster выполняет все этапы работы в процессе опалубки полностью автоматически.

### Полностью автоматизированный арматурный участок

Новая установка для сварки арматурной сетки M-System BlueMesh снабжает линию циркуляции паллет необходимыми арматурными сетками. Эта экономичная установка работает с низким энергопотреблением и занимает мало места. Для производства филигранных/сборных перекрытий установка дополнительно оборудована автоматическим устройством для торцевой гибки выступающих частей прутков.





Установка для сварки арматурной сетки BlueMesh® фирмы Progress Maschinen & Automation выпускает требуемые арматурные сетки «точно в срок» и с минимальными затратами. Автоматическая гибочная установка служит для торцевого загиба выступающих частей прутьев Reinforcement mesh welding plant BlueMesh® of Progress Maschinen & Auto Progress Maschinen & Automation's BlueMesh® produces the required reinforcement meshes «just in time» and at minimal cost. The automatic bending machine is used for the end bend of the protruding parts of the bars

Универсальная установка для сварки треугольных арматурных каркасов/ферм VGA Versa обеспечивает качественный и экономичный процесс производства арматуры. Принцип производства «точно в срок» позволяет изготавливать каждый треугольный арматурный каркас/ферму в индивидуальном порядке и с высокой точностью, что исключает затраты на хранение и отходы. Данная установка для сварки треугольных арматурных каркасов/ферм обладает множеством полезных функций, например полностью автоматической регулировкой высоты и автоматическим изменением диаметра проволоки. Треугольные арматурные каркасы/фермы транспортируются с помощью лифта на нижний уровень, а затем укладываются роботом.

**Интегрированная технология циркуляции паллет и компьютерного управления**

Вернувшись на нижний уровень, паллеты с арматурой проходят через лазерную проекционную систему с двумя головками для проверки качества. Кроме того, система фотокамер делает снимок паллеты, который используется для документации и хранения в системе программного управления ebos®.

После бетонирования элементов паллеты направляются на одну из двух станций уплотнения бетонной смеси: установка низкочастотной (горизонтальной) вибрации для филигранных/сборных перекрытий и установка высокочастотной (вертикальной) вибрации для особо тяжелых изделий или двойных стеновых панелей с теплоизоляцией и без.



Благодаря новому заводу ЖБИ в Гданьске компания Pekabex смогла расширить ассортимент своей продукции из филигранных/сборных перекрытий и типовых стеновых панелей двойными стеновыми панелями с теплоизоляцией и без

Due to the new reinforced concrete plant in Gdansk, Pekabex was able to expand its product range from filigree / prefabricated floors and standard wall panels with double wall panels with and without thermal insulation

Для чистки бетонораздатчика на заводе Pekabex предусмотрена моечная тележка, которая собирает загрязненную воду и возвращает ее в смесительную установку для повторного использования.

Паллеты со свежесобетонированными элементами размещаются в камеру твердения для сушки и после затвердевания извлекаются обратно посредством подъемно-передаточной платформы. На следующем этапе филигранные/сборные перекрытия снимаются с паллет, а двойные стеновые панели перемещаются на станцию бетонирования второй скорлупы. Переворачивающее устройство соединяет две скорлупы, включая паллеты, вместе и формирует таким обра-



Вид на новый производственный цех компании Pekabex в Гданьске с бетонораздатчиком, автоматическим переворачивающим устройством и арматурным участком на втором уровне

View of the new Pekabex production facility in Gdansk with a concrete pouring machine, automatic turning device and a reinforcement section on the second level



Благодаря концепции двух производственных уровней на заводе компании Pekabex удалось значительно сократить производственные площади и увеличить места для хранения. Производимые стеновые панели и плиты перекрытия в основном для жилищного строительства используются в проектах в Польше, Швеции и других северных странах

Due to the concept of two production levels at the Pekabex plant, it was possible to significantly reduce production space and increase storage space. The wall panels and floor slabs produced are mainly used for housing construction in projects in Poland, Sweden and other Nordic countries

зом двойную стеновую панель. Затем затвердевшая в камере сушки двойная стеновая панель приводится в вертикальное положение с помощью кантователя и снимается с паллеты цеховым краном.

В качестве комплексного решения для подготовки к работе, производства и анализа процессов на новом заводе в Польше используется программа ebos®. Данная система управления программным обеспечением была разработана компанией Progress Software Development, также входящей в группу Progress.

### С продуманной логистикой к совершенной производственной линии

Новая производственная линия компании Pekabex отличается высочайшим уровнем автоматизации, ма-

лым количеством операторов, высокой скоростью и производительностью. Также было уделено внимание четкому разделению процессов. Это означает, что для каждого конечного продукта существуют отдельные траектории перемещения, и потоки материалов отделены друг от друга и имеют свои точки доступа. Например, Вы можете изготавливать арматурные сетки для внешнего производства, а также специальные изделия без остановки системы. По мнению К. Кариона, этап планирования был очень сложным, но в результате получена совершенная производственная линия. Он высоко оценил плодотворное сотрудничество со специалистами группы Progress при разработке компоновки и на этапе монтажа оборудования.



Kokoszki Prefabrykacja S.A.  
Pekabex Capital Group  
ul. Geodetow 17  
80-298 Gdansk, Poland  
T +48 58 309 33 00  
info@pekabex.pl  
www.pekabex.pl

Kokoszki Prefabrykacja S.A.  
Pekabex Capital Group  
ul. Geodetow 17  
80-298 Gdansk, Polen  
T +48 58 309 33 00  
info@pekabex.pl  
www.pekabex.pl



EBAWE Anlagentechnik GmbH  
Dübener Landstr. 58  
04838 Eilenburg, Germany  
T +49 3423 665 0  
info@ebawe.de  
www.ebawe.de

EBAWE Anlagentechnik GmbH  
Dübener Landstr. 58  
04838 Eilenburg, Deutschland  
T +49 3423 665 0  
info@ebawe.de  
www.ebawe.de



Progress Maschinen & Automation AG  
Julius-Durst-Str. 100  
39042 Brixen, Italy  
T +39 0472 979 100  
info@progress-m.com  
www.progress-m.com

Progress Maschinen & Automation AG  
Julius-Durst-Str. 100  
39042 Brixen, Italien  
T +39 0472 979 100  
info@progress-m.com  
www.progress-m.com



Progress Software Development GmbH  
Julius-Durst-Str. 100  
39042 Brixen, Italy  
T +39 0472 979 900  
info@progress-psd.com  
www.progress-psd.com

Progress Software Development GmbH  
Julius-Durst-Str. 100  
39042 Brixen, Italien  
T +39 0472 979 900  
info@progress-psd.com  
www.progress-psd.com

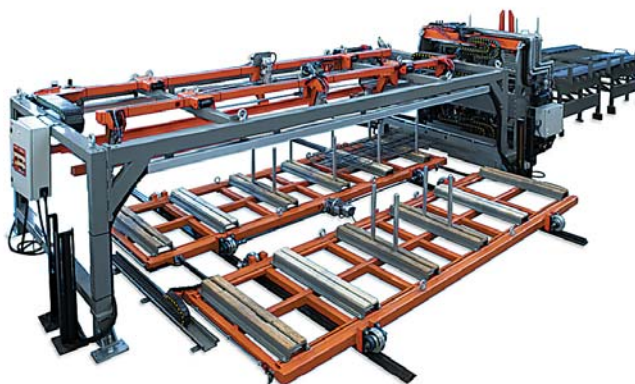
# Автоматические сварочные центры Automatic Welding Centers

Итальянская компания SCHNELL разработала инновационную линейку автоматических сварочных центров для производства плоских каркасов, типа «лесенка», которые используются в большом количестве в железобетонных изделиях как промышленного, так и гражданского строительства.

The Italian company SCHNELL has developed an innovative line of automatic welding centers for the production of flat frames, «ladder» type, which are used in large numbers in reinforced concrete products for both industrial and civil construction.

Компания прислушалась к пожеланиям российских заказчиков и разработала технологию, которая превосходит по многим параметрам имеющиеся на рынке аналоги. Использование такой технологии позволяет полностью автоматизировать процесс производства плоских каркасов и на 99% отказаться от применения ручных одноточечных сварочных машин, распространенных в России, уменьшив таким образом расходы на персонал, электроэнергию и практически исключить отходы арматуры. Инженеры SCHNELL разработали два типа машин: первый тип с подачей продольных и поперечных прутков из бухт; второй тип с подачей продольных стержней каркаса из предварительно нарезанных прутков и поперечных – из бухт.

Преимущество этих решений в том, что машины могут сваривать сразу два независимых каркаса из разных по диаметру продольных стержней и одинаковых по диаметру поперечных, что увеличит номенклатуру производимых каркасов в единицу времени.



Важно обратить внимание на еще одну особенность этого сварочного центра – возможность сварки двух независимых каркасов как с разными продольными диаметрами арматуры, так и с разными диаметрами поперечной арматуры, если подача поперечных прутков осуществляется с разных бухторазмотчиков, при которых каждый из двух сваренных каркасов получает проволоку из своего бухторазмотчика.

Перенастройка на разную ширину каркаса также происходит в автоматическом режиме, путем передвижения сварочных электродов в заданные положения с помощью электромоторов, что ускоряет процесс перехода на производство новых каркасов и исключает человеческий фактор при перенастройке на новые размеры каркасов.

Если подробно рассмотреть номенклатуру выпускаемых каркасов, то можно выделить тот факт, что при программировании каркаса машина позволяет запрограммировать и запустить в производство каркас шириной всего 75 мм между соседними сварочными точками. Это является наилучшим показателем среди всех производителей подобного оборудования. Максимальная же ширина каркаса составляет 1200 мм.

Управление узлами и механизмами сварочного центра осуществляет программное обеспечение на русском языке, позволяющее программировать, хранить все типы каркасов и аккумулировать статистику по произведенным каркасам как в штучном выражении, так и в зависимости от смены того или иного оператора. Такая опция очень полезна для контроля выполняемых работ каждой сменой, каждым оператором. Производитель рекомендует осуществлять работу на станке одному оператору, который прошел подробное обучение технике работы на оборудовании SCHNELL. Обучение проводится в рамках монтажа оборудования, в течение которого оператор заказчика получает допуск к работе на оборудовании SCHNELL.

Что касается работы одного оператора на сварочном центре, то он сам справляется со всеми вспомогательными операциями, такими как загрузка исходного сырья (арматуры) и разгрузка готовых каркасов, размеры которых могут достигать 9000 мм в длину и 1200 мм в ширину, с произвольным шагом продольных и поперечных прутков каркаса.

Еще одной отличительной особенностью технологии является возможность использовать в одном каркасе разные диаметры продольных прутков при подаче из бухты, которые выпрямляются с помощью роторных блоков правки, получая максимально прямые продольные прутки для сварки, обеспечивая идеальную геометрию каркаса, что является особенностью именно оборудования SCHNELL.

# Новая автоматическая сварочная линия для производства сеток с проемами для ДСК

## New Automatic Welding Line for Production of Meshes with Openings for HBF-LPHC

Иновационная компания Schnell Group (Италия) представляет универсальную гибкую многоцелевую систему для производства инженерной электросварной сетки и сетки с проемами, которая идеально подходит для последующего использования в сборных железобетонных элементах – новую автоматическую линию Liberty 4000.

Innovative company Schnell Group (Italy) presents a universal flexible multi-purpose system for the production of engineering electric welded mesh and mesh with openings, which is ideal for subsequent use in precast reinforced concrete elements – the new automatic line Liberty 4000.

В некоторых странах **стандартная сетка**, доступная в больших количествах, широко используется в строительстве для **армирования больших поверхностей бетонного пола, дорог, изготовления плит, стен**. Когда речь заходит об **инженерной сетке** для специального применения, требуются нестандартные инновационные решения. Сетка с различными диаметрами продольных и поперечных прутков, со ступенчатыми и выполненными на заказ внешними размерами, а также сетка с проемами для дверей и окон широко используются в **сборных бетонных элементах**.

Сварочный портал оборудован **моторизованными, подвижными головками**, обеспечивающими сварку благодаря **инверторной технологии**, гарантирующей низкое потребление энергии. Машина оборудована быстрым и **современным программным обеспечением**, обеспечивающим управление процессом сварки и его параметрами, что создает возможность устанавливать количество сварных точек для каждой сетки.

Кроме того, линия легко интегрируется в существующую систему циркуляции поддонов с высокой степенью автоматизации для массового производства сборных железобетонных элементов плоской формы.

Некоторые особенности LIBERTY 4000 делают из нее самую современную технологию из линий сварки сетки для сборного железобетона:

- система правки с помощью вращающихся роторов для обработки как горячекатаного, так и холоднодеформированного проката, уже испытанная на российском рынке;
- сварка с использованием инверторной технологии;
- повышенная гибкость благодаря передвижным кондукторам и подвижным моторизованным сварочным головкам;
- сварочная способность до 16 мм, как для продольных так и для поперечных прутков;

- система подачи может подготавливать и подавать продольные и поперечные прутки в различном порядке: продольные сверху, а поперечные снизу и наоборот; нет необходимости переворачивать готовую сетку;
- система позиционирования и перемещения прутков предназначена для объединения двух разных функций: позиционирования прутков и выгрузки готовой продукции.

Стержни располагаются на кондукторе с **шагом 50 мм** при помощи автоматической системы укладки в соответствии с форматом производимой сетки. Использование кондукторов позволяет легко настраивать изготовление **сетки различной формы и габаритов, сетки с проемами для дверей и окон**. После того как манипулятор завершил позиционирование продольных и поперечных стержней, кондуктор поднимается на тот же уровень сварочного портала и проталкивается через него до завершения процесса сварки. Движение лотка достигается серией моторизованных турелей.

После размещения стержней кондуктор будет проходить через сварочный портал шириной **4000 мм**, который оснащен двенадцатью **моторизованными и независимыми трехступенчатыми сварочными прессами для прямой сварки**.

Линия оснащена системой управления с промышленным PC Beckhoff, имеющим сенсорный экран размером 15,6" и операционную систему Windows для управления установкой и комплексной диагностики. Включает диагностику процесса в режиме реального времени и параметров сварки; ежедневный мониторинг производства; остановку на техобслуживание и простои в работе линии; оборудован портом Ethernet, портом USB и серийным портом для сетевого соединения и удаленной поддержки, включая модем с VPN-сервером для удаленного соединения

**Автоматическая система погрузки-разгрузки и размещения прутков**

4

**Система размещения прутков с цепным конвейером**

3

**Мультироторный правильный блок, до 6 роторов**

2

**Моторизованные размоточные устройства Бухты до 5 т**

1

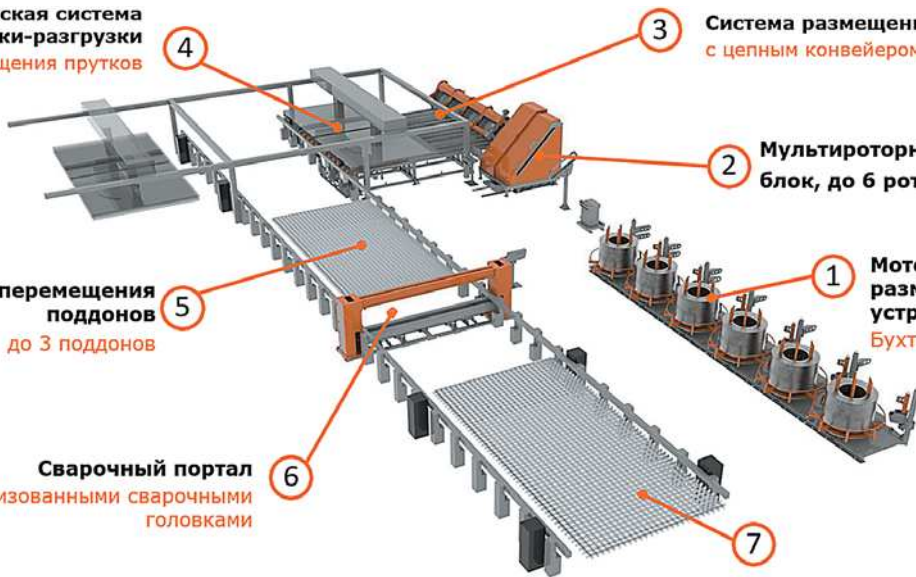
**Система перемещения поддонов до 3 поддонов**

5

**Сварочный портал с моторизованными сварочными головками**

6

7



(необходима карта 3G SIM); интегрируется с наиболее популярным техническим ПО.



Как и все станки Schnell Group, линия приводится в движение цифровыми серводвигателями, что дает все известные преимущества при этом.

**Более высокая эффективность, низкое энергопотребление**

Качественное сварочное оборудование с инверторным управлением имеет КПД около 80–90%, в то время как обычные трансформаторы имеют значительно более низкий КПД, примерно 50%. Это связано с тем, что более крупные трансформаторы в обычных станках имеют большее сопротивление и, следовательно, теряют значительное количество мощности (или энергии) из-за рассеяния тепла. Более высокая эффективность приводит к снижению энергопотребления и снижению затрат.

**Меньший размер, высокий рабочий цикл**

Сварочный инвертор обычно значительно меньше и весит меньше, чем обычный трансформатор с сопоставимой выходной мощностью. Обычно, гораздо более высокие рабочие циклы достижимы на оборудовании с инвертором, опять же из-за разницы в размерах трансформатора. Хотя меньшие компоненты в инверторном оборудовании быстро нагреваются, их можно охладить намного проще и быстрее. Однако в обычных сварочных аппаратах типа «трансформатор» компоненты гораздо больше и поэтому имеют тенденцию накапливать тепло и охлаждаться дольше.

**Более высокая эффективность, низкое энергопотребление**

При передаче мощности от серводвигателя происходит единичное преобразование энергии от электрической к механической, эффективность системы превышает 90%. В гидравлической силовой передаче происходят следующие преобразования энергии: электродвигатель приводит в действие гидравлический насос; гидравлическая жидкость (циркулируемая насосом) приводит в движение гидравлические двигатели или приводы; двигатель или гидропривод приводит в движение механический узел.

**Более высокая точность при высокой скорости работы**

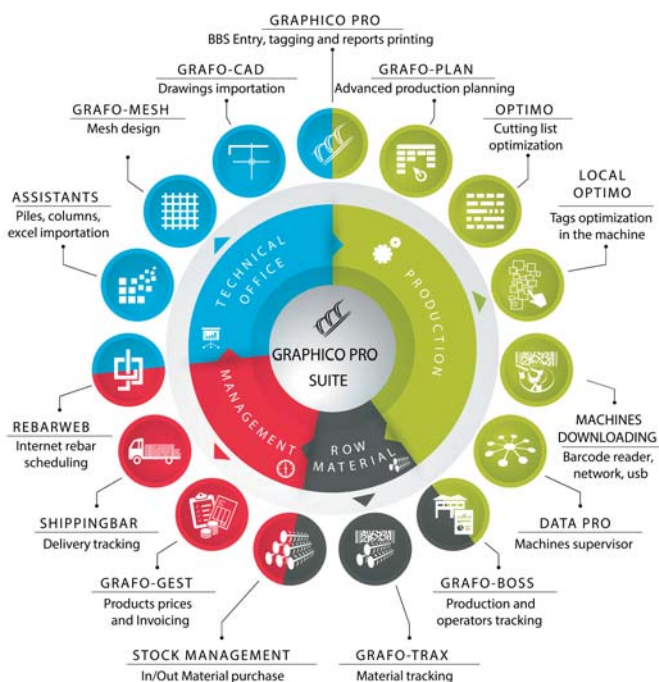
В гидравлических системах управление скоростью моторизованных осей и их позиционирование могут быть критически важны, если требуется точность. Умеренная сжимаемость жидкости снижает точность движения. Сервомоторы, с другой стороны, имеют отличные возможности управления и позиционирования, поскольку между электродвигателем и механическим приводом нет промежуточных механизмов. Сервомоторы общепризнаны и используются, если необходимо иметь среднюю и высокую выходную мощность без снижения скорости и точности позиционирования.

**Функциональность не зависит от температуры**

Гидравлические системы страдают от сложности использования при низкой температуре. Для низкотемпературного применения требуются масла с высоким индексом вязкости, которые, однако, имеют тенденцию быть более коррозионными, особенно для пластмасс (прокладки, уплотнения и т. д.). Утечки масла из блоков управления из-за коррозии пластиковых деталей хорошо известны тем, кто работает в этом секторе. Кроме того, при низкой температуре гидравлическая жидкость должна постоянно нагреваться, даже когда машина не работает, чтобы гарантировать, что при включении жидкость готова к работе.

**Низкие расходы на техобслуживание**

Техническое обслуживание гидравлической системы требует частого вмешательства. Проверка целостности прокладок и уплотнений для предотвращения или восстановления утечек гидравлической жидкости – это реальное ежедневное явление. Существуют научные доказательства того,



что 70–80% отказов гидравлических систем вызваны загрязнением маслами; решения по уходу и правильной эксплуатации жидкостей приобретают определенную ценность с точки зрения доступности и стоимости оборудования. Следует также отметить общую сложность гидравлической системы по сравнению с аналогом с сервомотором и количеством компонентов, используемых в двух решениях.

Линия также оснащена нашим всемирно известным программным обеспечением: в этом случае пакет программного обеспечения для полного управления машиной для производства сетки, разработанный с использованием среды баз данных SQL, позволяет управлять клиентами, заказами клиентов, графиками производства, информацией о доставке. Параметры сетки можно вводить вручную, используя стандартные форматы, или настраивать их с помощью модуля Grafo Mesh. Это можно сделать на разных уровнях и подуровнях: заказы, фазы, планы, группы, элементы, пакеты сетки и т. д.

**Главные характеристики нового решения**

- Роторный правильный модуль TWIN System.
- Высококачественная роторная система правки с двойным приемным лотком позволяет одновременно обрабатывать два прутка.
- Подача сверху и снизу.
- Система подачи может подготавливать и подавать продольные и поперечные прутки в различном порядке.
- ✓ Умная система позиционирования
- Система позиционирования предназначена для объединения двух разных функций: позиционирования стержня и выгрузки готовой сетки.
- ✓ Система с кондукторами
- В линии используются циркулирующие кондукторы с шагом 50 мм.
- ✓ Трехкамерные сварочные прессы
- Сварочный портал оснащен моторизованными, независимыми трехкамерными головками для точечной сварки.
- ✓ Инверторная сварка
- Технология, используемая для сварки, позволяет снизить энергопотребление и повысить гибкость.



LLC SCHNELL RUS  
Office 9B18, Build. 2,  
House 11, Zolotaya str.,  
Moscow, Russia, 105094  
Tel. +7 (495) 24 50 312  
www.schnellgroup.ru

Г.С. СЛАВЧЕВА, д-р техн. наук (gslavcheva@yandex.ru)

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

## Строительная 3D-печать сегодня: потенциал, проблемы и перспективы практической реализации

Потенциал аддитивных технологий 3D-печати в строительстве связан с возможностью создания строительных объектов бионического дизайна, предполагающей сочетание свободы внешней формы и организованного внутреннего пространства конструкций объекта, в котором масса материала располагается только по линиям действующих напряжений. Это может обеспечить радикальное снижение массы материала в объеме конструкции, изменить принципы проектирования и строительства. Показано, что вероятность реализации данного потенциала связана с необходимостью новых методов расчета и проектирования, разработкой эффективных технологических комплексов, создания нового класса строительных композитов для печати. Технологические комплексы для 3D-печати должны отличаться мобильностью и универсальностью, обеспечивать роботизированную печать всех конструкций зданий. Материалы должны быть адаптированы к технологическим условиям печати и эксплуатации в тонких слоистых 3D-печатных конструкциях, так как от их характеристик в технологическом и эксплуатационном циклах зависят параметры технологических комплексов и характеристики 3D-печатных объектов. Показано, что в настоящее время отсутствие методов проектирования, нормативной базы, эффективных универсальных технологических комплексов, достаточной номенклатуры составов смесей для печати относятся к проблемам, которые необходимо решить для практической реализации технологии. Представлены подходы к решению данных проблем и краткое резюме научных и прикладных результатов коллектива специалистов Воронежского государственного технического университета в области проектирования составов смесей и управления свойствами строительных композитов для 3D-печати.

**Ключевые слова:** строительная 3D-печать, архитектура, проектирование, строительство, смеси и композиты для 3D-печати.

Работа выполнена в рамках государственного задания, тема 3.1.1.2 Плана фундаментальных исследований РААСН и Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на 2021 г.

**Для цитирования:** Славчева Г.С. Строительная 3D-печать сегодня: потенциал, проблемы и перспективы практической реализации // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-28-36>

G.S. SLAVCHEVA, Doctor of Sciences (Engineering) (gslavcheva@yandex.ru)  
Voronezh Technical University (84, 20-letiya Oktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

### 3D-Build Printing Today: Potential, Challenges and Prospects for Implementation

The potential of additive 3D printing technologies in construction is associated with the possibility of creating construction objects of bionic design, which involves a combination of freedom of external form and organized internal space of object structures, in which the mass of material is located only along the lines of active stresses. This can provide a radical reduction in the mass of the material in the volume of the structure, change the principles of design and construction. It is shown that the probability of realizing this potential is associated with the need for new methods of calculation and design, the development of effective technological complexes, and the creation of a new class of building composites for printing. Technological complexes for 3D printing should be characterized by mobility and versatility, and provide robotic printing of all building structures. Materials must be adapted to the technological conditions of printing and operation in thin layered 3D-printed structures, since the parameters of technological complexes and the characteristics of 3D-printed objects depend on their characteristics in the technological and operational cycles. It is shown that at present the lack of design methods, regulatory framework, effective universal technological complexes, sufficient nomenclature of mixtures for printing are among the problems that need to be solved for the practical implementation of the technology. The article presents approaches to solving these problems and a brief summary of the scientific and applied results of the Voronezh State Technical University team in the field of designing mixtures and controlling the properties of building composites for 3D printing.

**Keywords:** 3D-build printing, architecture, design, construction, mixtures and composites for 3D-printing.

The work was carried out within the framework of the State Task, topic 3.1.1.2 of the Plan of Fundamental Research of the RAACS and the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation for 2021.

**For citation:** Slavcheva G.S. 3D-build printing today: potential, challenges and prospects for implementation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 28–36. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-28-36>

Взрывной интерес к 3D-аддитивным технологиям в строительстве закономерно обусловлен соответствием данных технологий глобальным тенденциям мирового научно-технологического развития. В сфере строительства это одна из немногих цифровых, роботизированных, интеллектуальных технологий, основанная на применении новых классов строительных композитов. Помимо возможностей робо-

тизации, технология 3D-печати отличается гибкостью и универсальностью, так как обеспечивает изготовление на одном и том же оборудовании широкой номенклатуры материалов, конструкций, строительных объектов.

Потенциал и проблемы реализации 3D-печати в строительстве делятся на следующие составляющие [1–3]:

– архитектура и проектирование объектов применительно к возможностям и особенностям 3D-печати;

– создание оборудования и технологических комплексов;

– создание материалов, адаптированных к технологическим условиям печати и эксплуатации в тонких слоистых 3D-печатных конструкциях.

**Архитектура и проектирование.** Потенциал строительных 3D-аддитивных технологий связан с возможностью создания строительных объектов новой типологии. Данная типология – это типология бионического дизайна, предполагающая сочетание свободы внешней формы и организованного внутреннего пространства конструкций объекта, в котором масса материала располагается только по линиям действующих напряжений. Возможность создания таких объектов и конструкций методом 3D-печати определяется тем, что они возводятся при послойном экструдировании вязкопластичной смеси по заданной траектории в соответствии с CAD-моделью. Следовательно, технологические возможности 3D-печати впервые в истории строительства могут позволить перейти от традиционных полнотелых строительных конструкций к пустотелым конструкциям. Биоподобный, эргономичный дизайн конструкций и зданий может обеспечить радикальное снижение массы материала в объеме конструкции. В соответствии с предвидением выдающегося русского ученого П.А. Ребиндера, высказанным им еще в середине XX в., «трудно вообразить, даже обладая самой пылкой фантазией, какой технический переворот вызвало бы решение этой поистине благородной задачи. На тех же фундаментах можно было бы строить стоэтажные здания и гигантские, но легкие сооружения из тонкостенных деталей. Возникла бы задача предохранить многие сооружения от уноса ветром...» (Ребиндер П.А. Физико-химическая механика – научная основа оптимальной технологии бетона и железобетона // Советская архитектура. 1950. № 12. С. 95).

Поэтому не будет излишней смелостью утверждать, что реализация потенциала 3D-печати с точки зрения изменения типологии конструкций, зданий и сооружений может обеспечить инновационный прорыв, а в дальней перспективе – изменить архитектурную парадигму, принципы проектирования и строительства.

Однако реализации данного потенциала в ближайшей перспективе препятствует существование двух ограничений. Первое – это противоречие между сложившимися стереотипами облика зданий и технологическими возможностями 3D-печати конструкций и зданий бионического дизайна. Второе – это противоречие между существующими методами расчета и проектирования полнотелых конструкций для традиционных зданий, сооружений и необходимостью новых методов расчета и проектирования бионических 3D-печатных конструкций, зданий, сооружений. Поэтому на практике реализуется процесс адап-

тации возможностей 3D-технологий к традиционным методам проектирования, расчета и технологиям возведения зданий.

Очевидно, что ломка стереотипов восприятия, разработка новых методов проектирования, их нормирование, внедрение в строительную практику – это длительный и непредсказуемый процесс. Вероятность его реализации во многом связана с успехами в разработке технологических комплексов, а также с созданием нового класса строительных композитов для печати.

**Технология и оборудование (3D-принтеры).** Потенциально эффективные технологические комплексы могут обеспечить возведение на одном и том же оборудовании строительных объектов и конструкций для них из широкой гаммы материалов в роботизированном режиме. Это закономерно предполагает отказ от сложной производственной инфраструктуры, сокращение затрат энергии, материалов, труда.

Лидерами прикладных исследований по практической технологии строительной 3D-печати являются Singapore Centre for 3D Printing (School of Mechanical & Aerospace Engineering, Nanyang Technological University), Department of Civil and Building Engineering (Loughborough University, UK), Epstein Department of Industrial and Systems Engineering (University of Southern California, Los Angeles). Основным результатом данных исследований стали варианты технологических комплексов для 3D-печати, отличающиеся схемами трехкоординатного позиционирования исполнительного механизма печати, конструкциями экструдера, системами подачи смесей.

При этом основной фокус разработок направлен именно на создание систем позиционирования, в результате чего разработаны следующие варианты [4]:

- порталные системы;
- роботы-манипуляторы;
- кабельные подвесные системы.

На практике в настоящее время наиболее широко используются порталные решения в связи с их очевидными преимуществами. Понятно, что они являются аналогами строительных кранов, отличаются простой, надежной и давно используемой в строительстве конструкцией, просты в обслуживании. Однако порталные 3D-принтеры позволяют реализовать печать объектов ограниченных размеров, требуют существенных затрат на монтаж и перемещение, т. е. имеют малую мобильность.

Роботы-манипуляторы для строительной 3D-печати, напротив, имеют небольшие габариты и вес, что обеспечивает их мобильность. Также к их преимуществам следует отнести то, что они отличаются универсальностью и открытой архитектурой, не требуют абсолютно ровной площадки печати для установки. Однако роботы-манипуляторы мало используются на практике из-за высокой цены, сложности обслуживания, требующей высококвалифицированного персонала, ограниченной высоты возводимых объектов.

Кабельные подвесные решения в наименьшей мере внедрены в строительную практику. Это обусловлено тем, что, несмотря на возможность печати высоких объектов, площадь их очень ограничена. При этом облегченная сборная конструкция принтера делает невозможным применение тяжелых печатных головок, принтеры имеют малую мобильность.

Аппаратурное оформление строительной 3D-печати доведено до промышленного выпуска комплектов оборудования рядом российских и зарубежных фирм ООО «СПЕЦАВИА» и «Aris Cor» (Россия), «CyBe Additive Industries» (Нидерланды), «WinSun» (Китай) и др. Анализ возможностей оборудования показал, что все строительные 3D-принтеры комплектуются из традиционных строительных агрегатов (смесителей, насосов и т. д.). Отличие заключается только в роботизации последней стадии печати – послойной безопалубочной укладке смеси по заданной траектории в соответствии с САД-моделью строительного объекта. Однако помимо эффективной системы трехкоординатного перемещения, комплексы для 3D-печати должны иметь:

- смесители, обеспечивающие получение высоковязкой однородной смеси;
- системы эффективной перекачки высоковязкой смеси;
- экструдерные головки, обеспечивающие формирование бездефектного слоя пластичной высоковязкой смеси.

Однако данным вопросам практически не уделяется внимание, разработчики и производители принтеров предпочитают идти по пути укомплектования комплексов серийным смесительным и транспортирующим оборудованием, малоприспособленным к работе с вязкими и практически нетекучими смесями для безопалубочной печати. Одновременно отсутствуют оптимизированные и нормированные требования к режимам печати.

Можно констатировать, что пока на рынке не представлено достаточно эффективное и универсальное оборудование для реализации потенциала 3D-аддитивных технологий в строительстве. Поэтому в настоящее время на практике роботизированная 3D-печать в строительных объектах используется только для возведения оболочки вертикальных конструкций, преимущественно стен, армирование и отделка которых осуществляются традиционным ручным способом. За исключением стен, остальные конструкции данных объектов (перекрытия, балки, лестницы и т. д.), как правило, изготавливаются по традиционной технологии бетонного литья. Решению вопросов армирования и печати ответственных конструкций посвящены только отдельные работы. Так, в [5] продемонстрирован опыт проектирования и печати фермы, однако ее армирование осуществлено укладываемыми вручную отдельными арматурными элементами. В [6] реализована технология печати пространственных арматурных каркасов путем экс-

трузии термопластичного полимера шестиосевым роботом. Затем для изготовления конструкций устанавливают опалубку, которую заливают бетоном, поверхность конструкции выравнивают вручную.

В результате затраты труда и времени, стоимость 3D-печатных объектов остаются на уровне объектов, возводимых по традиционным строительным технологиям. Это противоречит идее 3D-печати как роботизированной интеллектуальной технологии и приводит к ее вульгаризации.

Для реализации потенциала данной технологии необходимы универсальные технологические комплексы для 3D-печати, которые могли бы обеспечить роботизированную печать всех конструкций зданий. Данные комплексы должны соответствовать следующим критериям:

- *универсальность* – возможность печати широкой номенклатуры конструкций из различных смесей;
- *открытая архитектура* – возможность перенастройки и доукомплектования различными исполнительными механизмами;
- *мобильность* – возможность транспортировки и быстрого монтажа.

**Материалы.** Проблему материалов можно отнести к ключевой в данной совокупности, так как от их характеристик в технологическом и эксплуатационном циклах зависят параметры технологических комплексов и характеристики 3D-печатных объектов. При создании материалов для безопалубочной 3D-печати строительных объектов необходимо решить две проблемы:

- обеспечить пластичность и формоустойчивость смесей;
- обеспечить такой комплекс физико-механических свойств 3D-печатных композитов, который позволит отказаться от традиционного армирования строительных конструкций, а в перспективе определит создание бионических пустотелых конструкций с заданной внутренней структурой.

Работы по созданию и исследованию свойств композитов можно условно разделить на две группы. Первая из них направлена на изучение и моделирование реологического поведения вязкопластичных смесей в процессах 3D-печати [7–11]. Лидерами это направления являются N. Roussel (Laboratoire Central des Ponts Paris, France), Perrot A., Lanos C. (Université de Bretagne Sud, Centre de Recherche de St Maudé).

Подходы к реализации исследований основаны на теории потока при сдвливании (squeeze flow theory) [12]. В результате сформированы и получили широкое распространение методы реометрии при сдвливании (squeeze flow rheometry [7–8]) как инструмента идентификации реологического поведения смесей в условиях действия сжимающих напряжений, характерных для стадий экструзии и послойной укладки при 3D-печати. На применении подходов как squeeze flow theory, так и методов классической и сдвливающей реометрии обоснован ряд моделей реологического поведения и установлены



некоторые количественные реологические характеристики текучести и пластичности, параметры скорости твердения смесей, обеспечивающие реализацию процесса печати. Однако существуют разночтения в использовании классических реологических моделей для описания поведения вязкопластичных систем в процессе 3D-печати, а количественные значения реологических характеристик смесей зависят от методов их оценки. Разработанные модели реологического поведения и структурообразования смесей являются феноменологическими, в них не рассматривается изменение состояния и агрегативная устойчивость структуры систем в зависимости от вида воздействий и режимов процесса 3D-печати.

Тем не менее в настоящее время решены вопросы регулирования следующих характеристик смесей:

- пластичности для экструдированности (extrudability);
- формоустойчивости при безопалубочной печати (buildability);
- скорости структурообразования и твердения (structural build up).

В последнее время фокус исследований сместился к изучению проблем сцепления слоев 3D-печатных композитов, сохранности комплекса свойств в регламентируемый строительным процессом период времени (open time) [13–17].

Наиболее активно развиваются работы по получению разновидностей 3D-печатных строительных композитов. В результате накопления массива экспериментальной информации получена и апробирована достаточно большая номенклатура их составов. Характерные примеры исследований и обзоры представлены в [18–24], но общее количество работ, опубликованных только в ведущих журналах из базы данных Scopus, насчитывает несколько десятков. Полученные смеси для 3D-печатных композитов характеризуются многокомпонентностью, в их составах одновременно используются суперпластификаторы, модификаторы вязкости, регуляторы структурообразования, наполнители и заполнители различного химико-минералогического состава и дисперсности. Можно утверждать, что в настоящее время в исследованиях строительных 3D-печатных композитов преобладает эмпирический подход. Анализ составов и декларируемых свойств смесей и композитов показал, что все они являются аналогами смесей для получения традиционных бетонов на основе цемента и песка, принципиально отличаясь содержанием модификаторов вязкости и пластичности, добавок микронаполнителей, фибры, полимеров. Роль и механизм действия каждого из применяемых компонентов на совокупность реологических и механических свойств 3D-печатных смесей, как правило, не обсуждаются и не определяются.

При этом важно подчеркнуть, что вопросам механического поведения, физико-климатической стойкости, долговечности строительных 3D-печатных композитов практически не уделяется внимания. Не

учитывается, что данные композиты эксплуатируются в особых условиях – в тонких слоях напечатанных конструкций, где деградация структуры в результате силовых и физико-климатических воздействий может протекать иначе, чем в традиционных полнотелых массивных конструкциях. Кроме того, особенности послойного формирования структуры 3D-печатных объектов могут приводить к возникновению межслойных эффектов, существенно влияющих на механическое поведение, физико-климатическую стойкость и долговечность конструкций. Можно утверждать, что в настоящее время однозначно не обоснованы условия управления и требования к технологическим параметрам смесей в процессе печати, не сформированы нормативные требования к свойствам смесей и композитов в жизненном цикле 3D-печати.

*Результаты исследований коллектива специалистов Воронежского государственного технического университета.* Научной основой исследований стали подходы фундаментальной структурной реологии и физико-химической механики дисперсных систем, сформированные в работах советских научных школ П.А. Ребиндера и А.В. Думанского. В отличие от традиционных феноменологических подходов только в данных работах модели реологического поведения вязкопластичных систем соотнесены с изменением состояния структуры данных систем при внешних воздействиях. Хочется специально подчеркнуть, что именно опора на фундаментальные положения советской школы структурной реологии, не имеющие аналогов в мировой науке и практике, позволила коллективу ВГТУ избежать «догоняющей» траектории развития исследований. В результате удалось сформировать оригинальные научные подходы и получить прикладные результаты в области проектирования составов смесей и управления свойствами строительных композитов для 3D-печати. Ниже представлено краткое резюме полученных результатов.

На основании теоретического анализа реологического и механического поведения смесей в жизненном цикле 3D-печати выделены главные структурные критерии управления прочностью и агрегативной устойчивостью структуры вязкопластичных смесей для 3D-печати как гетерогенных двухфазных дисперсных систем, к которым отнесены [25, 26]:

- объемная концентрация частиц дисперсной фазы в дисперсионной среде;
- размер частиц дисперсной фазы;
- свойства дисперсионной среды – плотность и вязкость.

На этой основе обоснованы рецептурно-технологические факторы регулирования агрегативной устойчивости и структурной прочности дисперсных систем на всех стадиях экструзионной 3D-печати – транспортировке, экструзии, безопалубочной послойной укладке.

С использованием подходов классической структурной реологии, а также современных методов рео-

метрии при сдавливании (squeeze flow rheometry) был обоснован полный перечень характеристик вязкопластичных смесей, критериальных для эффективного управления их свойствами на всех стадиях процесса [27–29]. К ним отнесены:

- предел текучести смеси при сдавливании как оценка пластичности и способности к экструзии;
- величина структурной прочности, которая характеризует способность сопротивляться действию сжимающих напряжений при послойной укладке без деформирования;
- величина пластической прочности, характеризующая способность сопротивляться действию сжимающих напряжений при послойной укладке без трещинообразования;
- относительные пластические деформации – отношение величины деформации слоя к его начальной величине.

Разработаны оригинальные методики их экспериментальной оценки в условиях действия сжимающих напряжений, моделирующих поведение систем в процессе 3D-печати.

В результате проведения комплекса экспериментальных исследований однозначно установлено влияние свойств и концентрации компонентов смесей на их реологическое поведение в условиях 3D-печати и физико-механические свойства 3D-печатных композитов [30–33]. Экспериментальные данные приведены в табл. 1.

Концентрация дисперсной фазы в дисперсионной среде (фактор водотвердого отношения – В/Т) является главным фактором управления агрегативной устойчивостью и пластичностью смесей в технологическом цикле печати. Подчеркнем, что в отличие от традиционных строительных смесей применительно к 3D-печати для каждой пары «дисперсная фаза (смесь сухих компонентов) + дисперсионная среда (затворитель)» существует и выявлен очень уз-

кий диапазон В/Т, обеспечивающий оптимальное соотношение пластичности и формоустойчивости. Поэтому для достижения технологически необходимой пластичности, агрегативной устойчивости и структурной прочности необходимо использование двухфазных смесей с оптимизированным соотношением смеси сухих компонентов и затворителя.

Свойства дисперсионной среды (затворителя) регулируются путем комплексного введения пластификаторов и модификаторов вязкости. *Введение суперпластификаторов* в оптимальной концентрации является фактором изменения свойств жидкой фазы и позволяет эффективно регулировать пластичность смеси. *Применение электролитов*, изменяющих ионную силу раствора и энергетическую обстановку в конденсационном объеме дисперсной системы, также является фактором повышения пластичности цементных систем. При этом введение суперпластификаторов и электролитов может снизить формоустойчивость смесей. *Модификаторы вязкости* (неорганические полимеры, неорганические нанодисперсные добавки) определяют снижение пластичности, но повышение формоустойчивости. Механизм влияния ультрадисперсных адсорбционно-активных неорганических модификаторов связан с изменением пространственно-геометрической и энергетической обстановки в конденсационном объеме дисперсной системы. За счет этого происходит ее структурирование, повышение вязкости и плотности. Введение инертных по отношению к цементу неорганических полимеров также способствует изменению плотности и вязкости дисперсионной среды за счет создания структурной сетки в ее объеме. В то же время электролиты и модификаторы вязкости являются эффективным средством регулирования процессов структурообразования и твердения 3D-печатных композитов.

Свойства дисперсионной фазы в определяющей мере зависят от характеристик и концентрации на-

**Таблица 1**  
**Table 1**

**Эффективность рецептурно-технологических факторов для регулирования характеристик смесей для 3D-печати**  
**Effectiveness of technological factors to regulate the characteristics of 3D-printable mixtures**

Концентрация дисперсионной фазы	Свойства дисперсионной среды	Свойства дисперсионной фазы	
		Свойства наполнителей	Свойства вяжущего
Фактор водотвердого отношения – главный фактор управления агрегативной устойчивостью и пластичностью	Суперпластификаторы, электролиты – пластифицирование, изменение кинетики схватывания и твердения Модификаторы вязкости (неорганические полимеры, неорганические нанодисперсные добавки) – снижение пластичности, повышение формоустойчивости, изменение кинетики схватывания и твердения	Вид (химико-минералогический состав) не оказывает принципиального влияния	Вид (химико-минералогический состав) – изменение кинетики схватывания и твердения
		Гранулометрия – применение монодисперсных наполнителей приводит к потере пластичности и агрегативной устойчивости	Гранулометрия не оказывает принципиального влияния
		Дисперсность – повышение размера приводит к потере пластичности и агрегативной устойчивости (D<1,2 мм)	
		Концентрация – повышение концентрации наполнителей >120% по отношению к массе цемента приводит к потере пластичности и агрегативной устойчивости	

Таблица 2  
Table 2Свойства смесей и композитов для 3D-печати  
3D-printable mixture's and composite's properties

Наименование свойств смесей и композитов		Показатели
Критерий экструзируемости – оценка предела текучести		0,8–2 кПа
Критерии формоустойчивости	Структурная прочность – способность воспринимать нагрузку без деформирования в слое	1,5–4,5 кПа
	Пластическая прочность – способность воспринимать нагрузку без разрушения слоя	30–40 кПа
	Относительные деформации до начала разрушения слоя	< 0,05 мм/мм
Начало схватывания, мин		50–130 мин
Прочность при сжатии	1 сут твердения	25–55 МПа
	28 сут твердения	50–85 МПа
Прочность сцепления слоев композита в возрасте 28 сут Прочность сцепления слоев (предел прочности на растяжение при раскалывании), МПа		3–4,5 МПа
Плотность		2200–2300 кг/м <sup>3</sup>
Водопоглощение		< 5 %
Морозостойкость, циклы		200
Усадка (в эксплуатационном диапазоне обезвоживания), мм/м		0,9–1,5

полнителей. Их концентрация, вид, морфология и дисперсность определяют изменение соотношения показателей пластичности и формоустойчивости смесей. Получение смесей требуемой пластичности и формоустойчивости обеспечивается за счет применения полидисперсных наполнителей размером  $d < 1,2$  мм при их концентрации не более 100–120% по отношению к массе цемента. Применение монодисперсных наполнителей во всем размерном диапазоне, от ультрамикро- до мелкодисперсных, приводит к потере пластичности и агрегативной устойчивости смесей. При этом химико-минералогический состав наполнителей не оказывает существенного влияния на реологические характеристики смесей.

Химико-минералогический состав и дисперсность связующего не оказывают принципиально значимого влияния на реологические характеристики смесей, однако являются главным фактором регулирования процессов структурообразования и твердения 3D-печатных композитов.

Таким образом, обоснованы системные требования к свойствам сырьевых компонентов и границам их варьирования, которые являются основой для проектирования составов 3D-печатных композитов. Это позволило коллективу специалистов ВГТУ разработать и запатентовать номенклатуру составов конструкционных и архитектурных цементных смесей, адаптированных к режимам 3D-печати по характеристикам пластичности, формоустойчивости, кинетике схватывания и твердения. Данные составы обеспечивают получение 3D-печатных композитов высокой прочности и долговечности (табл. 2). Специально подчеркнем, что *разработаны не только рядовые смеси, но и архитектурные:*

– объемно-окрашенные, отличающиеся цветовой гаммой в зависимости от вида и дозировки пигмента;  
– имитирующие природный камень и отличающиеся текстурой и цветовой гаммой.

**Перспективы практической реализации.** Развитие строительной отрасли основано на повышении инновационной активности ее субъектов, модернизации существующих и создании интеллектуальных производственных технологий, к которым, безусловно, относятся 3D-аддитивные строительные технологии. В настоящее время в качестве наиболее перспективных можно выделить следующие области их применения:

– гражданское строительство с возможностью реализации принципиально новой типологии конструкций и зданий, объектов функционально-декоративного назначения;

– специальное строительство, особенно в труднодоступных регионах с суровыми климатическими условиями, где отсутствует развитая строительная индустрия и имеется запрос на роботизированные «безлюдные» технологии.

Важно подчеркнуть полное соответствие строительной 3D-печати приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации») – пункту 20а «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта». В связи с перспективностью примене-

**Таблица 3  
Table 3**

**Перспективы и проблемы практической реализации 3D-аддитивных технологий в строительстве  
Prospects and challenges in the 3D additive technologies practical implementation in building**

Составляющие проблемы	Возможности и перспективы	Ограничения
Архитектура и проектирование	Свобода формы конструкций и зданий – создание изогнутых элементов любой конфигурации, индивидуальный эргономичный дизайн Умные конструкции – создание внутренней структуры в объеме конструкции	Нет норм и методов проектирования
Материалы	Изготовление на одном и том же оборудовании широкой гаммы материалов непосредственно на стройплощадке: сокращение затрат энергии, материалов, труда	Не нормированы технические требования к смесям и методам их испытаний. Отсутствует достаточная номенклатура составов смесей
Строительные технологии и оборудование	Автоматизация и роботизация строительных процессов и отказ от опалубки: сокращение затрат энергии, труда, сроков строительства	Невозможность печати всех необходимых конструктивных элементов здания (особенно плоских). Печать зданий только при положительных температурах. Нет принтеров эффективной конструкции. Большие временные затраты и трудозатраты на сборку принтера

ния для специального строительства развитие технологии строительной 3D-печати дополнительно вносит вклад в реализацию приоритета пункта 20е – «Связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики». Это связано с созданием транспортно-логистических систем в Арктике и Антарктике, так как роботизированная технология строительной 3D-печати актуальна при освоении территорий с суровыми климатическими условиями, где отсутствует строительная индустрия и имеется запрос на гибкие, мобильные, роботизированные «безлюдные» технологии.

Основы реализации возможностей 3D-аддитивных технологий в данных областях связаны с преодолением существующих ограничений в архитектуре, проектировании, материаловедении и технологическом оснащении (табл. 3).

Можно утверждать, что инновационный прорыв в данной сфере возможен только на основе реального сотрудничества между архитекторами, проектировщиками, материаловедами и конструкторами.

Масштаб и комплексность задач определяются тем, что необходимо сформировать научные принципы и найти технические решения по управлению всеми стадиями жизненного цикла 3D-печати:

- при проектировании строительных объектов в зависимости от назначения;
- на технологической стадии печати;
- при эксплуатации строительных объектов в различных условиях.

**Список литературы / References**

1. Tay Y., Panda B., Paul S., Noor M., Tan M. Leong K. 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual and Physical Prototyping*. 2017. No. 12 (3), pp. 261–276. <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>
2. Mechtcherine V. et al. Extrusion-based additive manufacturing with cement-based materials – Production steps, processes, and their underlying physics: A review. *Cement and Concrete Research*. 2020. Vol. 132, pp. 106037. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106037>
3. Boss F., Wolfs R., Ahmed Z., Salet T. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*. 2016. No. 11 (3), pp. 209–225. <https://dx.doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>
4. Labonette N., Rønquist A., Manum B., Rüter P., Additive construction: state-of-the-art, challenges and opportunities. *Autom. Constr.* 2016. No. 72 (3), pp. 347–366. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.026>
5. Asprone D., Auricchio F., Menna C., Mercuri V. 3D printing of reinforced concrete element: Technology and design approach. *Construction and Building materials*. 2018. No. 165, pp. 218–231. <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.018>
6. Hack N. and Lauer W.V. Mesh-mould: robotically fabricated spatial meshes as reinforced concrete formwork. *Architectural Design*. 2014. No. 84 (3), pp. 44–53.
7. Toutou Z., Roussel N., Lanos, C. The squeezing test: A tool to identify firm cement-based material's rheological behaviour and evaluate their extrusion ability. *Cement and*

- Concrete Research*. 2005. No. 35 (10), pp. 1891–1899. <https://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.007>
8. Russel N., Lanos C. Plastic Fluid Flow Parameters Identification Using a Simple Squeezing Test. *Applied Rheology*. 2003. No. 13 (3), pp. 3–5. <https://dx.doi.org/10.1515/arh-2003-0009>
  9. Perrot A., Rangeard D., Mélinge Y., Estellé P., Lanos C. Extrusion Criterion for Firm Cement – Based Materials. *Applied Rheology*. 2009. No. 19, pp. 111–127. <https://dx.doi.org/10.3933/AppRheol-19-53042>
  10. Perrot A., Mélinge Y., Estellé P., Lanos, C. Vibroextrusion: a new forming process for cement-based materials. *Advances in Cement Research*. 2009. No. 21 (3), pp. 125–133. <https://dx.doi.org/10.1680/adcr.2008.00030>
  11. Perrot A., Mélinge Y., Rangeard D., Micaelli F., Estellé P., Lanos C., Estellé P. Use of ram extruder as a combined rheo-tribometer to study the behaviour of high yield stress fluids at low strain rate. *Rheologica Acta*. Springer Verlag. 2012. No. 51 (8), pp. 743–754. <https://dx.doi.org/10.1007/s00397-012-0638-6>
  12. Engmann J., Servais C., Burbidge A. S. Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 2005. No. 132 (1–3), pp. 1–27. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jnnfm.2005.08.007>
  13. Wolfs R., Boss F., Salet T. Early age mechanical behaviour of 3D printed concrete: Numerical modeling and experimental testing. *Cement and Concrete Research*. 2018. No. 106, pp. 103–116. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.001>
  14. Shakor P., Sanjayan J., Nazari A., Nejadi S. Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing. *Construction and Building Materials*. 2017. No. 138, pp. 398–409. <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.037>
  15. Wolfs R.J.M., Boss F.P., Salet T.A.M. Hardened properties of 3D printed concrete: The influence of process parameters on interlayer adhesion. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 119, pp. 132–140. (In English) <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.02.017>
  16. Panda B., Lim J.H., Tan M.J. Mechanical properties and deformation behaviour of early age concrete in the context of digital construction. *Composites Part B: Engineering*. 2019. Vol. 165, pp. 563–571. (In English) <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.02.040>
  17. Buswella R.A. at all. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. *Cement and Concrete Research*. 2018. Vol. 112, pp. 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.006>
  18. Ma S., Qian Y., Kawashima S. Experimental and modeling study on the non-linear structural build-up of fresh cement pastes incorporating viscosity modifying admixtures. *Cement and Concrete Research*. 2018. No. 108, pp. 1–9. <https://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.022>
  19. Feng P., Menga X., Chenb J., Yea L. Mechanical properties of structures 3D printed with cementitious powders. *Construction and Building Materials*. 2015. No. 93, pp. 486–497. [dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.132](https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.132)
  20. Paul S.C., Tay Y.W.D., Panda B., Tan M.J. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2018. No. 18 (1), pp. 311–319. <https://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2017.02.008>
  21. Ngo T.D. Kashani A., Imbalzano G., Nguyen K., Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*. Vol. 143. 103 p. <https://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
  22. Malaeb Z., Hachem H., Tourbah A., et al. 3D Concrete Printing: Machine and Mix Design. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2015. Vol. 6 (4), pp. 14–22.
  23. Kazemian A. Yuan X., Cochran E., Khoshnevis B. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 145, pp. 639–647. <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.015>
  24. Le T.T., Austin S.A., Lim S., Buswell R.A., Gibb A.G.F., Thorpe T. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. *Materials and Structures*. 2012. No. 45 (8), pp. 1221–1232. <https://dx.doi.org/10.1617/s11527-012-9828-z>
  25. Славчева Г.С., Артамонова О.В. Реологическое поведение дисперсных систем для строительной 3D-печати: проблема управления на основе возможностей арсенала «нано» // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2018. Т. 10. № 3. С. 107–122. <https://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-3-107-122>
  25. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. The rheological behavior of disperse systems for 3D printing in construction: the problem of control and possibility of «nano» tools application. *Nanotehnologii v stroitel'stve*. 2018. Vol. 10. No. 3, pp. 107–122. (In Russian). <https://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-3-107-122>
  26. Славчева Г.С., Артамонова О.В. Управление реологическим поведением смесей для строительной 3D-печати: экспериментальная оценка возможностей арсенала «нано» // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2019. Т. 11. № 3. С. 325–334. (In Russian). <https://10.15828/2075-8545-2019-11-3-325-334>
  26. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. The control of rheological behaviour for 3D-printable building mixtures: experimental evaluation of «nano» tools prospects. *Nanotehnologii v stroitel'stve*. 2019, Vol. 11. No. 3, pp. 325–334. (In Russian). <https://10.15828/2075-8545-2019-11-3-325-334>
  27. Славчева Г.С., Шведова М.А., Бабенко Д.С. Анализ и критериальная оценка реологического поведения смесей для строительной 3D-печати // *Строительные*

- материалы. 2018. № 12. С. 34–40. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-34-40>
27. Slavcheva G.S., Shvedova M.A., Babenko D.S. Analysis and criteria assessment of rheological behavior of mixes for construction 3-D printing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 34–40. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-34-40>
  28. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation. *Magazine of Civil Engineering*. 2018, No. 08 (84). <https://doi.org/10.18720/MCE.84.10>.
  29. Славчева Г.С., Бритвина Е.А., Ибряева А.И. Строительная 3D-печать: оперативный метод контроля реологических характеристик смесей // *Вестник инженерной школы ДВФУ. Строительство*. 2019. № 4 (41). С. 134–143. <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-14>
  29. Slavcheva G., Britvina E., Ibryaeva A. 3D-build printing: the operational method for verifying the cement mixture properties / *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2019. No. 4 (41), pp. 134–143. (In Russian). <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-14>
  30. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. Rheological Behavior and Mix Design for 3d Printable Cement Paste. *Key Engineering Materials. Modern Materials and Manufacturing*. 2019. Vol. 799, pp. 282–287. 10.4028/www.scientific.net/KEM.799.282
  31. Slavcheva G.S., Artamonova O.V., Shvedova M.A. Effect of viscosity modifiers on structure formation in cement systems for construction 3D printing. *Inorganic Materials*. 2021. Vol. 57, pp. 94–100. <http://www.10.1134/S0020168521010143>
  32. Slavcheva G. S., Artamonova O.V., Babenko D.S., Ibryaeva A.I. Effect of limestone filler dosage and granulometry on the 3D printable mixture rheology *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. V International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures*. 2020. Vol. 972. 012042. <http://www.10.1088/1757-899X/972/1/012042>
  33. Славчева Г.С., Акулова И.И., Вернигора И.В. Концепция и эффективность применения 3D-печати для дизайна городской среды // *Жилищное строительство*. 2020. № 3. С. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-3-49-55>
  33. Slavcheva G.S., Akulova I.I., Vernigora I.V. Concept and effectiveness of 3D printing for urban environment design. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 3, pp. 49–55. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-3-49-55>

Министерство строительства РС (Я)  
Якутский государственный проектный, научно-исследовательский  
институт строительства  
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки  
соответствия в строительстве  
Научно-исследовательский центр «Строительство»  
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН

**VI Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 85-летию создания строительного комплекса Якутии  
«Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения:  
безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение»**

5–6 октября 2021 г.

**Организатор:** Инженерно-технический институт СВФУ им. М.К. Аммосова

г. Якутск, Россия

**НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ:**

- Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений
- Энергоэффективное строительство
- Эффективные строительные материалы и технологии
- Архитектура и градостроительство
- Совершенствование систем инженерного обеспечения зданий и сооружений
- Экспертиза и управление недвижимостью
- Подготовка кадров для строительной отрасли
- Актуальные вопросы строительной отрасли в экстремальных условиях Арктики и Субарктики

Языки конференции: русский. Форма конференции: заочная. По итогам конференции будет опубликован электронный сборник научных трудов с присвоением ему ISBN, УДК, ББК и размещением в базе данных РИНЦ

**Оргкомитет:**

- Корнилов Т.А. – директор Инженерно-технического института Северо-Восточного федерального университета, д-р техн. наук, доцент (председатель)  
Матвеева О.И. – генеральный директор ОАО «Якутский проектный научно-исследовательский институт строительства», канд. техн. наук, доцент  
Местников А.Е. – зав. кафедрой производства строительных материалов, изделий и конструкций СВФУ, д-р техн. наук, профессор  
Посельский Ф.Ф. – зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства СВФУ, канд. техн. наук, доцент  
Иванов В.Н. – зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции СВФУ, канд. техн. наук, доцент  
Федорова Г.Д. – доцент кафедры промышленного и гражданского строительства СВФУ, канд. техн. наук, доцент  
Архангельская Е.А. – зав. кафедрой экспертизы и кадастра недвижимости СВФУ, канд. техн. наук, доцент  
Юмашева Е.И. – главный редактор издательства «Стройматериалы» (научно-технические журналы «Строительные материалы», «Жилищное строительство», «Бетон и железобетон»)

**Почтовый адрес:** 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58, СВФУ, Инженерно-технический институт

**Телефон:** 8-984-114-88-30 **E-mail:** orgkomitet-iti@ya.ru

Ответственный секретарь: **Попов Александр Леонидович**

УДК 692.827

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-37-43>

А.П. КОНСТАНТИНОВ, канд. техн. наук (apkonst@yandex.ru),

А.Д. КОРОЛЬЧЕНКО, инженер (аспирант) (ikbs@mgsu.ru)

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

## Особенности применения легкобрасываемых оконных конструкций в газифицированных жилых зданиях

Существующая негативная статистика взрывов бытового газа в жилых зданиях на территории РФ обусловила появление нормативных документов, предписывающих применение легкобрасываемых оконных конструкций в подобных типах зданий. В работе проведен анализ современного состояния вопроса применения легкобрасываемых оконных конструкций в газифицированных жилых зданиях. Для этого были рассмотрены существующие конструктивные решения легкобрасываемых окон, а также требования действующей нормативно-технической документации к подобным конструкциям в случае их применения в газифицированных жилых зданиях. Проведенный анализ показал, что в настоящее время разработано и запатентовано достаточно большое количество легкобрасываемых оконных конструкций со стеклопакетами. Однако пока их конструктивное решение не позволяет обеспечить выполнение всего комплекса требований, который предъявляется к обычным оконным конструкциям жилых зданий. Установлено, что в действующей отечественной нормативно-технической документации, регламентирующей устройство легкобрасываемых конструкций со стеклопакетами и их применение в жилых зданиях, имеется ряд противоречий, а также требований, которые невозможно реализовать на практике. В существующей строительной практике еще невозможно массово применять подходы к проектированию жилых зданий с учетом их взрывоустойчивости, что обусловлено недостаточным количеством исследований по рассматриваемой тематике.

**Ключевые слова:** безопасность, взрывоустойчивость, легкобрасываемые конструкции, окна, тепловая защита, ветровая нагрузка.

**Для цитирования:** Константинов А.П., Корольченко А.Д. Особенности применения легкобрасываемых оконных конструкций в газифицированных жилых зданиях // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 37–43.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-37-43>

A.P. KONSTANTINOV, Candidate of Sciences (Engineering) (apkonst@yandex.ru), A.D. KOROLCHENKO, Engineer (Postgraduate Student) (ikbs@mgsu.ru)  
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Features of the Use of Easily Dumped Window Structures in Gasified Residential Buildings

The existing negative statistics of household gas explosions in residential buildings on the territory of the Russian Federation has led to the appearance of regulatory documents prescribing the use of easily dumped window structures in similar types of buildings. The paper analyzes the current state of the issue of the use of easily dumped window structures in gasified residential buildings. For this purpose, the existing design solutions of easily dumped windows were considered, as well as the requirements of the current regulatory and technical documentation for such structures in the case of their use in gasified residential buildings. The analysis has shown that at present a sufficiently large number of easily dumped window structures with insulated glass units have been developed and patented. However, so far their design solution does not allow to ensure the fulfillment of the entire complex of requirements that are imposed on conventional window structures of residential buildings. It is established that there are a number of contradictions in the current domestic regulatory and technical documentation regulating the device of easily dumped structures with insulated glass units and their use in residential buildings, as well as requirements that cannot be implemented in practice. In the existing construction practice, it is not yet possible to massively apply approaches to the design of residential buildings, taking into account their explosion resistance, which is due to the insufficient number of studies on the subject under consideration.

**Keywords:** safety, explosion resistance, easily dumped structures, window, thermal protection, wind load.

**For citation:** Konstantinov A.P., Korolchenko A.D. Features of the use of easily dumped window structures in gasified residential buildings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 37–43. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-37-43>

Отечественный опыт эксплуатации существующего жилищного фонда, накопившийся за последние два десятилетия, выявил проблему обеспечения механической безопасности жилых зданий, остекленных современными типами оконных конструкций со стеклопакетами, при взрыве бытового газа [1, 2]. Зачастую при подобных событиях происходит не только разрушение помещений, где случился взрыв (кухни), но и значительные повреждения всего здания вследствие прогрессирующего разрушения его несущих конструкций [3], не рассчитанных на подобные аварийные ситуации. Это приводит не только к значительным материальным потерям, но во многих случаях и к человеческим жертвам [4, 5].

С учетом последних тенденций в отечественной архитектуре и строительстве, направленных на соз-

дание благоприятной для человека городской среды и повышение энергоэффективности за счет перехода к квартальной жилой застройке средней этажности (5–7 этажей) [6–8], а также с введением в действие современной нормативно-технической документации, регламентирующей вопросы проектирования жилых зданий с газовым оборудованием (СП 402.1325800.2018 «Здания жилые. Правила проектирования систем газопотребления»), использование газового оборудования в многоэтажных жилых зданиях будет только возрастать. Очевидно, что это потребует качественного повышения уровня проработки проектных решений, обеспечивающих как надежное функционирование систем газоснабжения, так и возможность сохранения несущей способности основных конструктивных элементов здания при

аварийных ситуациях, связанных со взрывом бытового газа.

Одним из наиболее распространенных способов повышения взрывоустойчивости зданий является использование легкобрасываемых оконных конструкций (далее – ЛСК). Подобные решения уже давно применяются в промышленных зданиях со взрывоопасными производствами. При этом разработано не только ряд надежных технических решений легкобрасываемых окон, но и подходы к обеспечению взрывоустойчивости промышленных зданий, методы их расчета [9–15].

Использование же ЛСК в газифицированных жилых зданиях в настоящее время в полной мере невозможно, что связано с отсутствием:

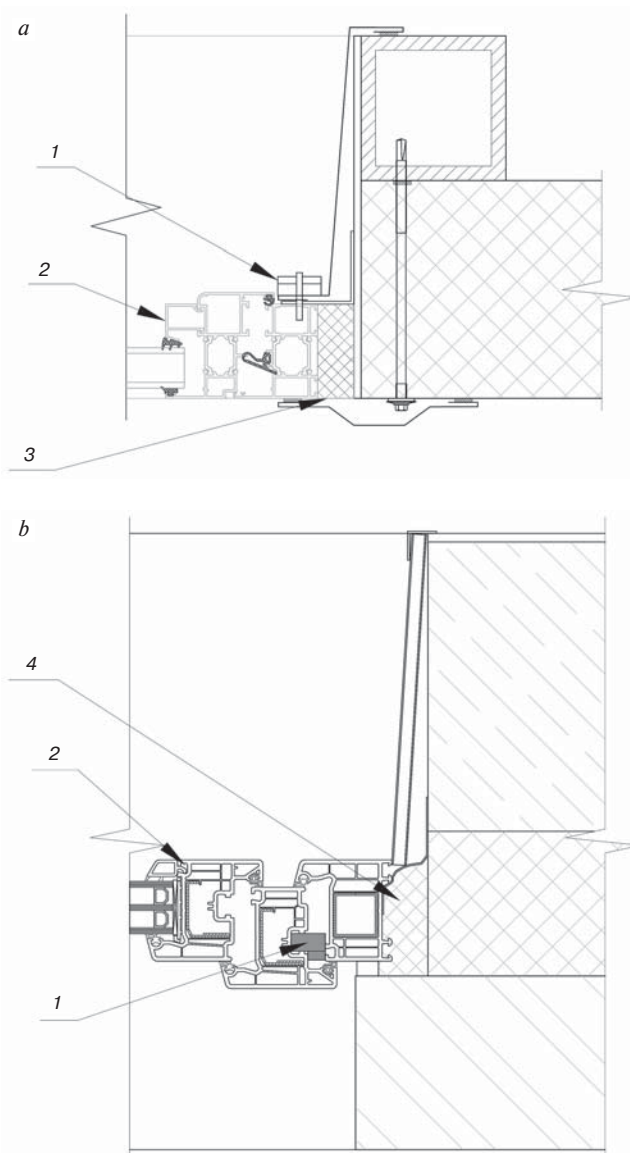
- апробированных технических решений подобных конструкций, которые позволяли бы обеспечивать выполнение в том числе требований к обычным оконным конструкциям, применяемым в жилых зданиях [16, 17];

- методик расчета ЛСК жилых зданий, комплексно учитывающих как особенности их устройства [18, 19], так и объемно-планировочные и конструктивные решения зданий [20–22].

В рамках данной работы авторы ставят перед собой цель провести анализ современного состояния вопроса применения легкобрасываемых оконных конструкций в газифицированных жилых зданиях. Для этого необходимо выполнить аналитический обзор существующих конструктивных решений легкобрасываемых окон, а также требований действующей нормативно-технической документации к подобным конструкциям в случае их применения в газифицированных жилых зданиях.

#### **Анализ конструктивных решений современных типов легкобрасываемых окон**

ЛСК в настоящее время применяются преимущественно в промышленных зданиях, где существует вероятность взрыва газо- и пылевоздушных смесей. В отопляемых промышленных зданиях, к которым предъявляются требования к обеспечению тепловой защиты, в настоящее время в большинстве случаев применяются легкобрасываемые оконные конструкции со стеклопакетами. Конструктивные решения подобных типов ЛСК достаточно разнообразны, на многие из них, а также на предохранительные запорные устройства (далее – ПЗУ) для ЛСК зарегистрированы патенты. При этом наиболее распространенными в существующей строительной практике являются легкобрасываемые оконные конструкции смещаемого типа, выполненные с использованием типовых конструкций оконных блоков, с точечными ПЗУ из полимерных материалов<sup>1</sup> (рис. 1, а). Подобный тип ЛСК закрепляется в проеме только за счет ПЗУ. Монтажный шов подобных



**Рис. 1.** Конструктивные решения ЛСК: а – для промышленных зданий; б – для жилых зданий; 1 – предохранительное запорное устройство; 2 – оконный блок; 3 – минеральная вата; 4 – монтажная пена  
**Fig. 1.** Easily dumped structures: а – for industrial buildings; б – for residential buildings; 1 – safety locking device; 2 – window; 3 – mineral wool; 4 – mounting foam

ЛСК не препятствует сбросу взрывного давления, так как выполняется только из минеральной ваты и металлических откосов, закрепляемых к ЛСК.

Применение подобных типов ЛСК со стеклопакетами в жилых зданиях невозможно как минимум по следующим причинам:

- наружные стены жилых зданий в большинстве случаев выполняются с применением оконной четверти, что исключает возможность выпадения при взрыве ЛСК из оконного проема;
- конструкция узлов примыкания ЛСК для промышленных зданий не позволяет обеспечить требо-

<sup>1</sup> В существующей практике применяются также ЛСК на основе стоечно-ригельных фасадных систем с различными типами ПЗУ. Однако ввиду ограниченной возможности их использования в качестве заполнения оконных проемов жилых зданий массовой застройки в рамках данной статьи они не рассматриваются.



вания по тепловой защите, звукоизоляции и герметичности, предъявляемые к оконным конструкциям жилых зданий.

В связи с указанными выше обстоятельствами, а также из-за введения в действие СП 402.1325800.2018, который предписывает применение в газифицированных жилых зданиях ЛСК со стеклопакетами, за последние несколько лет было разработано и запатентовано большое количество подобных конструкций, адаптированных к применению в жилых зданиях. Принципиальная схема одной из них представлена на рис. 1, б. Техническое решение данных ЛСК предусматривает применение стандартных профильных систем из ПВХ или алюминиевых сплавов, предназначенных для изготовления обычных оконных конструкций. ЛСК в этом случае состоит из:

- оконной рамы, обращенной в сторону улицы;
- створки наружного открывания, закрепляемой на оконной раме с помощью ПЗУ<sup>1</sup>;
- створки(ок) внутреннего открывания, закрепляемых в створке наружного открывания.

Подобное техническое решение ЛСК позволяет располагать окно в проеме наружной стены за оконной четвертью. При этом монтаж конструкций можно выполнять аналогично обычным оконным блокам. ЛСК с подобным техническим решением позволяет реализовать различные схемы открывания рабочих створок, а также устанавливать москитные сетки аналогично обычным оконным блокам.

В то же время рассмотренное техническое решение не лишено очевидных и значительных недостатков, обусловленных наличием дополнительного створчатого элемента:

- светопропускание ЛСК значительно ниже по сравнению с оконным блоком аналогичных габаритных размеров (на 10% и более);
- снижение герметичности и, как следствие, тепло- и звукоизоляционных характеристик ЛСК по сравнению с аналогичным оконным блоком без наружной створки за счет увеличенного количества профильных элементов;
- сниженная деформационная устойчивость профильных элементов створок ЛСК при действии эксплуатационных перепадов температуры, вызванная невозможностью реализации за счет ПЗУ шага и схем закрепления створки внешнего открывания аналогично стандартным системам оконной фурнитуры. Данное обстоятельство, как показывают исследования, также будут приводить к снижению технико-эксплуатационных характеристик подобных конструкций [23–25];
- сниженная взломоустойчивость ЛСК по сравнению с обычной оконной конструкцией (актуально для первых этажей зданий).

<sup>1</sup> Створку наружного открывания можно выполнить на основе профилей импоста и Т-образных створок наружного открывания. В рамках данной статьи первое решение не рассматривается, так как оно подразумевает наличие петли со стороны улицы, что значительно снижает герметичность и противозломность подобных конструкций.

<sup>2</sup> По мнению авторов, данное требование обусловлено лишь недостаточным опытом применения ЛСК в жилых зданиях и назначено по аналогии с ЛСК для промышленных зданий.

Таким образом, следует констатировать, что к настоящему моменту еще не разработаны технические решения ЛСК со стеклопакетами, которые позволили бы обеспечивать выполнение требования как по снижению давления взрыва бытового газа в помещении, так и минимальных требований к оконным конструкциям, используемым в жилых зданиях.

#### **Анализ требований действующей нормативно-технической документации к легкосбрасываемым оконным конструкциям**

Ввиду того, что вопрос применения легкосбрасываемых оконных конструкций со стеклопакетами в газифицированных жилых зданиях стал подниматься относительно недавно, к настоящему моменту еще не существует единых требований к подобным конструкциям. Требования отдельных нормативных документов к ЛСК для жилых зданий и помещений, где они установлены, представлены в табл. 1. При этом по некоторым параметрам ЛСК, которые привязаны к параметрам помещений, расчеты выполнены для нескольких наиболее распространенных в практике размеров помещений (кухонь).

Анализ существующих требований к ЛСК со стеклопакетами для газифицированных жилых зданий показывает, что:

- требования отдельных нормативных документов по рассматриваемому вопросу не согласуются между собой. Как видно из табл. 1, подобная ситуация наблюдается в части требований к габаритным размерам ЛСК. Очевидно, что ограничение СП 296 в части максимальных габаритов ЛСК со стеклопакетами является избыточным<sup>2</sup>. Это требование будет значительно сдерживать возможности архитектора, особенно в современных условиях, когда тенденции в архитектуре и строительстве связаны с широким применением крупноформатных оконных конструкций в жилых зданиях [26];
- давление срабатывания ПЗУ в ЛСК должно коррелироваться со всеми нагрузками, которые могут действовать на конструкцию в ходе ее нормальной эксплуатации. Это касается прежде всего ветровых нагрузок, величина которых может превышать нормируемое значение давления срабатывания ПЗУ (0,7 кПа) во многих климатических регионах РФ даже для зданий с высотой до 28 м, где допускается применение газового оборудования. В табл. 2 представлены расчетные значения основной ветровой нагрузки и пиковой ветровой нагрузки на рядовые участки фасада здания на высоте 28 м для здания в городских условиях застройки в зависимости от ветрового района.

Немаловажной также является необходимость сохранения целостности ПЗУ в случае ударных нагрузок

**Таблица 1**  
**Table 1**

**Требования действующей отечественной нормативно-технической документации к ЛСК со стеклопакетами для жилых зданий**  
**Requirements of the current russian regulatory and technical documentation for easily dumped structures with insulated glass units for residential buildings**

<b>1. Габаритные размеры ЛСК со стеклопакетами (проема для ЛСК)</b>			
Площадь кухни, м <sup>2</sup> / внутренний объем кухни, м <sup>3</sup> при высоте потолка 2,75 м	Минимальная площадь светового проема из условий обеспечения естественного освещения (согласно СП 54.13330.2016) не менее 1/8 площади пола	Максимальная площадь вентилируемого проема с ЛСК согласно СП 296.1325800.2018 не более 0,05 объема помещения	Минимальная площадь ЛСК со стеклопакетом согласно ГОСТ Р 56288–2014
8 / 22	1	1	По расчету
10 / 27,5	1,25	1,375	
12 / 33	1,5	1,65	
14 / 38,5	1,75	1,192	
<b>2. Давление срабатывания ПЗУ в ЛСК – не более 0,7 кПа – согласно ГОСТ Р 56288–2014</b>			
<b>3. Техничко-эксплуатационные характеристики</b> (сопротивление теплопередаче, воздухопроницаемость и пр.) – согласно ГОСТ Р 56288–2014			
<b>4. Вентиляция помещений с газовым оборудованием</b>			
Площадь кухни, м <sup>2</sup> / внутренний объем кухни, м <sup>3</sup> при высоте потолка 2,75 м	<i>Только естественная вентиляция.</i> Вытяжка из расчета не менее трехкратного воздухообмена в час. Приток в размере вытяжки и дополнительного объема воздуха на горение газа V <sub>гор</sub> – согласно СП 402.1325800.2018		Не менее 100 м <sup>3</sup> /ч – согласно СП 54.13330.2016
	8 / 22	66 + V <sub>гор</sub>	100 м <sup>3</sup> /ч
10 / 27,5	82,5 + V <sub>гор</sub>		
12 / 33	99 + V <sub>гор</sub>		
14 / 38,5	115,5 + V <sub>гор</sub>		

**Таблица 2**  
**Table 2**

**Расчетные значения ветровых нагрузок на рядовые участки фасада здания на высоте 28 м для различных ветровых районов РФ**  
**Calculated values of wind loads on ordinary sections of the building facade at a height of 28 m for various wind regions of the Russian Federation**

Расчетные значения основной ветровой нагрузки (числитель) и пиковой ветровой нагрузки (знаменатель) на рядовые участки фасада здания на высоте 28 м, кПа, для ветрового района							
Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
$\frac{0,34}{0,52}$	$\frac{0,47}{0,71}$	$\frac{0,61}{0,92}$	$\frac{0,78}{1,17}$	$\frac{0,98}{1,47}$	$\frac{1,23}{1,84}$	$\frac{1,49}{2,24}$	$\frac{1,74}{2,61}$

зок, вызванных случайным падением человека на ЛСК, а также статических и ударных нагрузок в случае взлома ЛСК на первых этажах зданий.

Крайне сложным является вопрос обеспечения вентиляции помещений с газовым оборудованием и применением ЛСК, которая согласно СП 402.1325800.2018 должна быть только естественной. Очевидно, что обеспечить необходимый приток воздуха (не менее 100 м<sup>3</sup>/ч) только за счет встраиваемых в ЛСК оконных приточных клапанов не представляется возможным ввиду их малой производительности [27]. Кроме того, производительность данных устройств, как и стеновых проветривателей естественной вентиляции, сильно зависит от внешних климатических условий. Обеспечить необходимый приток воздуха возможно путем неорганизованной вентиляции при помощи открывающихся створок ЛСК либо дорогостоящих стеновых устройств

принудительной вентиляции (бризеров, проветривателей). Однако первый вариант связан с повышением затрат на отопление зданий и зависит от человеческого фактора и привычек жильцов. Второй вариант обеспечения вентиляции позволяет обеспечить надежную вентиляцию помещений, однако вступает в противоречие с требованием СП 402.1325800.2018, так как данное решение подразумевает принудительную вентиляцию.

Очевидно, что рассмотренные выше вопросы требуют детального изучения.

**Обсуждение полученных результатов, разработка перспективных направлений исследований**

Представленный выше анализ показывает, что к настоящему моменту еще рано говорить о возможности полноценного использования ЛСК со стеклопакетами в газифицированных жилых зданиях.



**Рис. 2.** Испытание ЛСК со стеклопакетом на воздействие внутреннего взрыва газа

**Fig. 2.** Test of the easily dumped structure with insulated glass units for the impact of an internal gas explosion

Следует отметить, что в настоящее время еще не разработаны комплексные методики оценки технико-эксплуатационных характеристик ЛСК со стеклопакетами в лабораторных условиях, поэтому невозможно пока говорить о надежном функционировании подобных конструкций в течении всего периода их эксплуатации. В большинстве случаев лабораторные испытания подобных конструкций ограничиваются лишь оценкой на воздействие внутреннего взрыва газа (рис. 2).

Для внедрения в практику подобных конструкций помимо решений указанных выше проблем, необходимо разработать методики проектирования как самих ЛСК [28], так и объемно-планировочных и конструктивных решений жилых зданий, обеспечивающих их взрывоустойчивость. Подобные методики еще не разработаны, а кухни с газовыми плитами в жилых зданиях не попадают под категорирование помеще-

#### Список литературы

1. Мишуев А.В., Казеннов В.В., Комаров А.А., Громов Н.В., Лукьянов А.В., Прозоровский Д.В. Особенности аварийных взрывов внутри жилых газифицированных зданий и промышленных объектов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2012. Т. 21. № 3. С. 49–56.
2. Поландов Ю.Х., Корольченко Д.А., Евич А.А. Условия возникновения пожара в помещении при газовом взрыве. Экспериментальные данные // *Пожаровзрывобезопасность*. 2020. Т. 29. № 1. С. 9–21. DOI 10.18322/PVB.2020.29.01.9-21
3. Ведяков И.И., Еремеев П.Г., Одесский П.Д., Попов Н.А., Соловьев Д.В. Расчет строительных конструкций на прогрессирующее обрушение: нормативные требования // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 4. С. 16–24. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.04.16-24.
4. Сушко Е.А., Зайцев А.М., Кашникова А.А., Черных Д.С. О взрывах природного газа и их последствиях в многоэтажном жилом секторе // *Вестник Воронежского института ГПС МЧС России*. 2013. № 3 (8). С. 20–23.

ний по пожаровзрывобезопасности. Напрямую использовать подобные методики расчета ЛСК для промышленных зданий также не представляется возможным, главным образом из-за того, что в жилых зданиях возможны различные модели реализации дефлаграционного взрыва газа (при открытой/закрытой в кухне двери либо отсутствии последней) [1]. Очевидно, что каждый из рассматриваемых вопросов требует детального изучения перед внедрением в практику.

#### Выводы

В результате проведенного анализа современного состояния вопроса применения легкобросаемых оконных конструкций со стеклопакетами в газифицированных жилых зданиях установлено следующее:

– применяемые на практике конструкции легкобросаемых окон пока не позволяют обеспечить выполнение всего комплекса требований, который предъявляется к обычным оконным конструкциям жилых зданий;

– в действующей отечественной нормативно-технической документации, регламентирующей устройство легкобросаемых конструкций со стеклопакетами и их применение в жилых зданиях, имеется ряд противоречий, а также требований, которые невозможно реализовать на практике;

– в существующей строительной практике массово пока еще невозможно применять подходы к проектированию жилых зданий с учетом их взрывоустойчивости, что обусловлено недостаточным количеством исследований по рассматриваемой тематике.

*Авторы не претендуют на полноту охвата рассматриваемого вопроса и приглашают всех заинтересованных лиц к дискуссии и сотрудничеству.*

#### References

1. Mishuev A.V., Kazennov V.V., Komarov A.A., Gromov N.V., Lukyanov I.V., Prozorovskij D.V. Features of emergency explosions inside residential gasified buildings and industrial facilities. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2012. Vol. 21. No. 3, pp. 49–56. (In Russian).
2. Polandov Yu.Kh., Korolchenko D.A., Evich A.A. Conditions of occurrence of fire in the room with a gas explosion. Experimental data. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2020. Vol. 29. No. 1, pp. 9–21. (In Russian). DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.9-21
3. Vedyakov I.I., Eremeev P.G., Odesskiy P.D., Popov N.A., Solovyev D.V. Regulatory requirements for the design of building structures for progressive collapse. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019. No. 4, pp. 16–24. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2019.04.16-24
4. Sushko E.A., Zajcev A.M., Kashnikova A.A., Chernyx D.S. About the explosions of natural gas and their consequences in high-rise residential sector. *Vestnik of the Voronezh institute GPS MCHS Rossii*. 2013. No. 3 (8), pp. 20–23. (In Russian).

5. Теличенко В.И., Ройтман В.М. Анализ причин и последствий крупных чрезвычайных ситуаций с целью обеспечения комплексной безопасности зданий и сооружений // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. Вып. 1. С. 72–84. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.72-84
6. Николаев С.В. Обновление жилищного фонда страны на базе крупнопанельного домостроения // *Жилищное строительство*. 2018. № 3. С. 3–7.
7. Савин В.К., Савина Н.В. Формообразование зданий. Красота или польза? // *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 2. С. 119–123.
8. Шеина С.Г., Умнякова Н.П., Панасенко М.В. Методика выбора территории комплексного развития для строительства многоэтажного жилого здания с внедрением экомандарта // *Жилищное строительство*. 2019. № 7. С. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-7-41-46>.
9. Орлов Г.Г., Корольченко Д.А., Ляпин А.В. Оптимизация требований к конструктивным и объемно-планировочным решениям при проектировании зданий и сооружений для взрывоопасных производств // *Пожаровзрывобезопасность*. 2014. Т. 23. № 11. С. 67–74.
10. Орлов Г.Г., Корольченко А.Д. Нагрузки, разрушающие строительные конструкции в результате аварийных взрывов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2016. Т. 25. № 3. С. 45–56. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.45-56
11. Комаров А.А., Казеннов В.В., Гусев А.А., Громов Н.В. Критерий квазистатичности взрывного давления газопаровоздушных смесей в помещениях // *Пожаровзрывобезопасность*. 2015. Т. 24. № 8. С. 56–61. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.56-61
12. Поландов Ю.Х., Добриков С.А., Кукин Д.А. Результаты испытаний легкобрасываемых конструкций // *Пожаровзрывобезопасность*. 2017. Т. 26. № 8. С. 5–14. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14
13. Комаров А.А., Корольченко Д.А., Фан Т.А. Особенности определения коэффициента динамичности при импульсных нагрузках // *Пожаровзрывобезопасность*. 2018. Т. 27. № 2–3. С. 37–43. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.37-43
14. Подгорецкий Ю.Ю. Исследование надежности срабатывания легкобрасываемых конструкций на основе сотовых поликарбонатных листов // *The Scientific Heritage*. 2020. № 57–1 (57). С. 45–50. DOI 10.24412/9215-0365-2020-57-1-45-50
15. Komarov A., Gromov N. Experimental observation of visible flame propagation rate in accidental deflagration explosions and explosive load reduction. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 251. 02024. doi:10.1051/mateconf/201825102024
16. Tikhomirov A., Konstantinov A., Kurushkina K., Lambias M. Conception of a complex window design method. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 91. 05018. DOI 10.1051/e3sconf/20199105018
17. Фьюнг Н.Т.Х., Соловьев А.К., Тамразян А.Г. Комплексный подход к определению размеров
5. Telichenko V.I., Roitman V.M. A cause-and-consequence analysis of serious emergencies with the aim of providing integrated safety of buildings and installations. *Vestnik MGSU*. 2020. No. 15 (1), pp. 72–84. (In Russian). DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.72-84
6. Nikolaev S.V. Renovation of housing stock of the country on the basis of large-panel housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 3, pp. 3–7. (In Russian).
7. Savin V.K., Savina N.V. The shaping of buildings. beauty or benefit? *Academia. Architecture and construction*. 2016. No. 2, pp. 119–123. (In Russian).
8. Sheina S.G., Umnyakova N.P., Panasenko M.V. Method of selection of complex development territory for construction of multistory residential building with introduction of eco-friendly standard. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 7, pp. 41–46. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-7-41-46>
9. Orlov G.G., Korolchenko D.A., Lyapin A.V. Optimization of requirements to constructive and space-planning decisions when designing buildings and constructions for explosive productions. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2014. Vol. 23. No. 11, pp. 67–74. (In Russian).
10. Orlov G.G., Korolchenko A.D. Loadings which destroy building structures in consequence of emergency explosions. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2016. Vol. 25. No. 3, pp. 45–56. (In Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.45-56
11. Komarov A.A., Kazennov V.V., Gusev A.A., Gromov N.V. Criterion for quasi-static conditions for confined blast pressure of a gas-air mixture in premises. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2015. Vol. 24. No. 8, pp. 56–61. (In Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.56-61
12. Polandov Yu.Kh., Dobrikov S.A., Kukin D.A. Results of tests pressure-relief panels. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2017. Vol. 26. No. 8, pp. 5–14 (In Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14
13. Komarov A.A., Korolchenko D.A., Phan T.A. Features of determination of the dynamic amplification factor under impulse loads. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2018. Vol. 27. No. 2–3, pp. 37–43 (In Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.37-43
14. Pidhoretsky Yu. Research of the actuation reliability of blast relieve systems with honeycomb polycarbonate sheets. *The Scientific Heritage*. 2020. Vol. 1. No. 57, pp. 45–50. DOI: 10.24412/9215-0365-2020-57-1-45-50
15. Komarov A., Gromov N. Experimental observation of visible flame propagation rate in accidental deflagration explosions and explosive load reduction. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 251. 02024. doi:10.1051/mateconf/201825102024
16. Tikhomirov A., Konstantinov A., Kurushkina K., Lambias M. Conception of a complex window design method. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 91. 05018. DOI: 10.1051/e3sconf/20199105018
17. Phuong N.T.Kh., Solovyev A.K., Tamrazyan A.G. Integrated approach to determining sizes of light

- светопроемов в зданиях с учетом требований безопасности // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 5. С. 20–25. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.05.20-25
18. Мишуев А.В., Казеннов В.В., Громов Н.В., Лукьянов И.А., Прозоровский Д.В., Бажина Е.В. Проектирование остекления зданий с учетом требований по взрывоустойчивости и взрывобезопасности // *Вестник МГСУ*. 2010. № 4–2. С. 51–55.
  19. Горев В.А., Мольков В.В. О зависимости параметров внутреннего взрыва от устройства предохранительных конструкций в проемах ограждающих стен промышленных и жилых зданий // *Пожаровзрывобезопасность*. 2018. Т. 27. № 10. С. 6–25. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.10.6-25
  20. Пепеляев А.А., Кашеварова Г.Г. Учет характеристик легкобрасываемых конструкций при моделировании взрыва бытового газа в жилом здании // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2012. № 1. С. 147–153.
  21. Доронин Ф.Л., Труханова Л.Н., Фомина М.В. Реакция конструкции здания с оконным блоком на взрывное воздействие на основе решения уравнения динамики // *Вестник МГСУ*. 2014. № 1. С. 33–40.
  22. Поляндов Ю.Х., Добриков С.А. Влияние на развитие газового взрыва в помещении расстояния между местом воспламенения и окном // *Пожаровзрывобезопасность*. 2019. Т. 28. № 3. С. 14–35. <https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.03.14-35>
  23. Константинов А.П., Верховский А.А. Влияние отрицательных температур на теплотехнические характеристики оконных блоков из ПВХ профилей // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 3 (83). С. 72–82. DOI: <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-83-3-72-82>.
  24. Konstantinov A., Verkhovsky A. Assessment of the negative temperatures influence on the PVC windows air permeability. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 753. 022092. doi:10.1088/1757-899X/753/2/022092
  25. Константинов А.П., Крутов А.А., Тихомиров А.М. Оценка теплотехнических характеристик оконных блоков из ПВХ профилей в зимний период эксплуатации // *Строительные материалы*. 2019. № 8. С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>
  26. Константинов А.П., Ибрагимов А.М. Комплексный подход к расчету и проектированию светопрозрачных конструкций // *Жилищное строительство*. 2019. № 1–2. С. 14–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-14-17>
  27. Савин В.К., Рыбкин В.К. Энергоэффективная конструкция оконного блока с проветривателем // *Жилищное строительство*. 2016. № 1–2. С. 15–18.
  28. Орлов Г.Г., Корольченко А.Д. Способ расчета узлов крепления предохранительных (легкобрасываемых) конструкций на действие особого сочетания нагрузок // *Научное обозрение*. 2016. № 20. С. 25–29.
  - openings in buildings taking into account safety requirements. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2019. No. 5, pp. 20–25. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2019.05.20-25
  18. Mishuev A., Kazennov V., Gromov N., Lukyanov I., Prozorovsky D., Bazhina E.. Design of glassing for buildings to meet the requires for resistance to explosion and explosion safety. *Vestnik MGSU*. 2010. No. 4–2, pp. 51–55. (In Russian).
  19. Gorev V.A., Molkov V.V. On the dependence of internal explosion parameters on the installation of safety structures in the apertures of the protecting walls of industrial and residential buildings. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2018. Vol. 27. No. 10, pp. 6–25 (In Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.10.6-25
  20. Pepelyaev A.A., Kashevarova G.G. Given the characteristics of structures easily discharged when modeling domestic gas explosion in a residential building. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture*. 2012. No. 1, pp. 147–153. (In Russian).
  21. Doronin F.L., Trukhanova L.N., Fomina M.V. The reaction of the building structure with window unit to the explosive impact on the basis of dynamic equation solution. *Vestnik MGSU*. 2014. No. 1, pp. 33–40. (In Russian).
  22. Polandov Yu.K., Dobrikov S.A. Effect of distance between ignition location and window on indoor gas explosion development. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2019. No. 28 (3), pp. 14–35. (In Russian). <https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.03.14-35>
  23. Konstantinov A.P., Verkhovsky A.A. Influence of negative temperatures on the thermal characteristics of PVC windows. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. Vol. 83. No. 3, pp. 72–82. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-83-3-72-82>
  24. Konstantinov A., Verkhovsky A. Assessment of the negative temperatures influence on the PVC windows air permeability. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 753. 022092. doi:10.1088/1757-899X/753/2/022092
  25. Konstantinov A.P., Krutov A.A., Tikhomirov A.M. Assessment of the PVC windows thermal characteristics in winter. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 8, pp. 65–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>
  26. Konstantinov A.P., Ibragimov A.M. Complex approach to the calculation and design of translucent structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo*. 2019. No. 1–2, pp. 14–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-14-17>
  27. Savin V.K., Rybkin V.K. Energy efficient design of the window unit with the ventilator. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 1–2, pp. 15–18.
  28. Orlov G.G., Korolchenko A.D. Structural design of attachment fittings of protecting (light removable) structures for the exposure of special load combination. *Nauchnoye obozreniye*. 2016. No. 20, pp. 25–29. (In Russian).



# XII Международная конференция «Нанотехнологии для «зеленого» и устойчивого строительства: NTC-2021»

XII International Conference «Nanotechnology for green and sustainable construction: NTC-2021»

12–16 марта 2021 г. в Шарм-эль-Шейхе (Египет) прошла XII Международная конференция «Нанотехнологии в строительстве: NTC-2021», организаторами которой традиционно выступают Национальный исследовательский центр жилищного и гражданского строительства (НВРС), Министерство жилищного и городского хозяйства Египта, Египетско-Российский университет (ЕРУ) и Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова при информационной поддержке журнала «Строительные материалы»®. Несмотря на сложность эпидемической ситуации в мире, в конференции приняло участие более 130 ученых и специалистов. За два дня работы было заслушано 4 ключевых доклада и 20 дискуссионных, представлено 26 стендовых сообщений.

XII International Conference on “Nano-technology for green and sustainable construction”, traditionally organized by the Housing and Building National Research Center (NBRC), Ministry of Housing, Utilities and Urban Development of Egypt, Egyptian-Russian University (ERU) and the Kalashnikov Izhevsk State Technical University, with the information support of the of the “Construction Materials” Journal was held on march 12–16, 2021 in Sharm-el-Sheikh (Egypt). Despite the complexity of the epidemiological situation in the world, more than 130 specialists took part in the conference. During two days of work, 4 key reports and 20 discussion reports were heard, 26 posters were presented.



Бесценные руководители конференции (слева направо): доктор **С.М. Шебль** (Sayed Shebl M.) (НВРС), Президент Российско-Египетского университета профессор **Ш. Фахри** (Sherif Fakhry), д-р техн. наук **Г.И. Яковлев** (ИЖГТУ) и доктор **М. Хелал** (M. Helal) (НВРС)



Самыми смелыми из иностранных участников конференции оказались представители российской делегации, которые активно вели научную и практическую работу и представили коллегам свои новые научные и практические результаты. В состав российской группы вошли ученые из Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова (ИЖГТУ), Новосибирского государственного аграрного университета (НГАУ),

Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КАСУ) и Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. (СГТУ). Впервые за 12 лет проведения конференций спонсором выступила российская компания – ООО «Новый дом» (г. Ижевск), которая является одним из крупнейших предприятий России по производству лакокрасочных материалов.





Исследования в области нанотехнологий в Египте, как и в России, в основном связаны с использованием нанотрубок. Проблема опреснения и очищения воды по-прежнему является злободневной, поэтому ряд представленных работ был посвящен именно этому направлению. Актуальным также является построение экономических и финансовых моделей, обосновывающих применение нанотехнологии в «зеленом» и устойчивом строительстве.



**Хенд Э. Фарух** (Hend E. Farouh), профессор кафедры окружающей среды и дизайна в Национальном исследовательском центре жилищного и гражданского строительства Египта (HBRC) рассказала о применении наноматериалов в технологии фотоэлектрических систем, продемонстрировала жизнеспособность солнечной энергетики. Учитывая особенности климата, альтернативные источники энергии активно внедряются в Египте. По проектам к 2022 г. «чистая» энергия должна составлять 20% энергобаланса Египта, а к 2035 г. – до 42%. Согласно расчетам, эксплуатация парка фотоэлектрических систем позволит избежать выбросов 2 млн т CO<sub>2</sub> ежегодно. Для Египта борьба с климатическими изменениями

очень важна, ведь глобальное потепление снижает продуктивность сельского хозяйства, угрожает затоплением плодородной дельты Нила и увеличивает частоту смертельных волн жары.



Вручение памятного знака Е.А. Телицыной, генеральному директору первого Российского спонсора конференции ООО «Новый дом»

Генеральный директор ООО «Новый дом» **Е.А. Телицына** представила участникам свою компанию и рассказала о передовых разработках, в том числе с применением наночастиц. Компания «Новый дом» является производителем лакокрасочных материалов. История предприятия началась в 1998 г. в г. Ижевске с открытия производства красок и эмалей. В настоящее время это – современное технологичное предприятие с собственными производственными и складскими площадями, лабораторией европейского уровня, с новейшим цветоизмерительным оборудованием, развитой системой транспортной логистики. Предприятие выпускает все виды пигментных концентратов и колеровочные системы практически для любых областей бизнеса. Все выпускаемые материалы имеют обязательные сертификаты соответствия, паспорта качества продукции, гигиенические сертификаты.



Доценты кафедры «Строительные материалы, механизация и геотехника» (ИжГТУ) **И.С. Полянских** и **И.А. Пудов**

Исследование в области гипсовых материалов было представлено в докладе доцента кафедры «Строительные материалы, механизация и геотехника» **И.С. Полянских**. Для модификации гипсового вяжущего предложен комплекс добавок на основе технической серы и кальцинированного алевролита, который имеет определенный практический потенциал для производства гипсовых изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками (прочностью и влажостойкостью).

Доцент **И.А. Пудов** (кафедра «Строительные материалы, механизация и геотехника») представил коллегам разработку электропроводных составов смесей на основе фторангидрита для возможного их применения при устройстве промышленных полов на производственных площадях и в помещениях с большим количеством оборудования, для которых необходим регулярный отвод статического напряжения.



Постоянный участник конференции, спикер, автор и член редакционного совета журнала «Строительные материалы», д-р техн. наук, заведующий Кафедрой «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций» **В.Г. Хозин** с коллегами



**А. В. Пчельников**, доцент кафедры надежности и ремонта машин НГАУ, представил перспективные защитные покрытия, используемые в объектах сельскохозяйственного назначения, обеспечивающие необходимые физико-механические свойства за счет применения наномодифицированных лакокрасочных материалов. Отмечено, что применяемые в настоящее время в Сибири защитные покрытия не обладают требуемым набором эксплуатационных свойств (устойчивостью к коррозии, огнестойкостью, радиационной защитой), это влечет за собой значительные дополнительные материальные затраты. Использование наномодификатора – гидроксида магния обеспечивает повышение огнестойкости покрытия и сохранение физических и механических свойств.



Утилизация промышленных отходов является одной из актуальных задач всего мирового сообщества. А накопление полимерных отходов и загрязнение экосистем микропластиком стало уже по-настоящему глобальной проблемой. В связи с этим большой интерес участников конференции вызвал доклад доцента кафедры «Строительные материалы и технологии» СГТУ имени Гагарина Ю.А. **Н. Н. Фоминой**. В своей работе она обосновала возможность получения полимерпесчаных изделий с использованием отходов термопластов в качестве связующих, что является реальным путем решения экологической проблемы пластикового загрязнения. Полностью статью можно прочитать в журнале «Строительные материалы», 2021. № 1–2. С. 105–114.



Несмотря на все сложности сначала политического, а затем и пандемийного характера, традиционные весенние встречи ученых и производителей, работающих в области нанотехнологий и устойчивого строительства, продолжают. Мы были сердечно рады встрече с друзьями и новым знакомствам с египетскими коллегами.

## Приглашаем присоединиться к российской делегации в 2022 году!





В.В. ТЮКАВКИНА, канд. техн. наук (v.tiukavkina@ksc.ru),  
 Е.А. ЩЕЛОКОВА, канд. техн. наук (e.shchelokova@ksc.ru),  
 К.А. ПОЖИВИНА, студентка (ksesha776@yandex.ru), А.Г. КАСИКОВ, канд. хим. наук (a.kasikov@ksc.ru)

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)

## Нанодобавки на основе диоксида титана и диоксида кремния для самоочищающихся бетонов

Изучены свойства нанокompозитов  $TiO_2-SiO_2$ , синтезированных с использованием кремнийсодержащих остатков солянокислотного выщелачивания магнезиально-железистых шлаков и раствора сульфата титана, и оценена возможность их использования в составе цементных композитов. Синтезированные нанокompозиты  $TiO_2-SiO_2$  характеризуются высокой удельной поверхностью 183–534 м<sup>2</sup>/г, наличием связи Si–O–Ti в своей структуре, отличаются фазовым составом и содержанием  $SiO_2$ . Установлено, что все исследуемые образцы проявляют фотокаталитическую активность в реакции разложения метиленового синего (МС), как в ультрафиолетовой (УФ), так и в видимой областях спектра (ВС). Степень разложения МС наночастиц  $TiO_2-SiO_2$  составила через 180 мин после УФ облучения 86–67%, ВС – 80–59%. Образец с самой высокой удельной поверхностью 534 м<sup>2</sup>/г проявил фотокаталитическую активность только после ультразвукового диспергирования в присутствии поверхностно-активных (ПАВ). Образец, состоящий из анатаза и аморфного кремнезема, по степени разложения МС превосходит коммерческий катализатор P25. Показано, что применение  $TiO_2-SiO_2$  в составе цементной матрицы ускоряет гидратацию и способствует увеличению прочности при сжатии, при этом с ростом удельной поверхности влияние наночастиц  $TiO_2-SiO_2$  на прочность цементного камня усиливается. Оптимальное содержание добавки в составе цементного теста  $TiO_2-SiO_2$  с наибольшей удельной поверхностью 534 м<sup>2</sup>/г составляет 0,05–0,5 мас. %, при этом прочность увеличивается в суточном возрасте на 60–73%, 28-суточном – на 22–28%. Нанокompозиты  $TiO_2-SiO_2$  могут быть использованы в качестве добавок в бетонные матрицы для улучшения прочностных свойств и получения самоочищающихся поверхностей.

**Ключевые слова:** нанокompозиты  $TiO_2-SiO_2$ , анатаз, аморфный кремнезем, фотокаталитическая активность, диспергация, ПАВ, портландцемент, прочность при сжатии.

**Для цитирования:** Тюкавкина В.В., Щелокова Е.А., Поживина К.А., Касиков А.Г. Нанодобавки на основе диоксида титана и диоксида кремния для самоочищающихся бетонов // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 47–53.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-47-53>

V.V. TYUKAVKINA, Candidate of Sciences (Engineering) (v.tiukavkina@ksc.ru), E.A. SHCHELOKOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (e.shchelokova@ksc.ru), K.A. POZHIVINA, student (ksesha776@yandex.ru), A.G. KASIKOV, Candidate of Sciences (Chemistry) (a.kasikov@ksc.ru)  
 Tananaev Institute of Chemistry – Subdivision of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”  
 (26a, Akademgorodok, Apatity, 184209, Russian Federation)

### Nano-Additives Based on Titanium Dioxide and Silicon Dioxide for Self-Cleaning Concretes

The properties of  $TiO_2-SiO_2$  nanocomposites synthesized with the use of silicon-containing residues of hydrochloric acid leaching of magnesia-ferruginous slag and a solution of titanium sulfate are studied, and the possibility of their use in the composition of cement composites is evaluated. The synthesized  $TiO_2-SiO_2$  nanocomposites are characterized by a high specific surface area (183–534 m<sup>2</sup>/g), the presence of a Si–O–Ti bond in their structure, and differ in the phase composition and  $SiO_2$  content. It is established that all the studied samples exhibit photocatalytic activity in the decomposition reaction of methylene blue (MS), both in the ultraviolet (UV) and visible spectral regions (VS). The degree of MS decomposition of  $TiO_2-SiO_2$  nanoparticles was 86–67% and VS – 80–59% in 180 min after UV irradiation. The sample with the highest specific surface area (534 m<sup>2</sup>/g) showed photocatalytic activity only after ultrasonic dispersion in the presence of surfactants. The sample consisting of anatase and amorphous silica is superior to the commercial P25 catalyst in terms of MS decomposition. It is shown that the use of  $TiO_2-SiO_2$  in the cement matrix accelerates hydration and contributes to an increase in compressive strength, while with an increase in the specific surface area, the effect of  $TiO_2-SiO_2$  nanoparticles on the strength of cement stone increases. The optimal content of the additive in the composition of  $TiO_2-SiO_2$  cement paste with the highest specific surface area (534 m<sup>2</sup>/g) is 0.05–0.5 wt.%, while the strength increases at the daily age by 60–73%, 28 days by 22–28%.  $TiO_2-SiO_2$  nanocomposites can be used as additives in concrete matrices to improve strength properties and obtain self-cleaning surfaces.

**Keywords:**  $TiO_2-SiO_2$  nanocomposites, anatase, amorphous silica, photocatalytic activity, dispersion, surfactant, Portland cement, compressive strength.

**For citation:** Tyukavkina V.V., Shchelokova E.A., Pozhivina K.A., Kasikov A.G. Nano-additives based on titanium dioxide and silicon dioxide for self-cleaning concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 47–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-47-53>

Строительные материалы, обладающие фотокаталитическими свойствами, позволяют заметно снизить загрязняющее воздействие на окружающую среду, они не только могут уменьшить содержание загрязняющих веществ в воздухе, но также могут придать способность к самоочищению поверхностям [1–5]. Одним из наиболее популярных фотокатализаторов, используемых в составе строительных

материалов, является анатаз – полиморфная разновидность диоксида титана. Однако низкая скорость фотохимических процессов и активность под действием только ближнего ультрафиолетового света снижают эффективность применения  $TiO_2$  в цементной композиции [6]. Склонность нано- $TiO_2$  к агрегации, особенно в сильных щелочных растворах, каковыми являются цементные пасты, также суше-

ственно может снизить их практическое применение. Агломерация уменьшает удельную поверхность наночастиц и препятствует их равномерному распределению в цементной матрице, что приводит к возникновению слабых зон в цементном камне [7]. Получение идеальной дисперсии, в которой наночастицы полностью отделены друг от друга и отсутствуют агломераты, имеет решающее значение при использовании наночастиц в качестве добавки в составе цементной матрицы. Следовательно, существует необходимость повышения эффективности фотокатализаторов на основе диоксида титана.

Одним из методов достижения поставленной задачи является получение смешанных оксидов, в которых вследствие допирования разными элементами изменяются свойства  $TiO_2$  либо образуются новые соединения с более эффективными фотокаталитическими свойствами. Известно, что легирование  $TiO_2$  кремнеземом может значительно повысить его сорбционные характеристики и фотокаталитическую активность. Образование слоя диоксида кремния на частицах диоксида титана приводит к формированию электрон-дырочных пар на границе  $SiO_2/TiO_2$ , что способствует улучшению фотокаталитической активности [8]. Монослой диоксида титана, покрывающий поверхность кремнезема, эффективно снижает агрегацию нано- $TiO_2$ . Это связано с тем, что граница раздела  $TiO_2$ , модифицированного  $SiO_2$ , может образовывать связь  $Ti-O-Si$ , которая активизирует каталитические центры сложных оксидов при окислении органических соединений [5]. Наноразмерные частицы  $TiO_2$ , нанесенные на слой  $SiO_2$ , придают материалу супергидрофильные свойства самоочищающегося [9]. Поскольку  $SiO_2$  является одним из компонентов бетона, то его присутствие в составе фотокатализатора может обеспечить не только синергетический эффект с  $TiO_2$ , выражающийся в усилении фотокаталитической активности последнего, но и повысить качество бетона за счет улучшения его основных характеристик.

Использование нанокompозитов  $SiO_2-TiO_2$  в качестве добавки в цемент и бетон рассматривалось в работах [10–14]. Показано, что применение наноструктур из диоксида кремния–диоксида титана в составе цементных растворов способствует приобретению не только бактерицидных свойств и свойств самоочистки, но также улучшает механические свойства цементного камня, способствует повышению степени гидратации и снижению пористости камня.

В ранее проведенных авторами исследованиях установлено, что отходы производства, образующиеся при синтезе титаносиликатного сорбента [15], а также смешанные оксиды диоксида титана и диоксида кремния, полученные с использованием отходов обогащения апатито-нефелиновых руд [16], способствуют повышению прочности при сжатии цементного камня и приобретению способности к самоочищению. Установлено, что оптимальное количество добавки в цементном камне составляет 1 мас. %, при

таком содержании достигается максимальная прочность. Показано, что эффективность действия таких добавок зависит от их удельной поверхности и фазового состава, с увеличением удельной поверхности влияние добавки усиливается. Однако удельная поверхность указанных выше титаносиликатных добавок не превышала  $55 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Известно, что большая площадь поверхности обеспечивает более высокую поверхностную энергию и большую склонность к агломерации, что может сильно повлиять на процесс цементирования и свойства вяжущих композитов [17]. В этом контексте в данной статье рассматривается возможность использования вновь синтезированных нанокompозитов  $SiO_2-TiO_2$  с высокой удельной поверхностью  $183-534 \text{ м}^2/\text{г}$ , полученных с использованием технологических отходов, для создания строительных композитов с улучшенными строительными-техническими и специальными свойствами.

В ходе проведения исследований использовались следующие материалы:

- портландцемент типа СЕМ I 42,5 Н, ЗАО «Липецкцемент», г. Липецк;
- нанокompозиты  $TiO_2-SiO_2$  с удельной поверхностью ( $S_{уд}$ )  $183-534 \text{ м}^2/\text{г}$ , синтезированные из техногенных отходов;
- фотокатализатор P25 фирмы Degussa, который служил образцом сравнения при определении фотокаталитической активности;
- для предотвращения агломерации и равномерного распределения наночастиц  $TiO_2-SiO_2$  в объеме материала применяли поверхностно-активные вещества в виде гексаметафосфата натрия.

Для синтеза нанокompозита  $TiO_2-SiO_2$  в качестве кремнийсодержащего агента использовался раствор силиката натрия, полученный при растворении кремнийсодержащих остатков от соляно-кислотного выщелачивания шлаков комбината «Печенганикель» Кольской ГМК [18] в 2N растворе NaOH. В качестве титансодержащего агента был использован раствор сульфата титана. Концентрация реагентов приведена в табл. 1. В качестве гидролитического агента был использован 0,1 N раствор NaOH.

При синтезе по данной методике порядок смешивания исходных реагентов был следующим: к раствору сульфата титана по каплям приливали раствор силиката натрия, затем для установления  $pH=2$  добавляли 0,1 N раствор NaOH. Для обеспечения homogeneity системы процесс сопровождался интенсив-

**Таблица 1**  
**Table 1**

**Концентрация реагентов при синтезе нанокompозитов  $TiO_2-SiO_2$**   
**Concentration of reagents in the synthesis of  $TiO_2-SiO_2$  nanocomposites**

Маркировка образца	$C_{TiO_2}$ , г/л	$C_{H_2SO_4}$ , г/л	$C_{SiO_2}$ , г/л
TS1	70	100	90
TS2	70	100	90
TS3	90	700	40

Таблица 2  
Table 2

Удельная поверхность композитов  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$   
с различным содержанием  $\text{SiO}_2$   
Specific surface area  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  composites  
with different  $\text{SiO}_2$  content

Маркировка образца	$S_{\text{уд}}$ , $\text{м}^2/\text{г}$	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$
TS1	183	43,04	55,36	1,29
TS2	367	39,18	60,61	1,55
TS3	534	19,82	78,97	3,98

ным перемешиванием с помощью магнитной мешалки со скоростью вращения 250 об/мин в течение 1 ч. Синтез осуществляли при температуре  $80 \pm 1^\circ\text{C}$  (образец TS1) либо при комнатной температуре  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  (образец TS2, TS3). Затем проводили дегидратацию суспензии при температуре  $100^\circ\text{C}$  в течение 3 ч в сушильном шкафу. Для удаления сульфат-ионов и натрия полученный титаносиликатный продукт промывали водой. Заключительной стадией являлась сушка образцов в течение 2 ч при температуре  $100^\circ\text{C}$  (скорость нагрева  $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ ).

Состав и свойства синтезированных нанокомпозитов  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  были изучены с использованием химического, рентгенофазового (РФА), инфракрасно-спектрального (ИКС) методов анализа. Химический состав титаносиликатных порошков определяли на атомно-эмиссионном спектрометре ICPE 9000 (Shimadzu). Рентгенограммы образцов были сняты на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 с источником излучения  $\text{Cu}_K$ . Инфракрасные спектры с Фурье-преобразованием (FT-IR) образцов были получены на Nicolet 6700 с использованием метода KBr.

Определение удельной поверхности ( $S_{\text{уд}}$ ) синтезированных порошков проводилось методом БЭТ по изотермам сорбции/десорбции азота на приборе TriStar II 3020 V.1.03. Морфологию синтезированных нанокомпозитов  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа LEO 420 («ZEISS», Германия), оснащенного энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 400 («OXFORD Instrument», Великобритания).

Выполненные исследования показали, что условия синтеза и концентрация исходных компонентов оказывают значительное влияние на поверхностные свойства ( $S_{\text{уд}}$ ) и химический состав синтезирован-

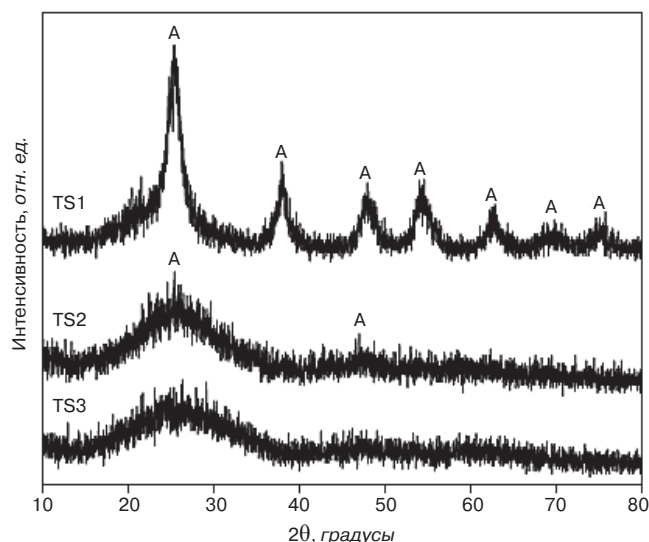


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы образцов  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ : А – анатаз  
Fig. 1. X-ray diffractions for  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  samples: А – anatase

ных композитов  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  (табл. 2). Удельная поверхность  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  образцов изменяется от 183 до  $534 \text{ м}^2/\text{г}$ , а соотношение  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  от 1,29 до 3,98. Отмечено, что рост температуры приводит к снижению удельной поверхности, а увеличение солевого фона способствует ее росту.

По данным рентгенофазового анализа состав образца TS1 представлен двумя фазами: одна из фаз кристаллическая, соответствует анатазу, а вторая рентгеноаморфная – фаза кремнезема (рис. 1). На спектре образца TS2 можно отметить присутствие  $\text{TiO}_2$  в форме анатаза ( $2\theta=25,48$  и  $47,06$ ), состоящего из мелких кристаллитов, о чем свидетельствует широкая форма и низкая интенсивность характеристических линий. Состав образца TS3 ( $S_{\text{уд}}=534 \text{ м}^2/\text{г}$ ) представлен только аморфными фазами, на дифрактограмме не наблюдается характерных пиков кристаллического  $\text{TiO}_2$ .

Морфология образцов  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ , полученная с использованием цифрового сканирующего электронного микроскопа, приведена на рис. 2. Здесь видно, что частицы  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  подвержены агрегации и представляют собой сильно сросшиеся конгломераты различной крупности и неправильной формы. Для образцов с высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  можно отметить наличие более мелких частиц (отнесенных к  $\text{TiO}_2$ ) на поверхности более крупных ча-

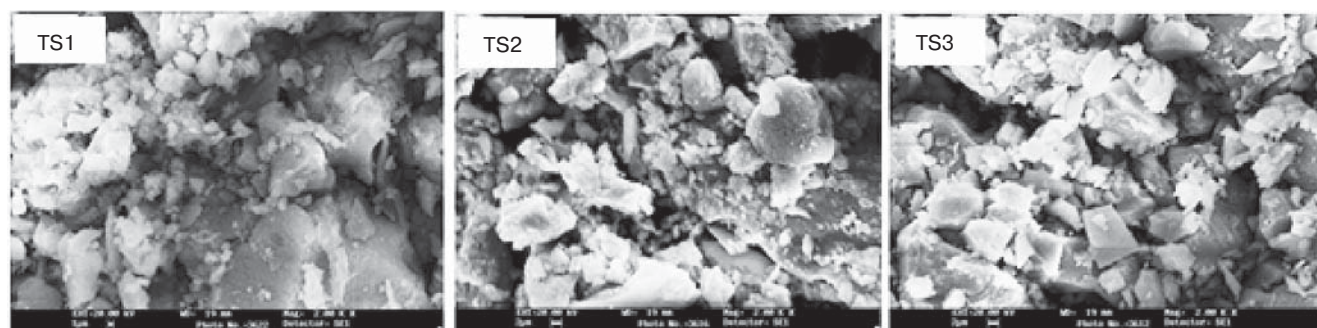


Рис. 2. СЭМ изображение образцов  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$   
Fig. 2. SEM micrographs of  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  samples

стиц (отнесенных к SiO<sub>2</sub>), при этом диспергирование частиц TiO<sub>2</sub> на поверхности SiO<sub>2</sub> происходит неравномерно. Поверхность композита с максимальным содержанием TiO<sub>2</sub> (TS3) является более однородной, и гладкость поверхности уменьшается. Наличие более мелких и рыхлых частиц на поверхности приводит к росту удельной поверхности композита, что согласуется с результатами табл. 2.

ИК-спектры синтезированных накомпозитов TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> представлены на рис. 3. Полосы поглощения в области 3382–3405 см<sup>-1</sup> и 1630–1631 см<sup>-1</sup> связаны с валентными колебаниями адсорбированной воды. Пик в области 1100 см<sup>-1</sup> относится к асимметричным валентным колебаниям связей Si-O-Si в матрице диоксида кремния; для образцов TS1 и TS2 данная полоса поглощения сдвинута в область более низких волновых чисел (1054 см<sup>-1</sup>), в то время как на спектре образца TS3 (S<sub>уд</sub>=534 м<sup>2</sup>/г) заметного смещения не наблюдается. Этот факт указывает на то, что атомы кремния в матрице SiO<sub>2</sub> замещены другими атомами металлов, в данном случае TiO<sub>2</sub> [19]. Пик в области 942–965 см<sup>-1</sup> на спектрах синтезированных образцов соответствует колебаниям связей Si-O-Ti, что подтверждает образование связи между SiO<sub>2</sub> и TiO<sub>2</sub> [20].

Эффективность действия фотокаталитических добавок во многом зависит от фазового состава, размера кристаллов и удельной поверхности материала. Синтезированные авторами нанокompозиты TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> обладают рядом важных свойств, таких как высокая удельная поверхность, наличие связей Si-O-Ti в своей структуре и наличие анатаза (пробы TS1, TS2); все эти свойства могут быть полезными для процессов фотоиницированного синтеза и фоторазложения органических соединений. Как известно, фаза анатаза является фотокаталитически более активной [5].

Оценку фотокаталитической активности синтезированных титаносиликатных нанокompозитов проводили в сравнении с высокодисперсным диоксидом титана с кристаллической модификацией анатаза Degussa P25 (TiO<sub>2</sub>), используя методику, основанную на разложении красителя метиленового синего (МС) в водном растворе. Концентрация TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> порошков в суспензии составила 125 мг/л. Для того чтобы снизить агрегацию наночастиц дис-

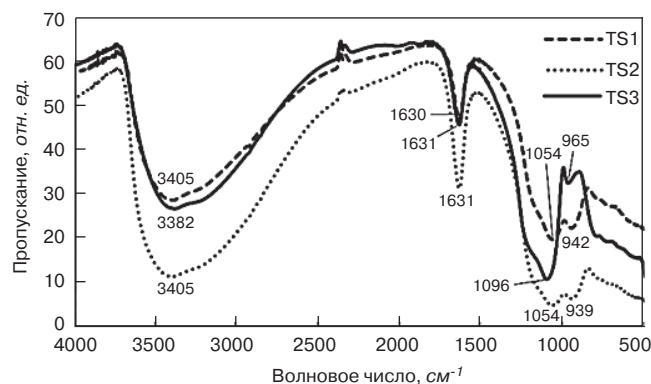


Рис. 3. ИК-спектры образцов TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>  
Fig. 3. FT-IR spectra of TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> samples

перной фазы, проводили ультразвуковое диспергирование в течение 10 мин на установке ультразвукового диспергатора УЗД 2-0.1/22, генерирующего ультразвуковое поле частотой 22 кГц и мощностью 0,2 кВт. Далее раствор подвергали облучению ультрафиолетовым либо видимым светом при постоянном перемешивании на магнитной мешалке, каждые 30 мин производился отбор пробы. Для облучения использовали УФ-лампу с интенсивностью излучения 85 м<sup>2</sup>/ч и длиной волны 254 нм. Раствор образца отделяли от катализатора центрифугированием со скоростью 7000 об/мин в течение 15 мин. Концентрацию МС определяли путем измерения оптической плотности при длине волны λ=664 нм с использованием спектрофотометра КФК-3. Расчет степени разложения МС производился по формуле:

$$\text{Степень разложения} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100,$$

где C<sub>0</sub> – исходная концентрация; C – концентрация через определенный промежуток времени.

Экспериментальные кривые изменения степени разложения МС в растворах, содержащих исследуемые нанокompозиты, в сравнении с кристаллической модификацией анатаза Degussa P25 приведены на рис. 4.

Наибольшей фотокаталитической активностью в реакции разложения метиленового синего в течение всего периода облучения (180 мин) обладает образец TS1 с удельной поверхностью 183 м<sup>2</sup>/г, состоящий из анатаза и аморфного кремнезема. Указанный образец по степени разложения МС превосходит коммерческий фотокатализатор P25. Поскольку TiO<sub>2</sub> присутствует как в образце TS1, так и в P25 в виде анатаза, то данный факт, по-видимому, связан с присутствием аморфного кремнезема, который способен усиливать фотокаталитическую активность диоксида титана за счет наличия связи Si-O-Ti, активизирующей каталитические центры композитных оксидов в реакциях

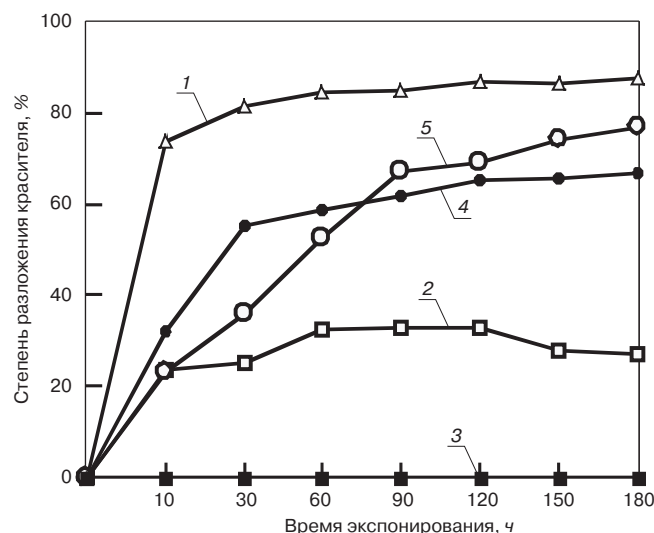


Рис. 4. Фотокаталитическая активность образцов TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> в зависимости от времени выдержки в УФ-свете по сравнению с коммерческим TiO<sub>2</sub> (P25): 1 – TS1; 2 – TS2; 3 – TS3; 4 – TS3+ПАВ; 5 – P25

Fig. 4. The photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> samples after various exposure times under UV light in comparison with commercial TiO<sub>2</sub> (P25): 1 – TS1; 2 – TS2; 3 – TS3; 4 – TS3+Surfactant; 5 – P25

окисления и разложения органических соединений. Однако образцы TS2 и TS3 также характеризуются присутствием связи Si–O–Ti; вместе с тем образец TS2, имеющий  $S_{уд}$  в два раза больше ( $367 \text{ м}^2/\text{г}$ ) по сравнению с образцом TS1, только в первые минуты облучения по степени разложения красителя не уступает коммерческому P25; образец TS3 с самой высокой удельной поверхностью ( $534 \text{ м}^2/\text{г}$ ) в реакции разложения метиленового синего вообще не проявил фотокаталитическую активность. Такие результаты связаны с агрегацией частиц, а также с присутствием  $\text{TiO}_2$  в аморфной фазе. Вследствие наличия высокой удельной поверхности эти частицы обладают повышенной избыточной энергией и склонностью к агломерации. В результате этого процесса рабочая площадь поверхности значительно снижается.

Для равномерного распределения наночастиц в цементных матрицах используются различные методы: ультразвуковое, магнитное, ручное перемешивание, а также химические методы, например использование поверхностно-активных веществ. Для предотвращения агрегации частиц образцы TS2 и TS3 подвергали ультразвуковому диспергированию в присутствии поверхностно-активных веществ в виде гексаметафосфата натрия. В ходе эксперимента было установлено, что в среде 0,15%-го гексаметафосфата натрия степень разложения МС через 180 мин облучения для образца TS2 достигла 79%, для образца TS3 – 67%. Кривая изменения степени разложения МС в 0,15%-м растворе гексаметафосфата натрия для образца TS3 приведена на рис. 4 (кривая 4).

Сравнительная характеристика фотокаталитической активности синтезированных наноконкомпозитов  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$  после облучения в ультрафиолетовой и видимой областях спектра приведена в табл. 3. Образец TS1 был приготовлен в водной среде, образцы TS2 и TS3 – в 0,15%-м растворе ПАВ.

Как видно из приведенных данных, синтезированные наноконкомпозиты проявляют фотокаталитическую активность как в ультрафиолетовой, так и в видимой областях спектра, при этом показатели степени разложения красителя после облучения ВС всего на 7–12% меньше, чем после УФ. Склонность частиц к агломерации и фазовый состав оказывают значительное влияние на фотокаталитическую активность наноконкомпозита  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$ . Так, степень разложения МС уменьшается с увеличением удельной поверхности образцов. Наноконкомпозит  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$ , состоящий

из анатазной фазы диоксида титана и аморфного кремнезема, характеризуется наибольшей фотокаталитической активностью.

Влияние добавки синтезированных образцов  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$  на прочность при сжатии цементного камня изучали в образцах пластичной консистенции состава 1:0. Для максимального разделения наночастиц титаносиликатного порошка в объеме цементной матрицы порошки предварительно подвергали ультразвуковому диспергированию в течение 10 мин при помощи ультразвукового диспергатора в присутствии ПАВ. Концентрация гексаметафосфата натрия в воде составляла 0,15 мас. %. При приготовлении образцов полученную при диспергировании суспензию смешивали с цементом и водой в лабораторном автоматическом растворосмесителе в течение 180 с со скоростью  $140 \pm 5$  об/мин, а затем со скоростью  $285 \pm 10$  об/мин в течение 90 с. Из цементного теста нормальной плотности формовали образцы размерами  $2 \times 2 \times 2$  см, которые твердели при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха 90–95%. Образцом сравнения служил состав без добавки  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$  (контрольный состав). Содержание добавки в цементной пасте изменялось от 0,05 до 3 мас. %. Составы смесей приведены в табл. 4. Как видно из приведенных в табл. 4 данных, с увеличением содержания добавки и удельной поверхности водопотребность смеси повышается.

Прочность при сжатии цементных образцов, содержащих 1 мас. % добавки  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$ , приведена на рис. 5. Введение в состав цементных паст исследуемых наноконкомпозитов способствует увеличению прочности при сжатии для всех синтезированных образцов и во все сроки испытания по сравнению с контрольным составом. Поверхностные свойства наночастиц оказывают значительное влияние на процесс и скорость гидратации; с увеличением удельной поверхности  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$  влияние добавки на прочность цементного камня усиливается. Наибольший прирост прочности соответствует цементному камню, модифицированному  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$  с удельной поверхностью  $534 \text{ м}^2/\text{г}$  (образец TS3). При введении в состав цементных паст 1 мас. %  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$  (образцы TS1, TS2, TS3) прочность при сжатии повышается в возрасте 1 сут на 14–44%, в 28 сут – 14–32%, по сравнению с контрольным составом.

Таблица 4  
Table 4

Состав смесей цементной композиции  
Detailed mix cement composition

№ смеси	$\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$	Цемент, мас. %	Количество добавки, мас. %	ПАВ, мас. %	В/Ц
Control	–	100	–	–	0,26
C1	TS3	99,95	0,05	0,06	0,26
C2	TS3	99,9	0,1	0,06	0,265
C3	TS3	99,5	0,5	0,06	0,271
C4	TS3	99	1	0,06	0,308
C5	TS3	97	3	0,06	0,347
C6	TS1	99	1	0,06	0,28
C7	TS2	99	1	0,06	0,293

Таблица 3  
Table 3

Фотокаталитическая активность наноконкомпозитов  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$  после облучения ультрафиолетовым и видимым светом  
The photocatalytic activity of  $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$  samples after UV and visible light irradiation

Условия экспонирования	Степень разложения красителя, %		
	TS1	TS2	TS3
УФ	86	79	67
ВС	80	72	59

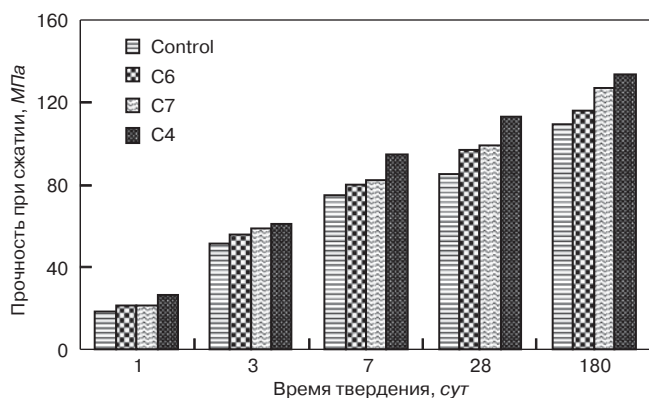


Рис. 5. Прочность цементного камня, содержащего 1 мас. % добавки  $TiO_2-SiO_2$

Fig. 5. The compressive strength of cement stone containing 1 wt. % of  $SiO_2-TiO_2$  additives

Известно, что большая удельная поверхность и меньший размер частиц обеспечивают большую реакционную способность, которая проявляется более интенсивно на ранних сроках твердения и оказывает влияние на прочность при меньших дозировках. Также для того, чтобы облегчить диспергирование и избежать агломерации наночастиц, которая возникает в результате их высокой удельной поверхности, рекомендуется использовать небольшие количества добавки [26]. Исходя из вышеизложенного для образца TS3, характеризующегося наибольшей удельной поверхностью ( $S_{уд}=534 \text{ м}^2/\text{г}$ ), было изучено влияние количества добавки на прочность при сжатии. Зависимость прочности от содержания добавки в цементном камне приведена на рис. 6.

Определено, что оптимальное содержание добавки составляет 0,05–0,5 мас. %; при большем содержании наблюдается снижение прочности. При такой дозировке прочность увеличивается в 1-суточном возрасте на 60–73%; 3 сут – 58–72%; 7 сут – 23–34%; 28 сут – 22–28%. Зависимость прочностных свойств от массового содержания добавки носит немонотонный характер, что, по-видимому, связано с неравномерным распределением частиц  $TiO_2-SiO_2$  в объеме цементной матрицы, которое может привести к пустотам либо слабым зонам и, следовательно, к снижению прочности [7]. Уменьшение прочности при увеличении количества добавки в цементном камне также обусловлено и повышением водопотребности смеси. Однако чтобы определить истинную причину, необходимо провести исследования влияния наночастиц  $TiO_2-SiO_2$  на процессы фазо- и структурообразования.

### Выводы

1. Полученные с использованием кремнийсодержащих остатков солянокислотного выщелачивания магнезиально-железистых шлаков и раствора сульфата титана нанокompозиты  $TiO_2-SiO_2$  характеризуются наличием связи Si–O–Ti и высокой удельной поверхностью (183–534  $\text{м}^2/\text{г}$ ). Нанокompозиты  $TiO_2-SiO_2$  с высокой удельной поверхностью обладают повышенной избыточной энергией и склонно-

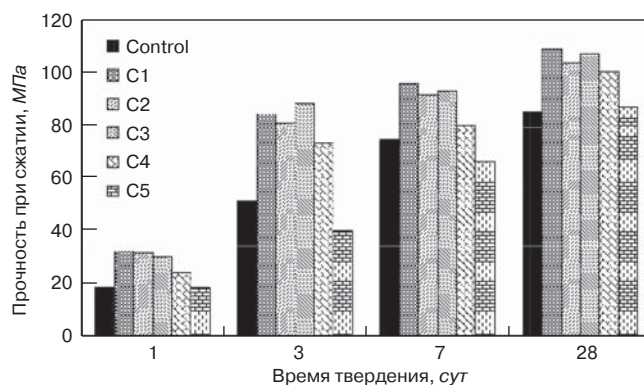


Рис. 6. Кинетика твердения цементного камня в зависимости от содержания добавки TS3

Fig. 6. Hardening kinetics of cement stone depending on TS3 additive content

стью к агломерации. Для предотвращения агрегации частиц необходимо подвергать  $TiO_2-SiO_2$  порошки ультразвуковому диспергированию в присутствии поверхностно-активных веществ.

2. Синтезированные наночастицы  $TiO_2-SiO_2$  проявляют фотокаталитическую активность в реакциях разложения MC как в ультрафиолетовой, так и в видимой областях спектра, степень разложения красителя после облучения УФ-светом составляет 86–67%, видимым светом – 80–72%. Нанокompозит  $TiO_2-SiO_2$  с удельной поверхностью 183  $\text{м}^2/\text{г}$ , состоящий из анатазной фазы диоксида титана, обладает наибольшей фотокаталитической активностью и превосходит по степени разложения красителя коммерческий фотокатализатор P25.

3. Применение  $TiO_2-SiO_2$  порошков в составе цементной матрицы ускоряет гидратацию и способствует повышению прочности, с увеличением удельной поверхности влияние наночастиц  $TiO_2-SiO_2$  на прочность цементного камня усиливается.

4. Синтезированные нанокompозиты  $SiO_2-TiO_2$  могут быть использованы в технологии получения современных строительных материалов со специальными свойствами.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

### Список литературы / References

1. Kaja A.M., Brouwers H.J.H., Yu Q.L. NOx degradation by photocatalytic mortars: The underlying role of the CH and C–S–H carbonation. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 125. 105805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105805>
2. Jin Q., Saad E.M., Zhang W., Tang Y., Kurtis K. E. Quantification of NOx uptake in plain and  $TiO_2$ -doped cementitious materials. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 122, pp. 251–256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.05.010>
3. Курбатов В.Л., Дайронас М.В. Экологический эффект от фотокаталитического бетона // *Университетская наука*. 2019. № 1. С. 24–27.

3. Kurbatov V.L., Daironas M.V. Ecological effect of photocatalytic concrete. *Universitetskaya nauka*. 2019. No. 1, pp. 24–27. (In Russian).
4. Лукутцова Н.П., Ефремочкин Н.П., Борсук О.И., Головин С.Н. Фотокаталитически активный самоочищающийся мелкозернистый бетон // *Строительные материалы*. 2020. № 1–2. С. 8–16. DOI: doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-8-15
4. Lukutsova N.P., Efremochkin N.P., Borsuk O.I., Golovin S.N. Photocatalytic self-cleaning fine-grained concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 1–2, pp. 8–15. DOI: doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-8-15
5. Li Z., Ding S., Yu X., Han B., Ou J. Multifunctional cementitious composites modified with nano titanium dioxide: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018. Vol. 111, pp. 115–137. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.05.019
6. Yang L., Hakki A., Wang F., Macphee D.E. Photocatalyst efficiencies in concrete technology: The effect of photocatalyst placement. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2018. Vol. 222, pp. 200–208. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.10.013
7. Korayema A.H., Tourani N., Zakertabrizi M., Sabziparvar A.M., Duan W.H. A review of dispersion of nanoparticles in cementitious matrices: Nanoparticle geometry perspective. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 153, pp. 346–357. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.164
8. Zafir A.-V., Voicu G., Bădănoiu A.-I., Gogan D., Oprea O., Vasile E. Synthesis and characterization of titania-silica fume composites and their influence on the strength of self-cleaning mortar. *Composites Part B: Engineering*. 2018. Vol. 140, pp. 157–163. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.032
9. Zhang X.T., Sato O., Taguchi M., Einaga Y., Murakami T., Fujishima A. Self-cleaning particle coating with antireflection properties. *Chemistry of Materials*. 2005. Vol. 17. No. 3, pp. 696–700. DOI: https://doi.org/10.1021/cm0484201.
10. Ren J., Lai Y., Gao J. Exploring the influence of SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 175, pp. 277–285. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.035
11. Sun J., Cao X., Xu Z., Yub Z., Hang Y., Hou G., Shen X. Contribution of core/shell TiO<sub>2</sub>@SiO<sub>2</sub> nanoparticles to the hydration of Portland cement. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 233, pp. 117–127. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117127
12. Wang D., Hou P., Zhang L., Xie N., Cheng X. Photocatalytic activities and chemically-bonded mechanism of SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub> nanocomposites coated cement-based materials. *Materials Research Bulletin*. 2018. Vol. 102, pp. 262–268. DOI: https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.02.013
13. Лабузова М.В., Губарева Е.Н., Огурцова Ю.Н., Строчкова В.В. Использование фотокаталитического композиционного материала в цементной системе // *Строительные материалы*. 2019. № 5. С. 16–21. DOI: https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-770-5-16-21
13. Labuzova M.V., Gubareva E.N., Ogurtsova Yu.N., Stroikova V.V. The use of the photocatalytic composite material in the cement system. *Stroitel'nye Materialy*. 2019. No. 5, pp. 16–21. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-770-5-16-21
14. Zafir A.-V., Voicu G., Bădănoiu A.-I., Gogan D., Oprea O., Vasile E. Synthesis and characterization of titania-silica fume composites and their influence on the strength of self-cleaning mortar. *Composites Part B: Engineering*. 2018. Vol. 140, pp. 157–163. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.032
15. Тукувкина В.В., Герасимова Л.Г., Тсырятева А.В. Синтетические титаносиликатные добавки для специального цемента. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2019. Vol. 10, pp. 1153–1158. DOI: 10.1134/S2075113319050320
16. Тюкавкина В.В., Герасимова Л.Г., Цырятева А.В. Эффективность использования титаносиликатных порошков в цементных композитах. *ALITINFORM: Цемент. Бетон. Сухие Смеси*. 2019. № 2 (55). С. 2–14.
16. Тукувкина В.В., Герасимова Л.Г., Тсырятева А.В. Эффективность использования титаносиликатных порошков в цементных композитах. *ALITINFORM: Тсемент. Бетон. Сухие Смеси*. 2019. № 2 (55), pp. 2–14. (In Russian).
17. Han B., Ding S., Wang J., Ou J. Nano-engineered cementitious composite. *Springer Nature Singapore Pte Ltd*. 2019. DOI: doi.org/10.1007/978-981-13-7078-6
18. Касиков А.Г. Проблемы и перспективы вовлечения в хозяйственный оборот отвальных продуктов медно-никелевого производства. *Север и Рынок: формирование экономического порядка*. 2013. № 1 (32). С. 48–52.
18. Kasikov A.G. Recovery of dump waste products of the copper-nickel process. Prospects and challenges. *Sever i Rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka*. 2013. No. 1 (32), pp. 48–52. (In Russian).
19. Davis R.J., Liu Z., Davis R.J. Titania-silica: a model binary oxide catalyst system. *Chemistry of Materials*. 1997. Vol. 9, pp. 2311–2324. DOI: https://doi.org/10.1021/cm970314u
20. Kibombo H.S., Zhao D., Gonshorowski A., Budhi S., Koppang M.D., Koodali R.T. Cosolvent-induced gelation and the hydrothermal enhancement of the crystallinity of titania-silica mixed oxides for the photocatalytic remediation of organic pollutants. *Journal of Physical Chemistry C*. 2011. Vol. 115, pp. 6126–6135. DOI: https://doi.org/10.1021/jp110988j
21. Korayem A.H., Tourani N., Zakertabrizi M., Sabziparvar A.M., Duan W.H. A review of dispersion of nanoparticles in cementitious matrices: Nanoparticle geometry perspective. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 153, pp. 346–357. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.164



# К 60-летию Сайда-Альви Юсуповича МУРТАЗАЕВА

28 апреля 2021 г. исполнилось 60 лет **Сайду-Альви Юсуповичу Муртазаеву**, доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой «Технология строительного производства», проректору по инвестиционной деятельности и имущественному комплексу Грозненского государственного нефтяного технического университета им. акад. М.Д. Миллионщикова.

Родился в с. Дышне-Ведено Веденского района Чечено-Ингушской АССР в многодетной семье. В 1978 г. с золотой медалью окончил Дышне-Веденскую среднюю школу № 1. В том же году поступил на первый курс строительного факультета Грозненского нефтяного института им. акад. М.Д. Миллионщикова по специальности «Промышленное и гражданское строительство», который с отличием окончил в 1983 г.

В период с 1984 по март 1987 г. обучался в очной аспирантуре Московского инженерно-строительного института (МИСИ) им. В.В. Куйбышева на кафедре «Строительное производство».

Трудовую деятельность начал в 1983 г. С 1989 г. по настоящее время непрерывно работает в Грозненском государственном нефтяном техническом университете им. акад. М.Д. Миллионщикова, где прошел путь от научного сотрудника до проректора по стратегическому развитию и инвестиционной деятельности.

Научной деятельностью Сайд-Альви Юсупович начал заниматься, еще будучи студентом, когда в конце 70-х – начале 80-х гг. такими известными учеными, как Заседателев И.Б., Крылов Б.А., Баженов Ю.М., Малинский Е.Н. и др., была создана отечественная научная школа по ресурсосберегающим технологиям производства бетона и железобетона. Сайд-Альви Юсупович занимался экспериментальными разработками для практического внедрения технологии тепловой обработки изделий сложного геометрического профиля с использованием солнечной энергии (гелиотермообработки). В лаборатории тепло-массообмена Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института «Теплопроект», на специально разработанном стенде «Солнце» для вертикальных поверхностей, а также в производственных условиях регионов страны южнее 40° северной широты были проведены исследования по формированию температурных полей при гелиотермообработке изделий кольцевого сечения и набору прочности в течение суток. Используя эти результаты, Муртазаев С.-А.Ю. предложил технологию гелиотермообработки изделий кольцевого сечения, которая успешно была внедрена в производство в конце 80-х гг.

В марте 1988 г. на докторском Совете МИСИ им. В.В. Куйбышева Муртазаев С.-А.Ю. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Ученая степень доктора технических наук присуждена решением № 28д/32 Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ от 10 июля 2009 г.

Педагогическую деятельность в университете Муртазаев С.-А.Ю. совмещает с административной и научно-исследовательской работой. С 1990 по февраль 1993 г. был заместителем декана строительного факультета, с 2001 по 2012 г. – проректор по капитальному строительству, с 2012 по 2020 г. – проректор по стратегическому развитию и инвестиционной деятельности. С 2020 г. по настоящее время – проректор по инвестиционной деятельности и имущественному комплексу.

Занимая с 2005 г. должность заведующего кафедрой «Технология строительного производства», Муртазаев С.-А.Ю. руководит дипломным проектированием, магистратурой и аспирантурой, ведет учебные занятия. Является автором около 400 научных и более 100 учебно-методических публикаций, в том числе более 40 публикаций в изданиях базы международного цитирования Scopus и Web of Science; около 100 работ в рецензируемых журналах ВАК РФ, 16 монографий и 18 патентов на изобретение. В последние десять лет под его руководством защищено десять кандидатских и одна докторская диссертация, в настоящее время обучаются в аспирантуре восемь человек. Стаж научно-педагогической работы составляет более 35 лет, из них 31 – непрерывно в ГГНТУ.

С 2001 г. в условиях острой нехватки строительных материалов и катастрофического ухудшения экологической обстановки в целом по республике, и в частности в г. Грозном, Муртазаев С.-А.Ю. начинает углубленно заниматься научным обеспечением решения этих вопросов. Под его руководством начинает формироваться научная школа по прогнозированию получения строительных композитов на основе использования техногенного сырья в виде бетонного лома разборки зданий и сооружений, а также утилизации многомиллионных кубометров золошлаковых отходов работы ТЭЦ, образовавшихся в результате их работы начиная с 1929 г.

В рамках научно-исследовательской деятельности научной школы «Энерго- и ресурсосберегающие технологии производства строительных композитов», возглавляемой С.-А.Ю. Муртазаевым, разработаны и внедрены в производство высокопрочные бетоны для сейсмостойкого строительства при устройстве буронабивных свай высотного комплекса «Ахмат тауэр» и находятся на стадии внедрения бетоны на бесклинкерных вяжущих щелочной активации.

За значительный научный вклад в посткризисное развитие республики в 2010 г. он избран членом-корреспондентом Академии наук Чеченской Республики. Является членом ученых советов университета и Института строительства, архитектуры и дизайна, членом научно-методического совета и входит в состав редакционно-издательского совета ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова. Член Градостроительного совета при Правительстве Чеченской Республики.

Много лет Сайд-Альви Юсупович является членом редакционного совета журнала «Строительные материалы»®, его автором, рецензентом. Сердечно поздравляем Вас с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия и творческих удач и долгие годы плодотворной деятельности на благо российской науки.



УДК 691.32

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-55-62>

С.-А.Ю. МУРТАЗАЕВ, д-р техн. наук (s.murtazaev@mail.ru),  
 М.Ш. САЛАМАНОВА, канд. техн. наук (madina\_salamanova@mail.ru),  
 А.Х. АЛАСХАНОВ, канд. техн. наук (alaskhanov@bk.ru),  
 Т.С.-А. МУРТАЗАЕВА, канд. техн. наук (tomamurtazaeva@mail.ru)

Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М.Д. Миллионщикова  
 (364021, г. Грозный, пр. Исаева, 100)

## Перспективы использования отходов цементной промышленности для получения современных бетонных композитов

Многолетний опыт технологии получения портландцементного клинкера показал эффективность этого ресурсо- и энергоемкого вяжущего. Этот материал вне конкуренции, и лидирующие позиции на строительном рынке он будет прочно занимать ближайшие годы. Но существуют негативные последствия цементного производства, связанные с выбросами в атмосферу и окружающую среду огромного количества цементной пыли, углекислого газа, диоксинов, серы и т. п. Для решения обозначенных проблем необходимо развигать новые технологии, к которым можно отнести и бесклинкерные вяжущие щелочного затворения с использованием алюмосиликатных добавок природного или техногенного происхождения, и это актуальная задача обеспечения экологической безопасности земной цивилизации. В представленной работе обоснована перспективность использования цементной пыли. Гранулометрический анализ, химический состав и минералогия исследуемых порошков, соответствующие готовой сырьевой смеси портландцементного клинкера, свидетельствуют о пригодности их для получения бесклинкерных цементов щелочной активации и бетонов на их основе. Полученные закономерности процессов формирования структуры вяжущей связки отходы цементной промышленности –  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  позволяют рекомендовать данные разработки для создания прочных и долговечных искусственных строительных композитов, конкурирующих с бетонами на портландцементе.

**Ключевые слова:** портландцементный клинкер, аспирационная пыль, клинкерная пыль, вращающаяся печь, дифференциально-термический анализ, термогравиметрические кривые.

**Для цитирования:** Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Аласханов А.Х., Муртазаева Т.С.-А. Перспективы использования отходов цементной промышленности для получения современных бетонных композитов // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 55–62. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-55-62>

S.-A.Yu. MURTAZAEV, Doctor of Sciences (Engineering) (s.murtazaev@mail.ru),  
 M.Sh. SALAMANOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (madina\_salamanova@mail.ru),  
 A.Kh. ALASKHANOV, Candidate of Sciences (Engineering), T.S.-A. MURTAZAEVA, Candidate of Sciences (Engineering)  
 Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshtchikov (100, Isayev Avenue, Grozny, 364051, Chechen Republic, Russian Federation)

### Prospects for the Use of Cement Industry Waste for the Production of Modern Concrete Composites

Many years of experience in the technology of producing Portland cement clinker has shown the effectiveness of this resource – and energy-intensive binder. This material is out of competition and it will firmly occupy a leading position in the construction market in the coming years. But there are negative consequences of cement production associated with the release into the atmosphere and the environment of a huge amount of cement dust, carbon dioxide, dioxins, sulfur, etc. To solve these problems, it is necessary to develop new technologies, which include linker-free binders mixing with alkaline with the use of alumino-silicate additives of natural or man-made origin, and this is an urgent task to ensure the environmental safety of the earth's civilization. In the presented work, the prospects of using cement dust are justified. Granulometric analysis, chemical composition and mineralogy of the studied powders, corresponding to the finished raw material mixture of Portland cement clinker, indicate their suitability for the production of clinker-free cements of alkaline activation and concretes based on them. The obtained regularities of the processes of formation of the structure of the binder of the cement industry waste- $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , will make it possible to recommend these developments for the creation of strong and durable artificial building composites that compete with concretes on Portland cement.

**Keywords:** portland cement clinker, aspiration dust, clinker dust, rotary kiln, differential thermal analysis, thermogravimetric curves.

**For citation:** Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh., Alaskhanov A.Kh., Murtazaeva T.S.-A. Prospects for the use of cement industry waste for the production of modern concrete composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 55–62. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-55-62>

Мировое сообщество давно осознало актуальную проблему экологической безопасности и, конечно, рассматривает эти вопросы через призму производства строительных материалов, которое сопряжено с широкомасштаб-

ным потреблением энергетических и минеральных природных сырьевых ресурсов, загрязнением урбанистических систем и проблемами реабилитации антропогенно нарушенных территорий [1–10]. Наиболее существен-

но это негативное влияние проявляется при производстве современных клинкерных цементов.

Цементная индустрия считается одной из наиболее энерго- и материалоемких в строительстве, а мониторинг состояния рынка



**Рис. 1.** Фрагменты участков отбора проб цементной пыли  
**Fig. 1.** Fragments of the cement dust sampling site

показал, что из года в год именно портландцемент занимает лидирующие позиции по производству и сбыту. Конечно же, в современном мире увеличение объемов производства портландцемента предотвратить невозможно, но необходимо стараться соблюдать экологический баланс, учитывая негативные последствия карбонатной технологии, связанные с выбросами в атмосферу огромного количества углекислого газа и клинкерной пыли.

В настоящей статье в рамках поиска новых рациональных технологических подходов для решения обозначенных проблем изучена бесклинкерная технология получения вяжущих щелочного затворения и композитов на их основе, так как имеющийся опыт применения шлакощелочных цементов и бетонов подтвердил уни-

кальность и перспективность данного направления, а использование техногенного и природного сырья алюмосиликатного происхождения позволит расширить сырьевую базу, что может в перспективе заменить ресурсо- и энергоемкий портландцемент хотя бы в тех областях строительства, где нет необходимости в проявлении его высокофункциональных свойств [11–16].

В процессе обжига клинкерной сырьевой смеси в обеспыливающих системах вращающихся печей улавливается большое количество тонкодисперсных частиц, которые не возвращаются повторно в технологический цикл во избежание отклонений от заданных параметров откорректированной массы, а извлекаются из электрофильтров и складываются на близлежащих территориях с заводом, занимая

пригодные для сельскохозяйственных нужд угодья. Целесообразнее найти применение этому техногенному продукту, полученному в результате энерго- и материалоемких технологических мероприятий и являющемуся полноценным ресурсом, пригодным для повторного использования, а поиск путей его применения является актуальной задачей индустрии цемента [17–25].

Результаты электронно-зондовых исследований цементной пыли электрофильтров подтвердили возможные варианты их утилизации, так как наличие алюмосиликатной природы благоприятно скажется в вяжущей связке с щелочным затворителем, что позволит в дальнейшем получать строительные композиты на основе бесклинкерных щелочных цементов.

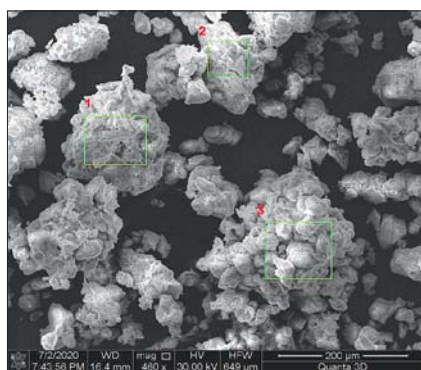


Рис. 2. Агрегаты частиц образца клинкерной пыли более 200 мкм

Fig. 2. Aggregates of particles of a sample of clinker dust more than 200 microns

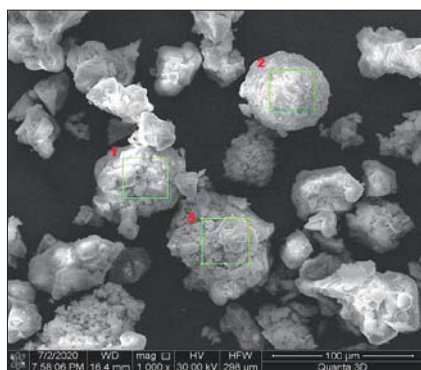
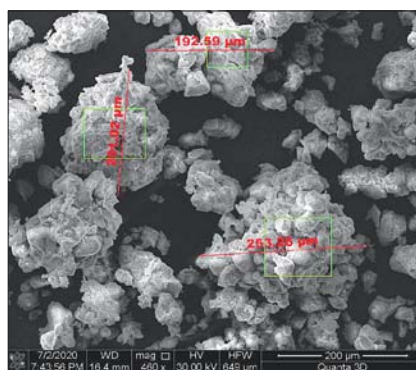
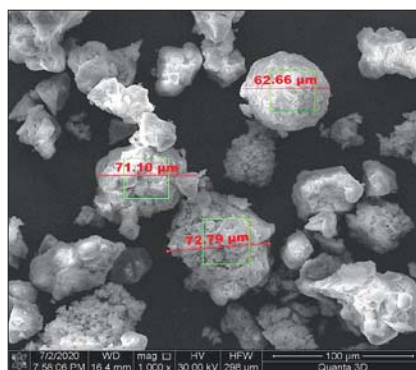


Рис. 3. Агрегаты частиц образца клинкерной пыли менее 100 мкм

Fig. 3. Aggregates of particles of a sample of clinker dust less than 100 microns



Научно-теоретические основы минералообразования исследуемых вяжущих связок щелочной активации схожи с процессами, наблюдаемыми при гидратационном твердении портландцементных и шлакощелочных композиций. Многокомпонентная система, состоящая из тонкодисперсных порошков аспирационной и клинкерной пыли, затворенных раствором щелочных металлов, претерпевает длительные и сложные процессы формирования структуры, начиная с самопроизвольной диспергации частиц пыли в щелочном растворе, переходом полученных гидрозолей в твердую фазу, связывая алюминаты  $AlO_4$  и силикаты  $SiO_4$  едкими щелочами с образованием первичной структуры, перерастающей в прочный цементный камень, представленный каркасным алюмосиликатом с общими связями катионов натрия, прочно заземленными в структуре алюмосиликатного каркаса. Продуктами гидратации и щелочной активации алюмосиликатных порошко-

образных добавок являются такие соединения, как низкоосновные и высокоосновные гидраты силикатов кальция и натрия, сульфалоюминаты кальция, гидрогранаты переменного состава, кремниевая кислота, щелочные гидроалюмосиликаты типа природных цеолитов и гидрослюд, мусковит и др., гарантирующие прочность и коррозионную стойкость камня и определяющие практическую значимость для строительной отрасли [1–6, 14, 22, 26].

Предлагаемая технология вяжущих щелочной активации с использованием отходов цементной промышленности позволит создавать прочные и долговечные искусственные композиты, конкурирующие с бетонами на портландцементе. Аспирационная и клинкерная пыль – техногенный продукт, извлекаемый в большом количестве из пылеосадительной системы вращающейся клинкерообжигательной печи; места сбора представлены на рис. 1.

В печах, работающих по мокрому способу, пылевыделение со-

ставляет 10–20% от производительности печи, в печах по сухому способу с циклонными теплообменниками – 25–30%.

Аспирационная пыль собирается в зоне подогрева и дегидратации клинкерной печи мокрого способа при температуре 300–400°C, она представляет собой полноценную сырьевую смесь слабообожженных глинистых минералов и неразложившегося кальцита. Клинкерная пыль отбиралась в зоне охлаждения и соответствует по минералогии готовому клинкеру [4–6].

Для того чтобы найти рациональное применение отходам цементной промышленности, была поставлена задача определить размер частиц аспирационной и клинкерной пыли, установить гранулометрическое распределение частиц в образцах дисперсного материала. Исследования характерных размеров, морфологических особенностей и локальный химический анализ частиц реакционно-активных порошков с определением количественного содержания элементов представленных образцов были выполнены на растровом электронном микроскопе QUANTA 3D 200i (США) с интегрированной системой микроанализа Genesis Apex 2 EDS от EDAX, в режиме высокого вакуума при ускоряющем напряжении электронного луча 30 кВ и увеличении  $\times 100$ –5000.

Все исследуемые объекты являются полидисперсными порошками с частицами различных размеров. Для каждого образца фиксировался размер частиц, однородность поверхности и химический состав. Для этого слой реакционного порошка необходимой толщины для исследований получали на специальном двустороннем липком углеродном скотче, который наносился на переносной столик. Результаты исследований показали, что клинкерная пыль состоит из частиц и их агрегатов, которые имеют различные формы и размеры в широком диапазоне от 20–250 мкм. На рис. 2 показаны участки, на которых

Таблица 1  
Table 1

Химический состав частиц клинкерной пыли, %  
Chemical composition of clinker dust particles, %

Оксиды	Частицы >200 мкм	Частицы <100мкм
CO <sub>2</sub>	4,79	7,25
MgO	0,87	0,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,2	2,07
SiO <sub>2</sub>	14,3	16,2
SO <sub>3</sub>	0,5	0,6
K <sub>2</sub> O	1	0,92
CaO	70,9	70,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,74	2,64



Рис. 4. Микрофотография частиц аспирационной пыли при увеличении ×2000

Fig. 4. Micrograph of aspiration dust particles at a magnification of 2000 times

определяли химический состав поверхности крупной частицы (агрегата), размер более 200 мкм, а также участки на частицах, размер которых менее 100 мкм (рис. 3). Выбранные участки могут дать представление о средних значениях концентрации элементов образца.

В табл. 1 представлены усредненные значения концентраций

химического анализа участков частиц клинкерной пыли более 200 мкм и менее 100 мкм. Энергодисперсионный анализ полидисперсной клинкерной пыли показал, что на агрегатах с размерами более 200 мкм и на частицах с размерами менее 100 мкм химический состав имеет сходство по типу оксидов и по концентрации, при этом суммарное содержание

оксидов CaO, SiO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> составило более 90% общей массы.

Исследования размеров и химического состава аспирационной пыли электрофилтров показали что на поверхности образца отсутствуют частицы, отличные от основного массива, имеются однотипные шероховатые поверхности в десятки мкм. Вся поверхность крупных частиц покрыта

Таблица 2  
Table 2

Химический состав частиц аспирационной пыли, %  
Chemical composition of aspiration dust particles, %

Оксиды	Частицы >200 мкм	Частицы <100мкм
CO <sub>2</sub>	10,7	9,7
MgO	0,73	0,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,4	3,1
SiO <sub>2</sub>	14,6	14,8
SO <sub>3</sub>	1,8	3,2
Cl	0,32	0,4
K <sub>2</sub> O	6,2	7,5
CaO	57,6	58,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,8	2,7

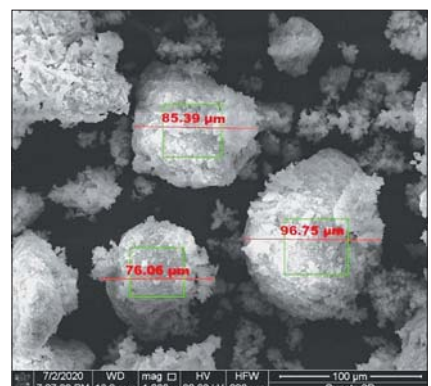
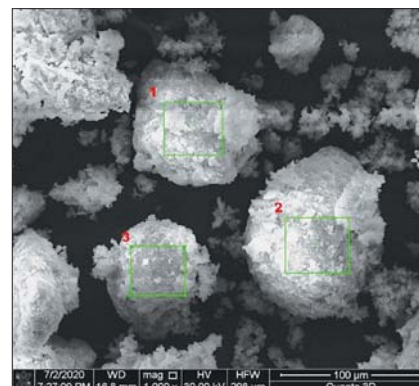
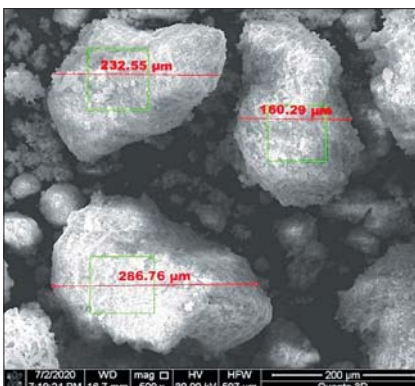
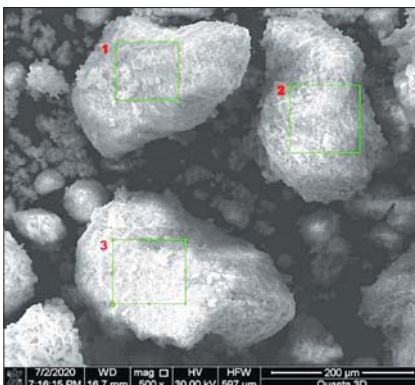


Рис. 5. Участки, на которых определяли химический состав и размеры частиц аспирационной пыли  
Fig. 5. Areas where the chemical was determined composition and size of particles of aspiration dust

микрочастицами размером менее 3 мкм, которые указаны на фотографиях при больших увеличениях (рис. 4).

На рис. 5 представлены участки образца, на которых определяли химический состав. Определяли средние значения химического состава на поверхности крупной частицы, а также на частицах размерами менее 100 мкм.

В табл. 2 приведены средние значения концентраций химических элементов. Анализируя результаты энергодисперсионного состава аспирационной пыли, можно отметить, что определенной зависимости концентрации основных оксидов от размера зерен не наблюдается.

Известно, что аспирационная пыль электрофильтров вращающихся печей собрана из зон подсушки, кальцинирования и экзотермических реакций, поэтому основная ее масса состоит из смеси обожженной глины и неразложившегося известняка, это и подтверждается химическим составом, где на долю оксида кальция приходится 60%, оксида кремния до 15% и оксида углерода – 10% массы.

Для приготовления образцов цементного камня из бесклнкерного щелочного вяжущего использовали следующие компоненты: аспирационная и клинкерная пыль электрофильтров; щелочной раствор жидкого натриевого стекла с силикатным модулем 2,8 и плотностью 1,42 г/см<sup>3</sup>; кварцевый песок с модулем крупности 1,9 и плотностью 2,62 г/см<sup>3</sup>.

Оптимальная дозировка всех компонентов вяжущей системы была определена лабораторными испытаниями. Полученные образцы первые 7 сут подвергались тепловому воздействию температуры 40–50°C в течение 4 ч, последующее твердение осуществлялось в нормально-влажностных условиях. Исследование структуры цементного камня проводили по изучению температурных эффектов, термогравиметрических кривых образцов, определению содержания адсорбционной и конституционной воды. Для проведения дифферен-

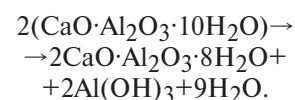
циально-термического анализа использовался прибор Q-дериватограф – 1000°C.

Анализ образца цементного камня на вяжущем аспирационная пыль–Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> проводился в следующем режиме: нагревали до 900°C со скоростью 10°C, масса навески составляла 8,3 мг. Кривая дифференциально-термического анализа (ДТА) аспирационной пыли представлена на рис. 6.

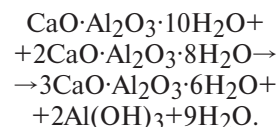
Проанализировав кривые простого термического анализа и ТГ по Бергу, можно заключить, что исследуемый образец содержит кальцит. Для искусственных минералов данные термоэффекты характерны для гидрохлоралюмината кальция.

Отсутствие эндоэффекта при температуре 262; 280°C и небольшая интенсивность пика при температуре 240°C указывают на содержание цеолитовых фаз. Эндоэффект 381°C соответствует процессу дегидратации, характерной для сульфалюмината кальция. Присутствие сульфалюминатов кальция подтверждает и микроструктурные исследования: на изображениях микроструктуры камня на вяжущей связке аспирационная пыль–Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> отчетливо видны игольчатые кристаллы, характерные для структуры этрингита. Также наличие сульфалюмината кальция подтверждается пиком, характерным для гидратации при температуре 250°C, и пиком при 580°C, характерным для гидратации с выделением Al(OH)<sub>3</sub>. Вероятнее всего «войлочные» агрегаты, по данным микроструктурного анализа, соответствуют Al(OH)<sub>3</sub>. Также продуктом гидратации могут являться гидроалюминаты кальция сложного состава.

Эндоэффекты при температуре 262°C соответствуют гидратации гидроалюмината кальция состава CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·10H<sub>2</sub>O. Данный гидроалюминат очень неустойчив. Поэтому процесс гидратации сопровождается переходом в восьмиводный гидроалюминат, который имеет гексагональную кристаллическую решетку, и гидроксид алюминия:



Если в системе находятся одновременно десятиводный и восьмиводный гидроалюминат кальция, то при повышенных температурах 150°C происходит переход в шестиводный трехкальциевый гидроалюминат 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O с выделением 2Al(OH)<sub>3</sub>:



При этом происходит изменение структуры из гексагонально-кубической в кубическую, в результате чего возникают сильные внутренние напряжения. Они нарушают структуру материала, вызывают образование микро- и макротрещин, уменьшают прочность.

Эндоэффекты при температуре 358; 535°C указывают на наличие гидроалюмината кальция состава 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, при данной температуре происходит дальнейшая гидратация 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O. Эндоэффект 490°C представлен наложением двух пиков: один из них – дегидратация, характерная для сульфалюмината кальция, и второй эндоэффект – дегидратация гидрохлоралюмината кальция. Эндоэффект 530°C также характерен для гидрохлоралюмината кальция. При температуре 640°C эндоэффект характерен для карбоната магния и может свидетельствовать о наличии глинистых минералов групп каолинита. Также в температурном интервале 600–750°C происходит потеря конституционной воды.

Как отмечалось ранее, эндо-термические эффекты при температуре 450 и 650°C отвечают дегидратации глинистых минералов мусковита и монтриллона. Эндоэффект 750°C, полная дегидратация гидроалюмината кальция. Отсутствие пика при 800°C характерно для сульфалюмината кальция высокоаморфной фазы,

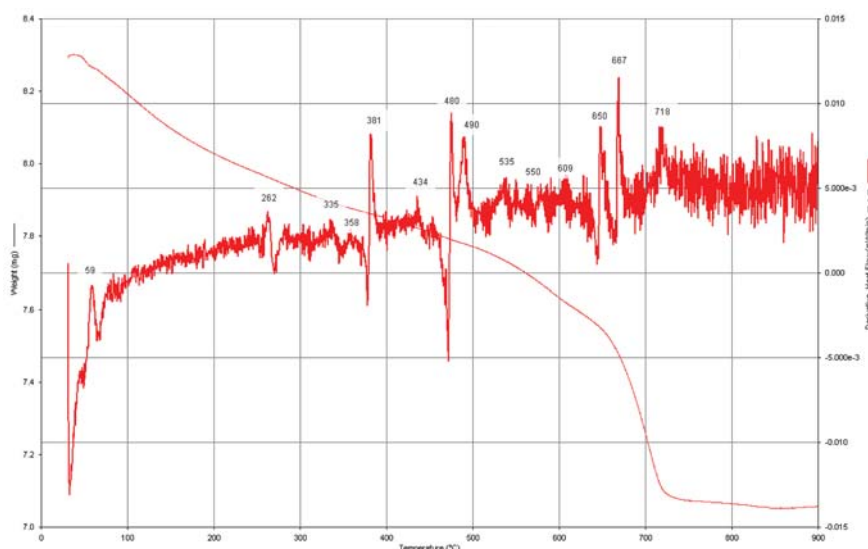


Рис. 6. ДТА и ТГ кривая аспирационной пыли  
Fig. 6. DTA and TG curve of aspiration dust

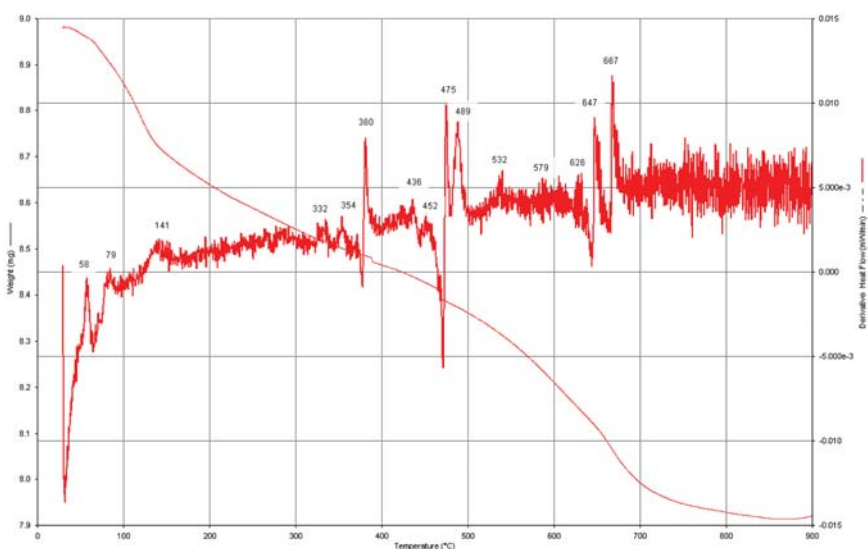


Рис. 7. ДТА и ТГ кривая клинкерной пыли  
Fig. 7. DTA and TG curve of clinker dust

это говорит о том, что содержится мало аморфной безводной фазы и пики свойственны для высоко-сульфатной формы.

Анализ образца цементного камня на вяжущем клинкерная пыль— $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  проводился в следующем режиме: нагревали до  $900^\circ\text{C}$  со скоростью  $10^\circ\text{C}$ , масса навески составляла 8,9 мг. Кривая ДТА клинкерной пыли представлена на рис. 7.

Экзотермический эффект при температуре  $50^\circ\text{C}$  сопровождается увеличением массы. Процессы такого типа возможны с участием атмосферы, чаще всего это окисление образца цементного камня кислородом воздуха с образовани-

ем твердых продуктов. Либо это адсорбция газа порошкообразным пористым материалом, что более вероятно, так как порошок был мелкодисперсным. Такие эффекты характерны для глинистых материалов. Как отмечалось ранее, эндотермический эффект при температуре  $120^\circ\text{C}$  характерен для удаления адсорбционной воды в структуре мусковита.

При температуре  $640^\circ\text{C}$  эндотермический эффект также характерен для карбоната магния и может свидетельствовать о наличии глинистых минералов групп каолинита. Также в температурном интервале  $600\text{--}750^\circ\text{C}$  происходит потеря конституционной воды.

Термогравиметрическая кривая имеет шесть этапов потери массы. Первый — при температуре  $50^\circ\text{C}$ , при этом масса образца увеличивается на 0,1% за счет адсорбции газов над поверхностью мелкодисперсного образца. Второй этап — в интервале температуры  $50\text{--}120^\circ\text{C}$ , характерной для удаления адсорбционной воды из структуры мусковита. Третий этап — плавное снижение массы в интервале температуры  $120\text{--}380^\circ\text{C}$ , характерное для удаления структурной воды. Этапы 4 и 5 характеризуются резкой потерей массы при  $380$  и  $480^\circ\text{C}$  и присутствием ступенчатой гидратации. На пятом этапе в интервале температуры  $600\text{--}700^\circ\text{C}$  происходит удаление конституционной воды.

Проведенные дифференциально-термические анализы подтвердили присутствие следующих фаз в составе цементного камня на вяжущих связках цементная пыль — щелочной активатор: цеолитовых, кальцита, слюды типа мусковит, монтриллонита, оксида магния, сульфоалюминатов кальция, структуры этtringита, гидрохлоралюмината кальция, гидросиликатов кальция, гидроксида кальция. Обнаруженные фазы в образцах цементного камня относятся к труднорастворимым и прочным соединениям.

Таким образом, эффективность применения отходов цементной промышленности для получения строительных композитов на бесклнкерных вяжущих щелочного затворения не вызывает сомнений. Необходимо отметить, что аспирационная и клинкерная пыль используется в естественном без механического вмешательства виде, это позволит снизить себестоимость предлагаемого продукта и расширить область применения. Регулируя количественное соотношение и общую поверхность этих компонентов введением в систему тонкодисперсных добавок алюмосиликатной природы, можно получать качественный долговечный материал с новым уровнем технологических и эксплуатационных характеристик.

## Список литературы / References

- Щелочные и щелочно-земельные гидравлические вяжущие и бетоны / Под ред. В.Д. Глуховского. Киев: Вища школа, 1979. 232 с.
- Shchelochnye i shchelochnozemel'nye gidravlicheskie vyazhushchie i betony [Alkaline and alkaline earth hydraulic binders and concrete. Edited by V.D. Glukhovskiy]. Kiev: Vishcha shkola. 1979. 232 p.
- Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев: Будивельник, 1978. 184 с.
- Glukhovskiy V.D., Pakhomov V.A. Shlakoshchelochnye tsementy i betony [Slag-alkali cements and concretes]. Kiev: Budivel'nik. 1978. 184 p.
- Кривенко П.В., Пушкарева К.К. Долговечность шлакощелочного бетона. Киев: Будивельник, 1993. 224 с.
- Krivenko P.V., Pushkareva K.K. Dolgovechnost' shlakoshchelochnoho betona. [Durability of slag alkali concrete]. Kiev: Budivel'nik. 1993. 224 p.
- Davidovits J. Geopolymer Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008. 592 p.
- Duxson P., Fernández-Jiménez A., Provis J., Lukey G., Palomo A., Van Deventer J. Geopolymer technology: the current state of the art. *Journal of Materials Science*. Vol. 42, pp. 2917–2933. DOI: 10.1007/s10853-006-0637
- Bataev D.K.-S., Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh. Fine-grained concretes on non-clinker binders with highly disperse mineral components. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931, pp. 552–557. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.552>
- Саламанова М.Ш., Муртазаев С.-А.Ю. Цементы щелочной активации: возможность снижения энергоемкости получения строительных композитов // *Строительные материалы*. 2019. № 7. С. 32–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-772-7-32-40>
- Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu. Cements of alkaline activation the possibility of reducing the energy intensity of building composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 7, pp. 32–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-772-7-32-40>
- Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // *Приволжский научный журнал*. 2018. Т. 46. № 2. С. 65–70.
- Murtazayev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh. Prospects of the use of thermoactivated raw material of aluminosilicate nature. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2018. Vol. 46. No. 2, pp. 65–70. (In Russian).
- Никифоров Е.А., Логанина В.И., Симонов Е.Е. Влияние щелочной активации на структуру и свойства диатомита // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2011. № 2. С. 30–32.
- Nikiforov E.A., Loganina V.I., Simonov E.E. The effect of alkaline activation on the structure and properties of diatomite. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2011. No. 2, pp. 65–70. (In Russian).
- Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T. On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete. *MATEC Web of Conferences. 27th Russian-Polish-Slovak SEMINAR, theoretical foundation of civil engineering (27RSP), TFOCE*. Rostov-on-Don, 17–21 September 2018. 04018.
- Stelmakh S.A., Nazhnev M.P., Shcherban E.M., Yanovskaya A.V., Cherpakov A.V. Selection of the composition for centrifuged concrete, types of centrifuges and compaction modes of concrete mixtures. *Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2018)*. Abstracts & Schedule. Busan, Republic of Korea, 9–11 August 2018, p. 337.
- Shuisky A., Stelmakh S., Shcherban E., Torlina E. Recipe-technological aspects of improving the properties of non-autoclaved aerated concrete. *MATEC Web Conference. Vol. 129. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017)*. 2017. 05011. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712905011>
- Солдатов А.А., Сариев И.В., Жаров М.А., Абдураимова М.А. Строительные материалы на основе жидкого стекла. *Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техно-сферной безопасности: Материалы IV ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета. Н.И. Стоянов (ответственный редактор)*. Ставрополь. 2016. С. 192–195.
- Soldatov A.A., Sariev I.V., Zharov M.A., Abduraimova M.A. Building materials based on liquid glass. *Actual problems of construction, transport, mechanical engineering and techno sphere safety: Materials of the IV annual scientific and practical conference of the North Caucasus Federal University. N.I. Stoyanov (executive editor)*. Stavropol'. 2016, pp. 192–195. (In Russian).
- Martschuk V., Stark T. Untersuchungen zurn frosttausalz-widerstaud von mochleistungsbetonen. *Thesis: Wiss. Z. Bauhaus -Univ. Weimar*. 1998. Vol. 44. No. 1–2, pp. 92–103.
- Larbi J.A., Bijen J.M. Effect of water-cement ratio, quantity and fineness of sand on the evolution of lime in set Portland cement systems. *Cement and Concrete Research*. 1990. Vol. 20. No. 5, pp. 783–794.
- Саламанова М.Ш., Алиев С.А., Муртазаева Р.С.-А. Структура и свойства вяжущих щелочной активации с использованием цементной пыли // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2019. Т. 46. № 2. С. 148–158.
- Salamanova M.Sh., Aliyev S.A., Murtazayev R. S.-A. The structure and properties of binders alkaline activation using cement dust. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki*. 2019. Vol. 46. No. 2, pp. 148–158. (In Russian).

17. Kozhukhova N.I., Chizhov R.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Structure formation of geopolimer perlite binder vs. Type of alkali activating agent. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. Vol. 11. Iss. 20, pp. 12275–12281.
18. Удодов С.А., Гиш М.Р. Влияние дозировки ре-диспергируемого порошка на локализацию поли-мера и деформационные свойства раствора // *Научные труды Кубанского государственного тех-нологического университета*. 2015. № 9. С. 164–174.
18. Udodov S.A., Gish M.R. The effect of dosage of redispersible powder on the localization of the polymer and the deformation properties of the solution. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. No. 9, pp. 164–174. (In Russian).
19. Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Ismailo-va Z.Kh. The Use of highly active additives for the production of clinkerless binders. *Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research”(ISEES 2018)*. <https://doi.org/10.2991/isees-18.2018.68>
20. Salamanova M.Sh., Murtazayev S.Yu. Clinker-free binders based on finely dispersed mineral compo-nents. *20th Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht. 12–14 September 2018, Bauhaus-Universität Weimar. Band 1 und 2. Weimar: 2018. B. 2, pp. 707–714.*
21. Lopez F.J., Sugita S., Tagaya M., Kobayashi T. Metakaolin-based geopolymers for targeted adsorbents to heavy metal ion separation. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2014. No. 2, pp. 16–27. DOI:10.4236/msce.2014.27002
22. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and properties of alkali activated metakaolin – based geopolimer. *Materials*. 2016. Vol. 9, p. 767. DOI: 10.3390/ma9090767
23. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of production of fine concretes based on clinkerless binders of alkaline mixing. *14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 23–27 September 2019, pp. 385–388.
24. Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang H. Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolimer manufacture. *Cement and Concrete Research*. 2016. Vol. 85, pp. 163–173. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.04.007>
25. Alex T.C., Nath S.K., Kumar S., Kalinkin A.M., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. Utilization of zinc slag through geopolimerization: influence of milling atmosphere. *International Journal of Mineral Processing*. 2013. Vol. 216, pp. 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2013.06.001>
26. Murtazayev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Mintsaeв M.Sh., Bisultanov R.G. Fine-grained concretes with clinker-free binders on an alkali gauging. *Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. 2019. Vol. 1, pp. 500–503. <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.98>

## СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

## В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести книги:

### Монография «Защита деревянных конструкций»

Автор – Ломакин А.Д.

Рассмотрены вопросы конструкционной и химической защиты деревянных конструкций, используемых в малоэтажном домостроении, при строительстве зданий и сооружений гражданского и промышленного назна-чения, в том числе, с химически агрессивной средой, а также открытых сооружений (автодорожных и пешеход-ных мостов, опор ЛЭП и др.). Освещены вопросы защиты от эксплуатационных воздействий и возгорания несущих конструкций из клееной древесины и ЛВЛ и приведено краткое описание наиболее эффективных средств и способов их защиты. Описаны методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натурных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Приведены методика и результаты мониторинга влажностного состояния несущих клееных деревянных конструкций в про-цессе эксплуатации.



### Монография «Производство деревянных клееных конструкций»

Автор – заслуженный деятель науки России, д-р техн. наук Ковальчук Л.М.

В книге рассмотрены основные вопросы технологии изготовления ДКК, показаны области их примене-ния, описаны материалы для их изготовления. Особое внимание уделено вопросам оценки качества, мето-дам испытаний, приемке и сертификации клееных конструкций. В книге приведен полный перечень отече-ственных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих производство и применение ДКК.



**Заявки направляйте в редакцию по e-mail: [mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru),  
по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36.**

**Оформляйте заказ на сайте [www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)**



УДК 691.342

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-63-68>

С.А. КНЯЗЕВА<sup>1</sup>, инженер (аспирант) (svetiskm\_knyazeva@mail.ru),  
 Г.И. ЯКОВЛЕВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук (gyakov@istu.ru);  
 И.Я. ХАРЧЕНКО<sup>2</sup>, д-р техн. наук (iharcenko@mail.ru);  
 З.С. САИДОВА<sup>1</sup>, инженер (аспирант) (zarinsaidova@mail.ru),  
 А.М. АЛЕКСАНДРОВ<sup>1</sup>, студент (aleksandrov2332@yandex.ru),  
 И.А. ПУДОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (pudovia@ya.ru),  
 А.Э. СТИВЕНС<sup>1</sup>, инженер (аспирант) (sae@istu.ru),  
 А.И. БАБАЕВ<sup>1</sup>, студент (babaev.anton98@mail.ru),  
 С.Н. СЕМЁНОВА<sup>1</sup>, инженер (аспирант) (semionovasvetlana@mail.ru)

<sup>1</sup> Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

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

## Геополимерное вяжущее на основе керамзитовой пыли для инъекционных смесей в геотехническом строительстве

Производство портландцемента связано с высоким потреблением минерального сырья и значительными выбросами в атмосферу углекислого газа. Поэтому поиск путей снижения затрат на его производство и уменьшения негативного влияния на окружающую среду является актуальной задачей. В ходе исследования разработан состав геополимерного вяжущего на основе керамзитовой пыли, улавливаемой в системах пылеочистки обжиговых печей: пылеосадительных камерах, циклонах, фильтрах. С целью выявления состава керамзитовой пыли были использованы методы физико-химического анализа: ИК-спектральный, дифференциально-термический, рентгенофазовый анализы и растровая электронная микроскопия с рентгеновским микроанализом. Установлено, что керамзитовая пыль является химически активной к жидкому стеклу, в результате их взаимодействия образуются продукты на основе силиката кальция и геля кремниевой кислоты. Рассмотрена методика изготовления смеси и представлены исследования микроструктуры, результаты рентгеновского микроанализа полученного затвердевшего геополимера, а также результаты испытаний стандартных образцов-кубиков на сжатие с различным соотношением жидкого стекла к керамзитовой пыли при разной концентрации жидкого стекла. Использование разработанного геополимера существенно сократит стоимость работ, связанных с усилением грунтового основания, а также улучшит экологическую обстановку в местах производства керамических материалов.

**Ключевые слова:** геополимер, керамзитовая пыль, жидкое стекло, ИК-спектральный анализ, дифференциально-термический анализ, рентгенофазовый анализ, растровая электронная микроскопия, рентгеновский микроанализ.

**Для цитирования:** Князева С.А., Яковлев Г.И., Харченко И.Я., Саидова З.С., Александров А.М., Пудов И.А., Стивенс А.Э., Бабаев А.И., Семёнова С.Н. Геополимерное вяжущее на основе керамзитовой пыли для инъекционных смесей в геотехническом строительстве // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 63–68. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-63-68>

S.A. KNYAZEVA<sup>1</sup>, Engineer (graduate student) (svetiskm\_knyazeva@mail.ru), G.I. YAKOVLEV<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (jakowlew@udm.net);  
 I.Ya. KHARCHENKO<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (iharcenko@mail.ru); Z.S. SAIDOVA<sup>1</sup>, Engineer (postgraduate student) (zarinsaidova@mail.ru),  
 A.M. ALEXANDROV<sup>1</sup>, student (aleksandrov2332@yandex.ru), I.A. PUDOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (pudovia@ya.ru),  
 A.E. STEVENS<sup>1</sup>, Engineer (Postgraduate Student) (sae@istu.ru), A.I. BABAEV<sup>1</sup>, Student (babaev.anton98@mail.ru),  
 S.N. SEMYONOVA<sup>1</sup>, Engineer (graduate student) (semionovasvetlana@mail.ru)

<sup>1</sup> Kalashnikov Izhevsk State University (426069, Izhevsk, Studencheskaya Street, 7, Russian Federation)

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

### Geopolymer Binder on the Basis of Expanded Clay Dust for Injection Mixtures in Geotechnical Construction

The production of Portland cement is associated with a high consumption of mineral raw materials and significant emissions of carbon dioxide into the atmosphere. Therefore, the search for ways to reduce the cost of its production and reduce the negative impact on the environment is an urgent task. In the course of the study, the composition of a geopolymer binder based on expanded clay dust captured in the systems of dust cleaning of kilns: dust-settling chambers, cyclones, filters was developed. To identify the composition of expanded clay dust, methods of physical and chemical analysis were used: IR spectral, differential thermal, X-ray phase analysis and scanning electron microscopy with X-ray microanalysis. It is established that expanded clay dust is chemically active to liquid glass, as a result of their interaction, products based on calcium silicate and silicic acid gel are formed. The method of manufacturing the mixture is considered and the microstructure studies, the results of X-ray microanalysis of the obtained solidified geopolymer, as well as the results of testing standard images-cubes for compression, with a different ratio of liquid glass to expanded clay dust at different concentrations of liquid glass are presented. The use of the developed geopolymer will significantly reduce the cost of work related to the strengthening of the ground base, as well as improve the environmental situation in the production places of ceramic materials.

**Keywords:** geopolymer, expanded clay dust, liquid glass, IR spectral analysis, differential thermal analysis, X-ray phase analysis, scanning electron microscopy, X-ray microanalysis.

**For citation:** Knyazeva S.A., Yakovlev G.I., Kharchenko I.Ya., Saidova Z.S., Alexandrov A.M., Pudov I.A., Stevens A.E., Babaev A.I., Semyonova S.N. Geopolymer binder on the basis of expanded clay dust for injection mixtures in geotechnical construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 63–68. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-63-68>

Увеличение масштабов строительства в крупных городах ведет к увеличению потребности в строительных материалах. В частности, при освоении подземного пространства требуется усиление грунтовых оснований с применением различных инъекционных систем и смесей на основе минеральных вяжущих. Поэтому поиск путей снижения себестоимости инъекционных составов, расширения материально-сырьевой базы за счет использования местных сырьевых ресурсов, эффективных технологий производства является актуальной задачей.

В последние десятилетия в России и других странах растет интерес к технологии геополлимерных вяжущих, которая основана на идее использования неорганических минеральных веществ геологического происхождения, а также побочных продуктов промышленных предприятий.

Как показывают многочисленные исследования, геополлимеры являются химически стойкими, устойчивыми к воздействию высокой температуры материалами, обладают высокой водонепроницаемостью, характеризуются высокой прочностью и быстрым ее набором. Большим преимуществом геополлимеров над портландцементом является экологичность их производства [1–3].

Целью данного исследования является разработка состава геополлимерного вяжущего на основе керамзитовой пыли и щелочного активатора в виде водного раствора жидкого стекла.

#### Методы исследования и материалы

Для получения исследуемого состава в данной работе использовалась керамзитовая пыль с предприятия ООО «Ижевский завод кирпича и керамзита». Керамзитовая пыль – это побочный продукт, образующийся при обжиге керамзитового гравия во вращающихся печах при температуре 200–1200°C [4, 5] и улавливаемый в системах пылеочистки обжиговых печей; таким образом, пыль представляет собой смесь дегидратированной и недегидратированной глины. Важно отметить, что керамзитовая пыль – непостоянный по химическому и минералогическому составу

и дисперсности материал, свойства которого зависят от состава глинистого сырья, технологических режимов производства керамзита [6].

Размер частиц глиняного порошка был исследован на лазерном анализаторе SALD-7500nano производства Shimadzu с разрешением от 7 нм до 800 мкм, а также с помощью электронного микроскопа Quattro ESEM Thermo Fisher Scientific с разрешением до 0,8 нм. Размер частиц варьируется в пределах от 60 нм до 0,24 мкм. На рис. 1 представлена микроструктура порошка; как видно, частицы имеют неправильную форму и шероховатую поверхность, часть частиц имеет форму гранул.

Для выявления химического состава дегидратированной глины были проведены исследования методами ИК-спектрального, рентгенофазового, дифференциально-термического анализов и рентгеновского микроанализа.

#### ИК-спектральный анализ

ИК-спектральный анализ проведен с помощью ИК-Фурье-спектрометра IRAffinity-1 производства Shimadzu в области частот 400–4000 см<sup>-1</sup>.

Две широкие полосы (рис. 2) 3630,03 и 3412,08 см<sup>-1</sup>, а также полоса 1629,85 см<sup>-1</sup> относятся к ОН-валентным и деформационным колебаниям свободной и связанной воды. Выраженные широкие полосы при 1028,06 и 796,60 см<sup>-1</sup> соответствуют силикатной группировке SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup>, а полоса 474,49 см<sup>-1</sup> – деформационным колебаниям связей Me–O. Полосы 1425,40, 873,75 и 648,08 см<sup>-1</sup> связаны с валентными и деформационными колебаниями групп CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> [7, 8].

#### Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ проведен на дифрактометре MiniFlex 600 с Co-катодом. Для расшифровки использовалась база данных ASTM. Рентгеновский спектр представлен на рис. 3.

В составе дегидратированной глины присутствуют оксид кремния SiO<sub>2</sub> (d<sub>α</sub>,  $\bar{A}$ =3,345); оксид кальция CaO (d<sub>α</sub>,  $\bar{A}$ =2,41); карбонат кальция CaCO<sub>3</sub> (d<sub>α</sub>,  $\bar{A}$ =3,04); полевые шпаты (ортоклаз) (d<sub>α</sub>,  $\bar{A}$ =3,19) и монтмориллонит (d<sub>α</sub>,  $\bar{A}$ =4,48).

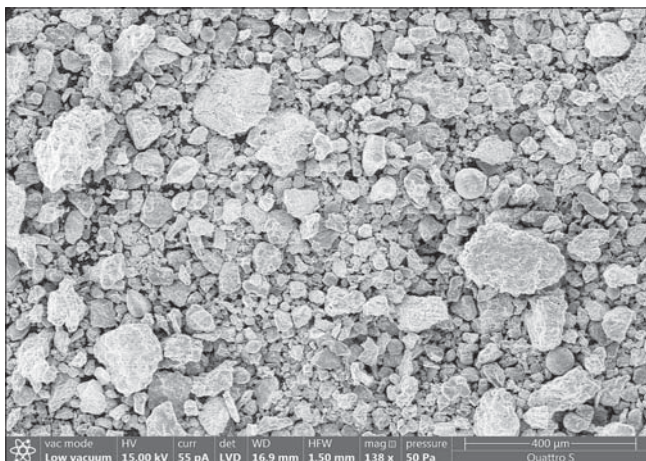
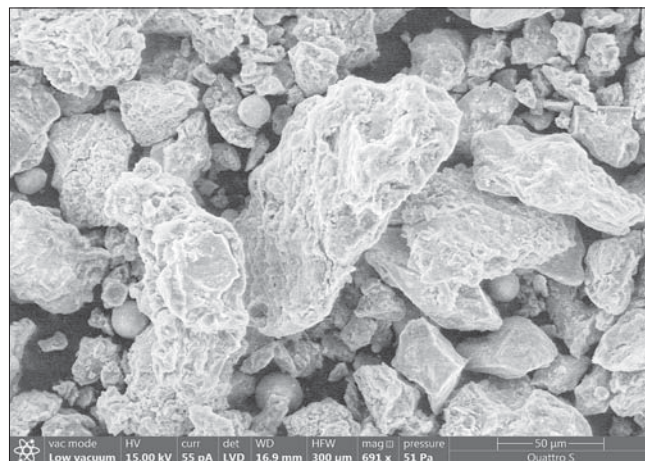


Рис. 1. Микроструктура керамзитовой пыли  
Fig. 1. Microstructure of expanded clay dust



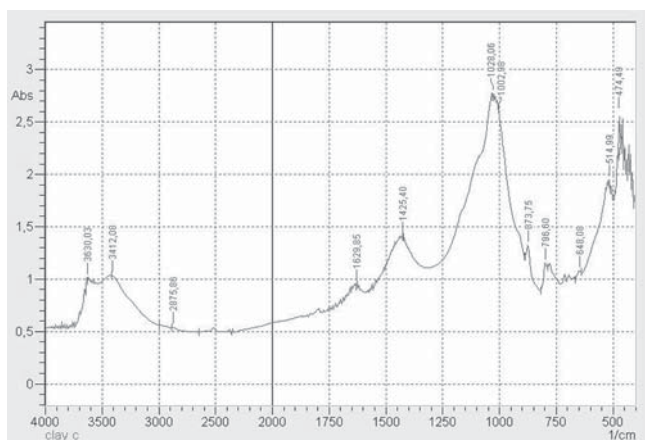


Рис. 2. ИК-спектр керамзитовой пыли  
Fig. 2. IR spectrum of expanded clay dust

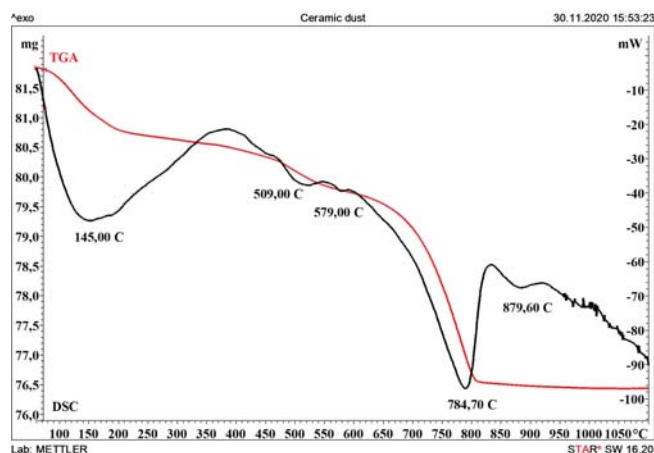


Рис. 4. Дериватограмма керамзитовой пыли  
Fig. 4. Derivatogram of expanded clay dust

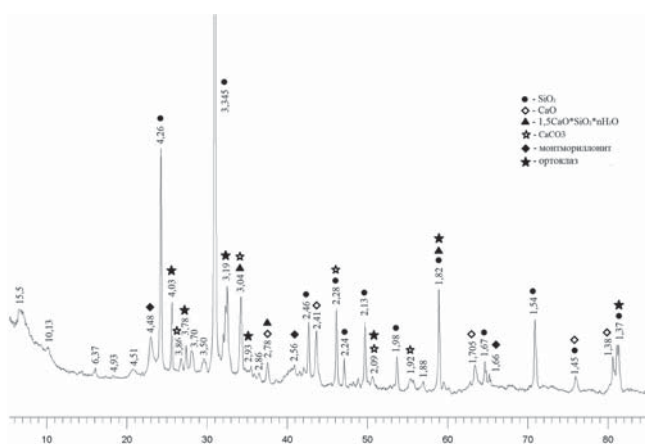


Рис. 3. Рентгеновский спектр керамзитовой пыли  
Fig. 3. X-ray spectrum of expanded clay dust

### Дифференциально-термический анализ

Дифференциально-термический анализ проводился на дериватографе TGA/DSC-1 Starsystem производства Mettler Toledo в интервале температуры от 60 до 1100°C со скоростью нагрева 30°C/мин. На рис. 4 представлена дериватограмма керамзитовой пыли.

Четыре эндотермических пика 145; 579; 784,7; 879,6°C характерны для минералов групп монтмориллонитов, которые характеризуются наличием следующих эндотермических эффектов [9–11]:

- 1) 100–170°C – интенсивный низкотемпературный эффект характеризует выделение адсорбционной и механической воды;
- 2) 650–750°C – удаление конституционной гидроксильной воды основной порции структурной H<sub>2</sub>O и частичная амортизация вещества;
- 3) 784,7°C – выделение оставшейся конституционной H<sub>2</sub>O и декарбонизация карбонатов;
- 4) 879,6°C – преобразование безводных алюмосиликатов до оксидов алюминия и кремния.

На кривые нагревания монтмориллонитов оказывает значительное влияние изомерное замещение алюминия железом или магнием. Так, в железистых монтмориллонитах основной эффект выделения

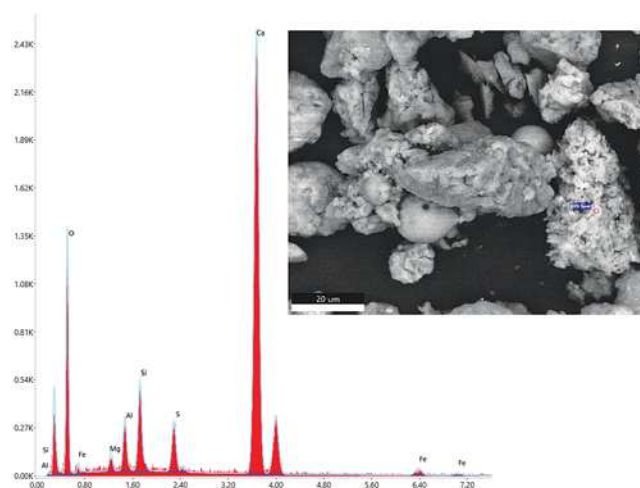
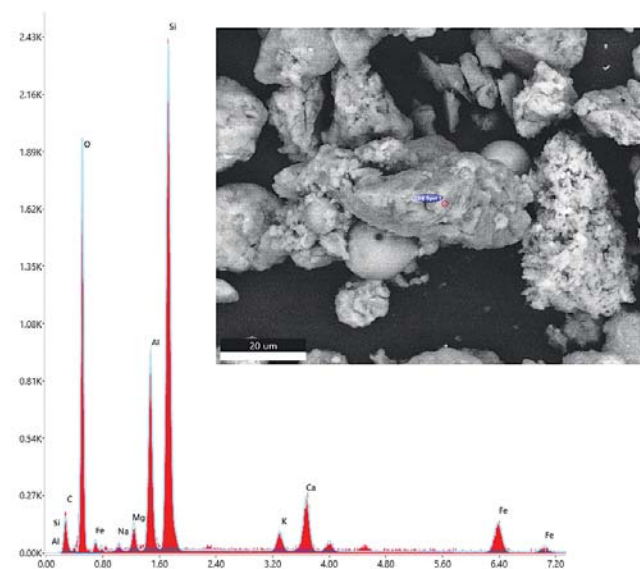
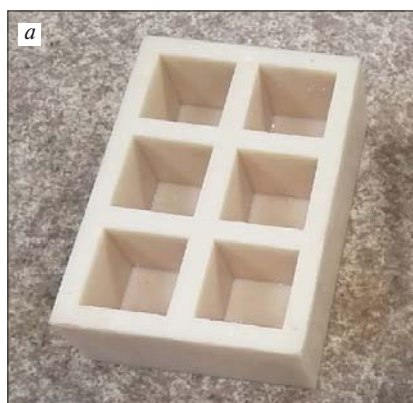


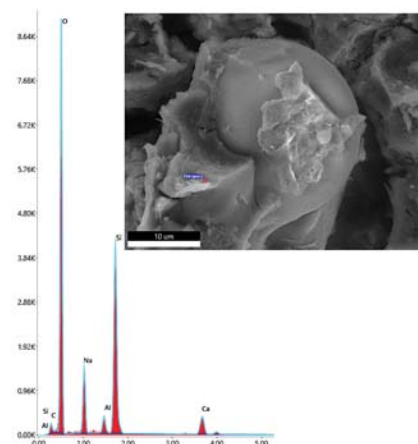
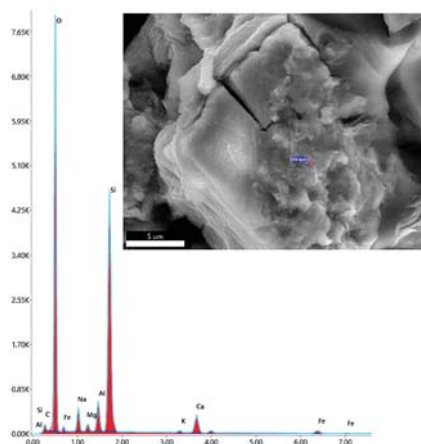
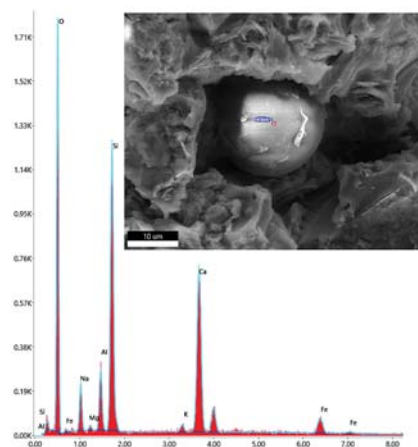
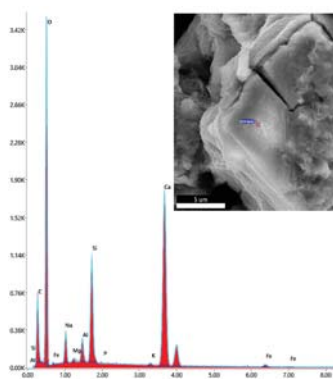
Рис. 5. Микроструктура керамзитовой пыли  
Fig. 5. Microstructure of expanded clay dust

структурной H<sub>2</sub>O сдвигается в область более низкой температуры 400–600°C (нонтронит), 500–600°C – железистый монтмориллонит [9].



**Рис. 6.** Опалубка из формопласта для изготовления образцов-кубов размерами 7×7×7 см (а) и разрушенный образец (b)

**Fig. 6.** Formoplast formwork for the production of cubes with dimensions of 7×7×7 cm (a) and destroyed sample (b)



**Рис. 7.** Микроструктура геополимера на основе жидкого стекла и керамзитовой пыли

**Fig. 7.** Microstructure of a geopolymer based on liquid glass and expanded clay dust

### Рентгеновский микроанализ керамзитовой пыли

На рис. 5 представлена микроструктура керамзитовой пыли, снятая с помощью электронного микроскопа Quattro ESEM Thermo Fisher Scientific.

Установлено, что на поверхности частиц глинистых минералов и полевых шпатов (Al, Si, O, Mg, Fe, K), адсорбированы молекулы оксида кальция (Ca, O). Известно, что оксид кальция реагирует с оксидом кремния в твердом состоянии. Зерна SiO<sub>2</sub> вступают в реакцию с CaO только на поверхности, образуя оболочку вокруг зерен, состоящую из кальциевого силиката [12].

### Приготовление образцов для определения механических свойств

Для приготовления исследуемых смесей использовались керамзитовая пыль, жидкое натриевое стекло и вода. Смесей изготовлялись с различными соотношениями по массе жидкого стекла к порошку дегидрата глины (1; 1,25; 1,5), а также с различной концентрацией жидкого стекла (80, 90, 100%). Сначала приготавливался раствор жидкого стекла с необходимой концентрацией путем добавления в жидкое стекло воды, затем полученный раствор небольшими дозами добавлялся в керамзитовую пыль и перемешивался.

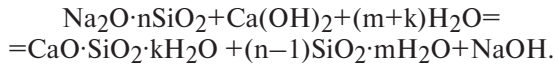
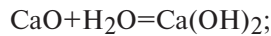
Для изготовления стандартных кубиков (размерами 7×7×7 см) были подготовлены опалубки из формопласта (рис. 6, а). Образцы твердели во влажных условиях (в мокром опиле).

Испытания проводились на прессе ПГМ-100МГ4 производства ООО «СКБ-Стройприбор» (г. Челябинск) на 14-е сут. На рис. 6, б представлен разрушенный образец.

### Результаты и обсуждения Рентгеновский микроанализ

С целью анализа процессов взаимодействия жидкого стекла с порошком дегидрата глины был проведен рентгеновский микроанализ. Рассматривался образец с отношением жидкого стекла к дегидратированной глине, равным единице, концентрация жидкого стекла состава 90%. Исследование проводилось на электронном микроскопе Quattro ESEM Thermo Fisher Scientific.

Как отмечено ранее, на поверхности глинистых частиц имеется адсорбированный оксид кальция. При добавлении раствора жидкого стекла CaO активно начинает с ним реагировать. Сначала происходит реакция гидролиза оксида кальция с образованием его гидроксида, который непосредственно реагирует с жидким стеклом по схеме [13–15]:



Таким образом, образуются продукты реакции в виде силиката кальция и коллоидного раствора кремниевой кислоты.

#### Результаты испытания образцов при сжатии

На рис. 8 представлены результаты испытаний стандартных образцов-кубиков  $7 \times 7 \times 7$  см.

Предел прочности при сжатии геополимера в зависимости от концентрации жидкого стекла и отношения по массе жидкого стекла к керамзитовой пыли составил порядка 2–3,5 МПа

Как видно из рис. 8, путем изменения соотношений между керамзитовой пылью и щелочным активатором в виде водного раствора жидкого стекла можно управлять процессом структурообразования и прочностью геополимерного вяжущего.

С целью определения областей применения геополимерного вяжущего на основе керамзитовой пыли для решения широкого спектра геотехнических задач необходимы дальнейшие исследования влияния различных щелочных активаторов, соотношения компонентов, режимов приготовления на свойства геополимерных вяжущих и грунтобетонных массивов на их основе.

#### Выводы

1. Керамзитовая пыль представляет собой термически активированную глину, содержащую в своем со-

#### Список литературы

1. Фаликман В.Р., Охотникова К.Ю. Геополимерные вяжущие и бетоны в современном строительстве // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. № 4 (35) Ч. 1. С. 93–97.
2. Дудников А.Г., Дудникова М.С., Реджани А. Геополимерный бетон и его применение // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2018. № 1–2. С. 38–45.
3. Корнеев В.И., Брыков А.С. Перспективы развития общестроительных вяжущих веществ. Геополимеры и их отличительные особенности // *Цемент и его применение*. 2010. № 2. С. 51–55.
4. Онацкий С.П. Производство керамзита. М.: Стройиздат, 1971. 312 с.
5. Болдырев А.С., Золотов П.П., Люсов А.Н. и др. Строительные материалы: Справочник. М.: Стройиздат, 1989. 568 с.
6. Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite // *Cement and Concrete Research*. 2011. No. 41, pp. 113–122. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.09.013
7. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. М.: Издательство Московского университета, 1976. 175 с.

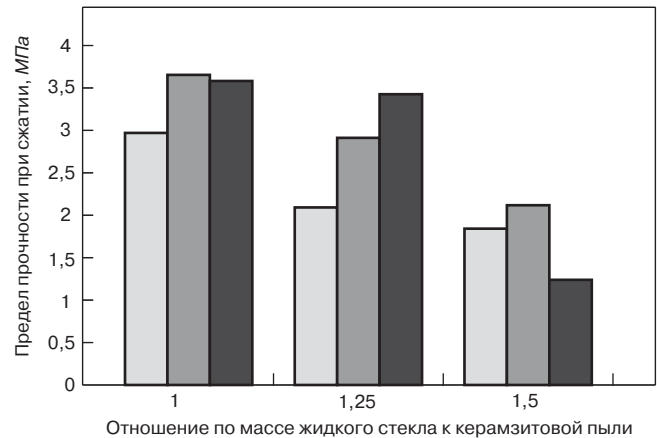


Рис. 8. Влияние соотношения компонентов геополимерного вяжущего на прочность при сжатии: концентрация жидкого стекла: □ – 80%; ■ – 90%; ■ – 100%

Fig. 8. The influence of the geopolymer binder component ratio on compressive strength: concentration of liquid glass: □ – 80%; ■ – 90%; ■ – 100%

ставе глинистые минералы с неразрушенной кристаллической структурой и дегидратированные глинистые минералы. На частичках глинистых минералов адсорбирован оксид кальция, который является химически активным по отношению к жидкому стеклу.

2. Разработанные составы геополимерного вяжущего на основе керамзитовой пыли и щелочного активатора в виде водного раствора жидкого стекла имеют прочность при сжатии 2–3,5 МПа, что позволяет решать различные геотехнические задачи по уплотнению и упрочнению грунтов при строительстве зданий и сооружений.

#### References

1. Falikman V.R., Ohotnikova K.Yu. Geopolymer binders and concretes in modern construction. *Mezhdunarodniy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2015. No. 4 (35). P. 1, pp. 93–97. (In Russian).
2. Dudnikov A.G., Dudnikova M.S., Redzhani A. Geopolymer concrete and its application. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2018. No. 1–2, pp. 38–45. (In Russian).
3. Korneev V.I., Brykov A.S. Development prospects of general construction binders. Geopolymers and their distinctive features. *Cement i ego primeneniye*. 2010. No. 2, pp. 51–55. (In Russian).
4. Onatsky S.P. *Proizvodstvo keramzita* [Production of expanded clay]. Moscow: Stroyizdat. 1971. 312 p.
5. Boldyrev A.S., Zolotov P.P., Lyusov A.N. i dr. *Stroitel'nye materialy. Spravochnik*. [Construction materials. Reference guide]. Moscow: Stroyizdat. 1989. 568 p.
6. Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*. 2011. No. 41, pp. 113–122. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.09.013
7. Plyusnina I.I. *Infrakrasnye spektry mineralov* [Infrared spectra of minerals]. Moscow: Izdatelstvo Moskovskogo universiteta. 1976. 175 p.

8. Зинюк Р.Ю., Балыков А.Г., Гавриленко И.Б., Шевяков А.М. ИК-спектроскопия в неорганической технологии. Л.: Химия, 1983. 160 с.
9. Маслова М.Д., Белопухов С.Л., Тимохина Е.С., Шнее Т.В., Нefeldьева Е.Э., Шайхиев И.Г. Термохимические характеристики глинистых минералов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 21. С. 121–127.
10. Рахимов Р.З., Рахимов Н.Р., Гайфуллин А.Р. Дегидратация глин различного минерального состава при прокаливании // *Известия КГАСУ*. 2016. № 4. С. 388–394.
11. Шаяхметов А.У., Мустафин А.Г., Массалимов И.А. Особенности термического разложения оксида, пероксида, гидроксида и карбоната кальция // *Вестник Башкирского университета*. 2011. Т. 16. № 1. С. 29–32.
12. Тарасов Р.В., Макарова Л.В., Батынова А.А. Анализ возможности повышения термической стойкости материалов при комбинировании глин и шлаков в жаростойких композициях // *Современные научные исследования и инновации*. 2015. № 2–2 (46). С. 21–32.
13. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. М.: Стройиздат, 1986. 264 с.
14. Соколович В.Е. Химическое закрепление грунтов. М.: Стройиздат, 1980. 119 с.
15. Корнеев В.И., Данилов В.В. Жидкое и растворимое стекло. СПб.: Стройиздат, 1996. 216 с.
8. Zinyuk R.YU., Balykov A.G., Gavrilenko I.B., Shevyakov A.M. IR-spektroskopiya v neorganicheskoj tekhnologii [IR-spectroscopy in non-organic technology]. Leningrad: Himiya. 1983. 160 p.
9. Maslova M.D., Belopuhov S.L., Timohina E.S., Shnee T.V., Nefed'eva E.E., Shajhiev I.G. Thermochemical characteristics of clay minerals. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. Vol. 17. No. 21, pp. 121–127. (In Russian).
10. Rahimov R.Z., Rahimov N.R., Gajfullin A.R. Dehydration of clays of different mineral composition during calcinations. *Izvestiya KGASU*. 2016. No. 4, pp. 388–394. (In Russian).
11. Shayahmtov A.U., Mustafin A.G., Massalimov I.A. Particularity of thermal decomposition of calcium oxide, peroxide, hydroxide and carbonate. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2011. Vol. 16. No. 1, pp. 29–32. (In Russian).
12. Tarasov R.V., Makarova L.V., Batynova A.A. Analysis of the possibility of increasing the thermal resistance of materials when combining clays and slags in heat-resistant compositions. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. 2015. No. 2–2 (46), pp. 21–32. (In Russian).
13. Rzhanicyn B.A. Himicheskoe zakreplenie gruntov v stroitel'stve [Chemical fixing of soils in construction]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 264 p.
14. Sokolovich V.E. Himicheskoe zakreplenie gruntov [Chemical fixing of soils]. Moscow: Strojizdat. 1980. 119 p.
15. Korneev V.I., Danilov V.V. Zhidkoe i rastvorimoe steklo [Liquid and soluble glass]. St. Petersburg: Stroyizdat. 1996. 216 p.

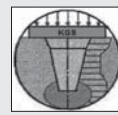


**Международная научно-техническая конференция по геотехнике  
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ  
ГЕОТЕХНИКИ: ИЗЫСКАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ»  
(GFAC 2021)**



г. Санкт-Петербург

27–29 октября 2021 г.



**Основная тематика конференции:**

- Специальные полевые и лабораторные методы исследования физико-механических характеристик грунтов;
- Теоретические и практические аспекты механики грунтов
- Модели грунтовых оснований и их применение в проектировании
- Геотехническое обоснование и научно-техническое сопровождение инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации оснований фундаментов, подземных и земляных сооружений;
- Численное моделирование системы: «основание-фундамент-здание» в программных комплексах;
- Новые перспективные конструктивно-технологические решения при строительстве оснований, фундаментов, подземных сооружений и высотных зданий;
- Новое строительство и реконструкция зданий и сооружений в плотной городской застройке и в условиях структурно-неустойчивых грунтов;
- Исследование свойств мерзлых и оттаивающих грунтов, конструкции фундаментов и методы строительства на них
- Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений;
- Анализ причин развития аварийных ситуаций при проектировании и строительстве фундаментов зданий и сооружений.

**Основные даты подачи заявок:**

Участие в качестве слушателя до 18 октября 2021 г.  
Выступление с докладом до 10 сентября 2021 г.  
Публикация в сборнике, издаваемом СПбГАСУ (индексация в РИНЦ) до 1 мая 2021 г.  
Публикация в сборнике, издаваемом Balkema, (индексация в SCOPUS и WEB OF SCIENCES) до 1 мая 2021 г.

**Контактные данные секретариата конференции СПбГАСУ:**

Калач Филипп Николаевич – зам. научного секретаря конференции, моб. телефон: +7 (921) 847-92-93  
e-mail: GFAC-2021-SPBGASU@yandex.ru  
Адрес секретариата: 190005, Санкт-Петербург, 3-я Красноармейская ул., дом 7, СПбГАСУ, кафедра Геотехники

УДК 666.974

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-69-74>

Х.Г.Х. АЛЬ-СУРРАЙВИ, инженер (hameedghalib2377@gmail.com),  
 М.А. ГОНЧАРОВА, д-р техн. наук (magoncharova777@yandex.ru),  
 А.Г. ЗАЕВА, инженер

Липецкий государственный технический университет (398055, г. Липецк, ул. Московская, 30)

## Синтез композитов на основе местного сырья при воздействии агрессивной среды

Затронута проблема формирования структуры порошково-активированных композитов с использованием местного сырья. Представлены результаты экспериментальных исследований свойств порошково-активированных бетонов (RPC) при выдержке в среде нефтепродуктов. Были изучены физические и прочностные свойства порошково-активированных цементных композитов. Исследовано влияние суперпластификаторов Hyperplast PC200 и Sika viscoscrete 5930, микрокремнезема и металлической фибры на строительно-технические свойства бетонов. При проведении эксперимента оценивали изменения структуры систем твердения, а также определяли количество усадочных микротрещин с помощью растровой электронной микроскопии на оборудовании серии Vega 3. Для RPC определен технологический регламент приготовления смесей, включающий следующие этапы: сухое смешивание мелкого песка и микрокремнезема (4 мин); добавление цемента и сухое смешивание компонентов (5 мин) для разрушения агломератов, затем постепенное добавление воды, содержащей суперпластификаторы (3 мин). По достижении требуемой нормальной густоты теста медленно добавляли стальное волокно (2 мин). Таким образом, весь процесс смешивания занимал около 14 мин. Предложены оптимальные составы RPC для изготовления строительных конструкций нефтеперерабатывающих предприятий. Учтены особенности возведения объектов в странах с жарким климатом. Показана возможность снижения высокой стоимости изделий и конструкций для предприятий нефтеперерабатывающего комплекса за счет существенного уменьшения толщины изделий. Это позволило внедрить оптимальные составы на российских и иракских строительных площадках.

**Ключевые слова:** строительные композиты, агрессивная среда, коррозия, системы твердения, порошково-активированные бетоны, суперпластификаторы.

**Для цитирования:** Аль-Суррайви Х.Г.Х., Гончарова М.А., Заева А.Г. Синтез композитов на основе местного сырья при воздействии агрессивной среды // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-69-74>

H.G.H. AL-SURRAYVI, Engineer (hameedghalib2377@gmail.com),  
 M.A. GONCHAROVA, Doctor of Sciences (Engineering), (magoncharova777@yandex.ru), A.G. ZAEVA, Engineer  
 Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya Street, Lipetsk, 398055, Russian Federation)

### Synthesis of Composites on the Basis of Local Raw Materials Under the Influence of Aggressive Environment

The problem of forming the structure of powder-activated composites using local raw materials is addressed. The results of experimental studies of the properties of powder-activated concretes (RPC) when aged in an environment of petroleum products are presented. The physical and strength properties of powder-activated cement composites were studied. The influence of superplasticizers Hyperplast PC200 and Sika viscoscrete 5930, microsilica and metal fiber on the construction and technical properties of concrete was investigated. During the experiment, changes in the structure of the hardening systems were evaluated, and the number of shrinkage microcracks was determined using scanning electron microscopy with Vega 3 series equipment. For RPC, the technological regulations for the preparation of mixtures were defined, including the following steps: dry mixing of fine sand and microsilica (4 minutes), adding cement and dry mixing of components (5 minutes) to destroy agglomerates, then gradually adding water containing superplasticizers (3 minutes). When the required normal paste density was reached, the steel fiber was slowly added (2 minutes). Thus, the entire mixing process took about 14 minutes. The optimal RPC compositions for the production of building structures of oil refineries are proposed. The features of the construction of objects in countries with hot climates are taken into account. The possibility of reducing the high cost of products and structures for enterprises of the oil refining complex due to a significant reduction in the thickness of products is shown. This made it possible to introduce optimal compositions at Russian and Iraqi construction sites.

**Keywords:** building composites, aggressive environment, corrosion, hardening systems, powder-activated concretes, superplasticizers.

**For citation:** Al-Surrayvi H.G.H., Goncharova M.A., Zaeva A.G. Synthesis of composites on the basis of local raw materials under the influence of aggressive environment. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 69–74. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-69-74>

В настоящее время на нефтеперерабатывающих предприятиях в производственном цикле делаются попытки минимизировать агрессивное воздействие на окружающую среду, тем более что агрессивное воздействие распространяется на строительные конструкции промышленных объектов [1–5]. Это приводит к существенным экономическим затратам — на восстановление и ремонт таких сооружений, как производственные цеха для размещения оборудования (фундаменты, эстакады, постаменты), складские и административные здания [6, 7]. Для хранения

нефти и нефтепродуктов используются железобетонные резервуары разных типов. Длительная эксплуатация в промышленном строительстве бетонных и железобетонных конструкций, подвергающихся агрессивному воздействию среды, возможна лишь при условии обеспечения их высокой трещиностойкости и непроницаемости [8–12]. При этом большинство строительных конструкций эксплуатируются в слабоагрессивной среде, где, как правило, не предусматривается их вторичная защита от коррозии, т. е. конструкции должны быть запроектирова-

ны и изготовлены так, чтобы их долговечность обеспечивалась за счет собственной стойкости.

При этом основные производственные фонды нефтехимических производств требуют особого внимания, являясь не просто собственностью крупных предприятий, но и национальным достоянием страны. Проблема увеличения долговечности и работоспособности строительных конструкций до сих пор является актуальной, так как вопросам защиты от воздействия окружающей агрессивной среды уделяется недостаточно внимания. Поэтому остро назрела необходимость разработки и внедрения новых строительных композитов, отвечающих требованиям современной нефтехимии [13–19].

Особое внимание должно быть уделено конструкциям для хранения нефти и нефтепродуктов. Несмотря на то что в настоящее время и в России, и в Ираке в основном используются наземные металлические сварные вертикальные цилиндрические резервуары, проблема минимизации затрат при возведении и одновременно менее агрессивного воздействия на железобетон сернистой нефти, подтоварной воды и газовой фазы могла быть решена за счет строительства таких конструкций из цементного бетона. При этом обычный бетон – Normal Strength Concrete (NSC) содержит множество микротрещин, которые быстро увеличиваются под действием приложенных напряжений. Эти трещины являются причиной низкой прочности на растяжение и изгиб. Поэтому производство бетона с высокой прочностью и низкой проницаемостью имеет большое значение с точки зрения обеспечения долговечности и стойкости строительных конструкций.

К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал по изучению стойкости бетонов в различных агрессивных средах. На основании этого материала разработан ряд методик, применение которых позволяет в достаточно короткий срок получить достоверные данные по сравнительной стойкости исследуемых материалов в условиях, соответствующих реальным. Правильный выбор режима коррозионных испытаний может быть

сделан только на основании результатов детального изучения механизма коррозии бетона в заданной агрессивной среде.

В последние десятилетия строительное материаловедение стремительно развивалось, в результате были улучшены механические, деформационные свойства и долговечность бетонов за счет разработки новых технологий. Эти улучшения привели к созданию нового поколения высокопрочных бетонов, известных как порошково-активированные бетоны (RPC – Reactive Powder Concrete), которые появились во Франции в начале 1990-х гг. Первая в мире конструкция из RPC (мост Шербрук, Канада) была построена в июле 1997 г. Reactive Powder Concrete определяется как высокопрочный и высокопластичный цементный композит с улучшенными механическими и физическими характеристиками. Это особый бетон, микроструктура которого улучшена за счет точного подбора всех частиц в смеси (оптимизации гранулометрического состава) для достижения максимальной плотности. Такие композиты проявляют пуццолановые свойства за счет использования высокодисперсного материала (микрокремнезема), а также синергетические свойства цементной матрицы с синтезом гидратов наивысшей прочности.

В данной работе исследуется возможность эксплуатации в жидкой агрессивной среде нефтепродуктов порошково-активированного бетона. Основная цель экспериментальных исследований заключалась в изучении влияния нефтепродуктов на конструктивно-технические свойства двух типов бетон-



**Рис. 1.** Проведение испытаний смеси RPC  
**Fig. 1.** Conducting RPC mixture tests

**Таблица 1**  
**Table 1**

**Компоненты бетонной смеси**  
**Components of concrete mixture**

Тип смеси	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>						
	Цемент	Песок	Гравий	Микрокремнезем	Фибра с латунным покрытием	В/Ц	Суперпластификатор, % от массы цемента
RPC	980	1050	0	245	157	0,16	7
NSC	456	776	825	0	0	0,5	0



ных смесей: бетона нормальной прочности с прочностью при сжатии в возрасте 28 сут около 35 МПа и порошково-активированного бетона (RPC) с прочностью при сжатии в возрасте 28 сут около 130 МПа.

Программа исследования состояла из подбора сырья и состава бетона. После этого производился выбор смесительного оборудования и определялась процедура введения компонентов и перемешивания компонентов смеси. В данном исследовании срок твердения композитов составлял 180 сут. Образцы для испытаний и образцы плит были сгруппированы в три серии: первая серия твердела и набирала прочность в нормальных условиях, вторая – в газойле, третья – в керосине (рис. 1).

Из смесей с оптимальными свойствами были изготовлены плиты, которые после твердения в агрессивной среде подвергались испытанию на прочность.

Основными критериями при выборе компонентов смеси являлись максимальные прочностные ха-

рактеристики и реотехнологические свойства смеси. При этом в качестве варьируемых факторов были выбраны:

– тип и вид цемента – использовались два типа цемента иракского производства (Al-Mass и Karasta), а также портландцемент и сульфатостойкий цемент Липецкого цементного завода;

– тип микрокремнезема разных производителей (FINNFJORD и Conmix SF1) и с разным количеством SiO<sub>2</sub>, в том числе аспирационная пыль ферросплавного производства ПАО «НЛМК»;

– были использованы два типа суперпластификаторов: Sika viscocrete 5930 и Hyperplast PC200.

В смесях RPC процесс смешивания разделен на следующие этапы: сухое смешивание мелкого песка и микрокремнезема в течение 4 мин, добавление цемента и сухое смешивание компонентов в течение примерно 5 мин для разрушения агломератов, затем постепенное добавление воды, содержащей супер-

Таблица 2  
Table 2

Прочность при сжатии образцов RPC и NSC до и после воздействия нефтепродуктов  
Compressive strength of RPC and NSC samples before and after exposure to petroleum products

Возраст, сут	Прочность при сжатии, МПа					
	Тип бетона					
	RPC			NSC		
7	106,7			30,9		
28	129,3			44		
Тип условия твердения	Норм. условия	Керосин	Газойль	Норм. условия	Керосин	Газойль
180	140,2	134,5	132,3	49	40,5	39,1
Изменение прочности при сжатии, %	–	-4,07	-5,64	–	-17,35	-20,2

Таблица 3  
Table 3

Прочность при растяжении цилиндров из RPC и NSC до и после воздействия нефтепродуктов  
Tensile strength of RPC and NSC cylinders before and after exposure to petroleum products

Возраст, сут	Прочность при растяжении, МПа					
	Тип бетона					
	RPC			NSC		
7	8,2			2		
28	11,75			2,9		
Тип условия твердения	Норм. условия	Керосин	Газойль	Норм. условия	Керосин	Газойль
180	14	13,25	13,17	3,6	2,93	2,81
Изменение прочности при растяжении, %	–	-5,36	-5,93	–	-18,61	-21,95

Таблица 4  
Table 4

Прочность при изгибе цилиндров из RPC и NSC до и после воздействия нефтепродуктов  
Flexural strength of RPC and NSC cylinders before and after exposure to petroleum products

Возраст, сут	Прочность при изгибе, МПа					
	Тип бетона					
	RPC			NSC		
7	15,25			4,1		
28	23,5			4,5		
Тип условия твердения	Норм. условия	Керосин	Газойль	Норм. условия	Керосин	Газойль
180	31,2	29,4	29,23	5	4,08	3,96
Изменение прочности при изгибе, %	–	-5,77	-6,32	–	-18,4	-20,8



Рис. 2. Образцы порошково-активированных бетонов после выдержки их в среде нефтепродуктов (7, 28 и 180 сут)

Fig. 2. Samples of powder-activated concretes after their aging in the environment of petroleum products (7, 28 and 180 days)



Рис. 3. Образцы бетонов нормального твердения после выдержки их в среде нефтепродуктов (7, 28 и 180 сут)

Fig. 3. Samples of concretes of normal hardening after their aging in the environment of petroleum products (7, 28 and 180 days)



Рис. 4. Используемая фибра с латунным покрытием

Fig. 4. Used fiber with brass coating

пластификаторы, в течение примерно 3 мин. По достижении требуемой нормальной густоты теста медленно добавляли стальное волокно во время работы смесителя для обеспечения однородного диспергирования — это занимало около 2 мин. Таким образом, весь процесс смешивания занимал около 14 мин.

Из смесей оптимальных составов были изготовлены соответствующие образцы (кубы, призмы и цилиндры) для испытания их на прочность при сжатии, при изгибе, при растяжении. Испытания проводились как в Ираке, так и в Липецком государственном техническом университете (табл. 2–4).

По результатам эксперимента установлено, что образцы RPC практически по всем показателям превосходят бетоны нормальной прочности (рис. 2, 3).

Крупнопористая структура NSC из-за высокого водовязущего отношения является причиной про-

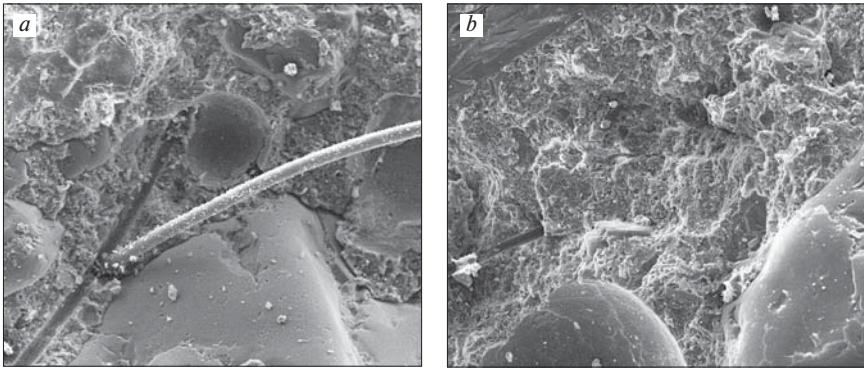
никновения нефтепродуктов внутрь материала, а это приводит к внутренним напряжениям, вызывающим расширение и микротрещины, что негативно сказывается на прочностных показателях.

Высокая стойкость в агрессивной среде порошково-активированных бетонов связана в первую очередь с формированием мелкопористой структуры. В этом исследовании в качестве суперпластификатора использовалась водоредуцирующая добавка, известная под коммерческим названием Superplast PC200. Эта высокоэффективная химическая добавка представляет собой водный раствор модифицированных поликарбоксилатных полимеров с длинными цепями, не содержащий хлоридов и соответствующий стандарту ASTM C494 / C494M, 2017. Действие добавки проявляется в начале процесса перемешивания: полимерные цепи поликарбоксилатов увеличивают отрицательный заряд на поверхности частиц цемента, и происходит диспергирование цемента за счет стерического отталкивания. Увеличенная плотность ионного заряда основной цепи Superplast PC200 позволяет получить высокие адсорбционные показатели на поверхности цементных зерен. Поликарбоксилатные эфиры, обладающие высоким электростатическим эффектом, оказывают активное воздействие на механизмы гидратации. В рамках исследования получены экспериментальные

данные с использованием нескольких отечественных и зарубежных цементов, которые хорошо согласуются с существующими теоретическими представлениями о действиях суперпластификаторов. За счет введения Superplast PC200 и Sika Viscocrete 5930 удалось снизить водотвердое отношение до 0,16.

Кроме того, наличие стальной фибры в образцах RPC привело к уменьшению микротрещин после воздействия нефтепродуктов, что связано с существенным снижением трещинообразования и медленным распространением трещин. Размеры фибры: длина 13 мм, диаметр 0,2 мм. Фибра имеет латунное покрытие и не имеет следов ржавчины или масла (рис. 4).

Оценка изменения структуры систем твердения, а также определение усадочных микротрещин, как правило, развивающихся преимущественно на границе раздела фаз цементный камень — мелкий запол-



**Рис. 5.** Микроструктура бетонов на поверхности контакта (увеличение  $\times 150$ ) цементная матрица – мелкий заполнитель в составах RPC: состав с В/Ц = 0,2 (а); мелкодисперсная структура цементного камня и отсутствие усадочных трещин оптимального состава с В/Ц = 0,16 (б)

**Fig. 5.** Microstructure of concrete on the contact surface (magnification  $\times 150$ ) cement matrix-fine filler in RPC compositions: composition with В/С = 0.2 (а); fine disperse structure of cement stone and absence of shrinkage cracks of optimal composition В/С = 0.16 (б)

нитель, определялись растровой электронной микроскопией на оборудовании серии Vega 3 (рис. 5).

Таким образом, были изучены физические и прочностные свойства порошково-активированных цементных композитов. Установлено положитель-

ное влияние суперпластификаторов нового поколения, микрокремнезема и металлической фибры на строительные свойства бетонов после выдержки в агрессивной среде нефтепродуктов.

В результате предложены оптимальные составы порошково-активированных бетонов для изготовления строительных конструкций нефтеперерабатывающих предприятий. Учтены особенности возведения объектов в странах с жарким климатом.

Благодаря улучшенным свойствам RPC удастся снизить высокую стоимость изделий и конструкций для предприятий нефтеперерабатывающего комплекса за счет существенного уменьшения толщины изделий, что ускорит внедрение этих конструкций на российских и иракских строительных площадках.

#### Список литературы

1. Ерофеев В.Т., Родин А.Д., Богатов А.Д. Физико-механические свойства и биостойкость цементов, модифицированных сернокислым натрием, фтористым натрием и полигексаметиленгуанидинстеаратом // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2013. № 7–2. С. 292–310.
2. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Виталова Н.М. Ингибирование коррозии железобетонных конструкций // *Строительство и реконструкция*. 2014. № 4 (54). С. 65–71.
3. Бабков В.В., Сахибгареев Р.Р., Сахибгареев Ром.Р. Роль аморфного микрокремнезема в процессах структурообразования и упрочнения бетона // *Строительные материалы*. 2010. № 6. С. 44–46.
4. Калашников В.И., Володин В.М., Мороз М.Н. Супер- и гиперпластификаторы. Микрокремнеземы. Бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности // *Молодой ученый*. 2014. № 19 (78). С. 207–210.
5. Федосов С.В., Базанов С.М. Сульфатная коррозия бетона. М.: АСВ, 2003. 192 с.
6. Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т., Скачков Ю.П. Прочность и параметры разрушения цементных композитов. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 360 с.
7. Ананьев С.В., Ерофеева И.В., Калашников В.И. Роль дисперсности и качества кварцевого песка на реологию и прочностные свойства суспензионного бетона. *Материалы XII Международной научно-практической конференции «Наука и инновации. Строительство и архитектура»*. София, 2014. Т. 10. С. 40–44.

#### References

1. Erofeev V.T., Rodin A.D., Bogatov A.D. Physicomechanical properties and biostability of cements modified with sodium sulfate, sodium fluoride and polyhexamethylene guanidine stearate. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2013. No. 7–2, pp. 292–310. (In Russian).
2. Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Vitalova N.M. Inhibition of corrosion of reinforced concrete structures. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2014. No. 4 (54), pp. 65–71. (In Russian).
3. Babkov V.V., Sokhibgareev R.R., Sokhibgareev Rom.R. The role of amorphous microsilica in the processes of structure formation and strengthening of concrete. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2010. No. 6, pp. 44–46. (In Russian).
4. Kalashnikov V.I., Volodin V.M., Moroz M.N. Super- and hyperplasticizers. Microsilica. New generation concretes with low specific consumption of cement per unit of strength. *Molodoi uchenyi*. 2014. No. 19 (78), pp. 207–210. (In Russian).
5. Fedosov S.V., Bazanov S.M. Sul'fatnaya korroziya betona [Sulfate corrosion of concrete]. Moscow: ASV. 2003. 192 p.
6. Maksimova I.N., Makridin N. I., Erofeev V. T., Skachkov Yu.P. Prochnost' i parametry razrusheniya cementnykh kompozitov [Strength and fracture parameters of cement composites: monograph]. Saransk: Publishing house of the Mordovia University, 2015. 360 p.
7. Ananiev S.V., Aksenov S.V., Erofeeva I.V., Kalashnikov V.I. The role of the dispersity and quality of quartz sand on the rheology and strength properties of suspension concrete. *Materials of the XII International Scientific and Practical Conference "Science and In-*

8. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // *Academia. Архитектура и строительство*. 2015. № 1. С. 93–102.
9. Морозов Н.М., Хозин В.Г., Красникова Н.М. Структурные особенности высокопрочных песчаных бетонов // *БСТ*. 2017. № 2 (990). С. 46–48.
10. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Тараканов О.В. Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения // *Известия вузов. Строительство*. 2016. № 4. С. 38–37.
11. Калашников В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 70–71.
12. Коротких Д.Н. Трещиностойкость современных цементных бетонов (проблемы материаловедения и технологии). Воронеж: ВГАСУ, 2014. 141 с.
13. Калашников В.И., Ерофеева И.В. Высокопрочные бетоны нового поколения. *Materials of the XII International scientific and practical conference «Science without borders»*. Sheffield. 2016, pp. 82–84.
14. Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Луцык Е.В., Федоров П.А. Долговечность бетона и железобетона в природных агрессивных средах. Уфа: РИЦ УГНТУ, 2014. 288 с.
15. Пухаренко Ю.В. Железобетонные изделия и конструкции / Под ред. Ю.В. Пухаренко, Ю.М. Баженова, В.Т. Ерофеева. СПб.: НПО «Профессионал», 2013. 1048 с.
16. Гончарова М.А., Акчурин Т.К., Коста А.А. Исследование коррозионной стойкости жаростойких шлакобетонов при длительной выдержке в агрессивной сульфатной среде // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура*. 2020. № 1 (78). С. 136–141.
17. Аль-Суррайви Х.Г.Х., Гончарова М.А. Коррозионная стойкость бетонов в органических средах. *Современные проблемы материаловедения: Сборник научных трудов II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 65-летию ЛГТУ*. Липецк, 2021. С. 355–358.
18. Goncharova M.A., Korneev K.A., Dedyayev G.S. Improving construction engineering properties of soils stabilized by a cement binder with techno-genic products // *Solid State Phenomena*. 2020. Vol. 299 SSP, pp. 26–31. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.299.26
19. Goncharova M.A., Krokhotin V.V., Ivashkin A.N. The influence of fiber reinforcement on the properties of the selfcompacting concrete mix and concrete // *Solid State Phenomena*. 2020. Vol. 299 SSP, pp. 112–117. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.112>
- novations. *Construction and architecture*”. Sofia. 2014. Vol. 10, pp. 40–44.
8. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T. On modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2015. No. 1, pp. 93–102. (In Russian).
9. Morozov N.M., Khozin V.G., Krasnikova N.M. Structural features of high-strength sand concretes. *BST*. 2017. No. 2 (990), pp. 46–48. (In Russian).
10. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V. Suspension-filled concrete mixtures for powder-activated concrete of a new generation. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2016. No. 4, pp. 38–37. (In Russian).
11. Kalashnikov V.I. What is the new generation of powder-activated concrete. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2012. No. 10, pp. 70–71. (In Russian).
12. Korotkikh D.N. Treshchinostojkost' sovremennykh cementnykh betonov (problemy materialovedeniya i tekhnologii) [Crack resistance of modern cement concretes (problems of materials science and technology)]. Voronezh: VGASU. 2014. 141 p.
13. Kalashnikov V.I., Erofeeva I.V. High-strength concrete of a new generation. *Materials of the XII International scientific and practical conference “Science without borders”*. Sheffield, 2016, pp. 82–84.
14. Latypov V.M., Latypova T.V., Lucyk E.V., Fedorov P.A. Dolgovechnost' betona i zhelezobetona v prirodnykh agressivnykh sredakh. [Durability of concrete and reinforced concrete in aggressive natural environments] Ufa: RITs UGNTU. 2014. 288 p.
15. Puharenko Yu.V., Bazhenova Yu.M., Erofeeva. V.T. Zhelezobetonnye izdeliya i konstrukcii [Reinforced concrete products and structures]. Saint Petersburg: NPO «ProfessionaL». 2013. 1048 p.
16. Goncharova M.A., Akchurin T.K., Kosta A.A. Investigation of the corrosion resistance of heat resistant slag concrete during long-term exposure in an aggressive sulfate environment. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2020. No. 1 (78), pp. 136–141. (In Russian).
17. Al-Surraivi H.G.Kh., Goncharova M.A. Corrosion resistance of concrete in organic media. *Modern problems of materials science. Collection of scientific papers of the II All-Russian (national) scientific-practical conference dedicated to the 65th anniversary of LSTU*. Lipetsk. 2021, pp. 355–358. (In Russian).
18. Goncharova M.A., Korneev K.A., Dedyayev G.S. Improving construction engineering properties of soils stabilized by a cement binder with techno-genic products. *Solid State Phenomena*. 2020. Vol. 299 SSP, pp. 26–31. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.299.26
19. Goncharova M.A., Krokhotin V.V., Ivashkin A.N. The influence of fiber reinforcement on the properties of the selfcompacting concrete mix and concrete. *Solid State Phenomena*. 2020. Vol. 299 SSP, pp. 112–117. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.112>

Организаторы конференции



INTERNATIONAL  
ASSOCIATION OF  
FOUNDATION  
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ



6-8  
ИЮЛЯ

2021

VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

# «ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ ДЛЯ УМНЫХ СЕТЕЙ: ИННОВАЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ,  
ОТЕЛЬ РЕНЕССАНС САНКТ-ПЕТЕРБУРГ БАЛТИК,  
УЛ. ПОЧТАМТСКАЯ, 4, КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ, 2 ЭТАЖ

Генеральный спонсор  
конференции



Спонсор  
конференции



Официальная поддержка



Генеральные информационные партнеры



[www.fc-union.com](http://www.fc-union.com), [info@fc-union.com](mailto:info@fc-union.com)  
+7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810

# ОПАЛУБКА „БАБОЧКА“

Сочетание преимуществ горизонтальной подготовки и вертикального изготовления

## ✓ До 4 бетонирования в день

- Горизонтальная подготовка, вертикальное бетонирование
- Готовый к покраске со всех сторон, 5-сторонний лицевой бетон
- Возможно измерение с помощью лазерной проекции

## ✓ Снижение производственных затрат до 40 %

- Эффективные системы отопления
- Более низкие затраты, чем при использовании поворотного стола
- Низкая потребность в площади

## ✓ Производство различных бетонных элементов

- Производство массивных стен, сэндвич-панелей, фасадных элементов, сборных клинкерных изделий, балконных плит и кассетных ребристых перекрытий
- Использование в качестве поворотного стола



# MAXTRUDER

Прочнейшие пустотные плиты перекрытия и стеновые сборные элементы

Designed  
developed and  
made in Germany

## ✓ Минимальное время отверждения < 6 часов

- Экономичное производство позволяет работу в двухсменном режиме
- Минимальное потребление сырья
- Минимальное время простоя - высочайшая производительность

## ✓ Оптимальное уплотнение до 90 МПа

- Эффективная двойная вибрационная система гарантирует постоянное высокое качество
- Полный ассортимент высококачественных изделий от 10 до 40 см
- Идеальная форма продукции с гладкой нижней поверхностью

## ✓ Удобство управления

- Интуитивное управление машиной с помощью большого сенсорного экрана
- Быстрая очистка путем легкой разборки компонентов
- Индивидуальное управление крутящим моментом и скоростью уплотнительных шнеков



**maxtruder**