

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 11

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X (Print)

ISSN 2658-6991 (Online)



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU НОЯБРЬ 2021 г. (797)



Кафедре АСИ УГНТУ
«Строительные конструкции»

50 лет



Уфимский государственный нефтяной технический университет

www.rusoil.net



Комитет Торгово-промышленной палаты РФ
по предпринимательству в сфере строительства

АО «ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования
жилых и общественных зданий» (АО «ЦНИИЭП жилища»)

Объединенная редакция научно-технических журналов
«Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®



XII Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2022: индустриальное домостроение для комплексной застройки»

InterConPan-2022

International Conference of Large-panel Construction

5–6 Апреля 2022 г. / April 5–6, 2022

Белгород / Belgorod

ПРОГРАММА:

- 1-й день** Пленарное заседание
Секции: «Архитектура индустриальных зданий
и комплексное развитие территорий»;
«Инновационная технология предприятий
индустриального домостроения»
- 2-й день** Выездная сессия
АО «Завод ЖБК-1», Белгород
Объекты строительства:
Комплексная застройка ЖК «Новая Заря»
Коттеджная застройка

ТЕМАТИКА:

- Оборудование и технологии для модернизации предприятий индустриального домостроения
- Инновационные строительные системы
- BIM-технологии в сборном домостроении
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Архитектурно-планировочные решения
- Малоэтажное индустриальное строительство
- Решения фасадов и внутренней отделки
- Качественное и энергоэффективное индустриальное строительство
- Комплексное развитие территорий застройки

Постоянный спонсор

PROGRESS GROUP

Постоянный партнер

ALLBAU
software

Производственный партнер

ЖБК-1
БЕЛГОРОД

К проведению конференции готовятся тематические номера журналов «Жилищное строительство» № 3 и «Строительные материалы» № 3, в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 01.03.2022 г.

www.interconpan.ru

Организационный комитет: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08
kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3, оф. 408, редакция журнала «Жилищное строительство»



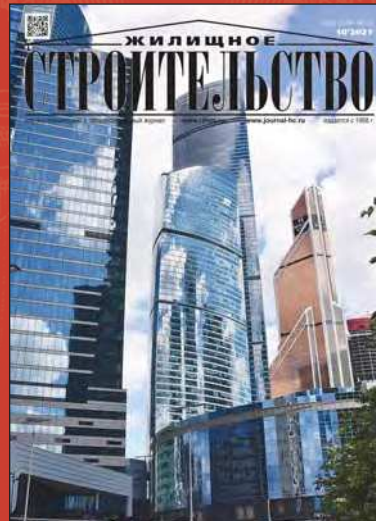
!!! Не забудьте подписаться !!! на журналы издательства **СТРОЙМАТЕРИАЛЫ**



www.journal-hc.ru

ISSN 0044-4472

Индекс **70283***



www.journal-cm.ru

ISSN 0585-430X (Print)

ISSN 2658-6991 (Online)

Индекс **70886***



www.rifsm.ru

ISSN 0005-9889

Индекс **85502***

На электронную версию можно подписаться

- на сайтах журналов

<https://journal-cm.ru/index.php/ru/podpiska-2022>

<https://journal-hc.ru/index.php/ru/podpiska-2022>

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

- на сайтах наших партнеров:

elibrary.ru

delpress.ru

www.ivis.ru

www.rucont.ru

Оформить подписку в редакции можно с любого месяца на любой период

Для этого необходимо составить заявку в произвольной форме с указанием названия организации, юридического и почтового адреса и отправить ее на e-mail: mail@rifsm.ru или rifsm@mail.ru

Уважаемые читатели!

Завершается 2021 год! Он был очень трудным для издательства – много личных потерь, много срывов мероприятий и встреч. Но вне зависимости от развития дальнейшей эпидемической и социально-экономической ситуации, научная мысль не остановится, продолжится подготовка специалистов высшей квалификации, люди продолжат строить и создавать, а значит будут востребованы строительные материалы. Следовательно, и журналы издательства «Стройматериалы» будут необходимы для профессиональной деятельности. Очень рассчитываем на вашу поддержку и будем стараться дальше оправдывать ваше доверие!

Оставайтесь с нами!

* Индексы по объединенному каталогу «Пресса России» <https://www.pressa-ru.ru>





СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ НА ПОДПИСКУ ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ

Уважаемые подписчики!
Мы подготовили для вас специальное предложение.
При оплате этого счета – доставка **БЕСПЛАТНО!**
Успейте воспользоваться!

Реквизиты поставщика	ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»				
Р/с	40702810238320101351	К/сч	30101810400000000225		
Банк ПАО СБЕРБАНК в г. Москва	ИНН	7702023918	КПП	771401001	БИК 044525225
Поставщик	ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»				К реестру №
Адрес	125319, Москва г., Черняховского ул., дом 9, корп. 1, кв. 1				
Телефон	(499) 976-22-08				Дата получения
Грузополучатель				Акцептован	
Адрес					
Телефон					
Плательщик					
		СЧЕТ №	240 /П-red		
	Дата				Дата

↓ ВЫБРАТЬ	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.	Скидка (%)	Сумма, руб.	Ставка НДС	Сумма с НДС, руб.
↓	Подписка на журнал «Строительные материалы»® на 2022 г. (№№ 1–2/2022 г. выходят в сдвоенном виде, увеличенным объемом) 12 номеров/11 экз.	Компл.	1	22800		22800		22800
	Почтовые расходы	Компл.	1	2400		2400		2400
	Подписка на журнал «Жилищное строительство» на 2022 г. (№№ 1–2/2022 г. выходят в сдвоенном виде, увеличенным объемом) 12 номеров/11 экз.	Компл.	1	19200		19200		19200
	Почтовые расходы	Компл.	1	2400		2400		2400
	Подписка на журнал «Бетон и железобетон» на 2022 г. 6 номеров/6 экз	Компл.	1	8640		8640		8640
	Почтовые расходы	Компл.	1	1200		1200		1200
	Подписка на комплект журналов издательства: «Строительные материалы»®; «Жилищное строительство»; «Бетон и железобетон» на 2022 г.	Компл.	1	50640		50640		50640
	Почтовые расходы	Компл.	1	3600		3600		3600
							НДС:	–
							Всего к оплате:	

Сумма к оплате прописью _____ руб.



НДС не облагается

Выписал _____

Абакумова Т.А.

Для оплаты данного счета: вырежьте страницу из журнала, отметьте в поле слева выбранную позицию, поставьте дату, адрес получателя и сумму к оплате (в том числе прописью), передайте счет в вашу бухгалтерию.

В платежном поручении нужно указать «Оплата по счету 240/П-red от (ваша дата)»



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®

№ 11

Основан в 1955 г.

(797) Ноябрь 2021 г.

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

К 50-летию кафедры «Строительные конструкции» УГНТУ

Кафедре «Строительные конструкции»

Уфимского государственного нефтяного технического университета 50 лет (Информация) 6

А.Н. РЯЗАНОВ, В.И. ВИННИЧЕНКО, А.А. РЯЗАНОВ, Р.З. РАХИМОВ,
В.А. РЯЗАНОВА, Г.Ю. ШАГИГАЛИН, Н.Г. ЧУМАЧЕНКО

Особенности диссоциации доломита в составе органоминеральной смеси 9

П.А. ФЕДОРОВ, Е.В. ЛУЦЫК, Т.В. ЛАТЫПОВА, В.М. ЛАТЫПОВ,
А.Р. АНВАРОВ, В.П. ПОПОВ, Н.Г. ЧУМАЧЕНКО

Долговечность бетона и железобетона в газовой среде предприятий нефтехимии и нефтепереработки 16

Л.Р. ЗАЙЦЕВА, Е.В. ЛУЦЫК, Т.В. ЛАТЫПОВА, В.М. ЛАТЫПОВ, П.А. ФЕДОРОВ, В.П. ПОПОВ

Влияние вида заполнителя из отходов производств на коррозионную стойкость бетона 23

Материалы и технологии

Т.А. ДРОЗДЮК, А.М. АЙЗЕНШТАДТ, Е.В. КОРОЛЕВ

Высокотемпературная модификация сапонитсодержащего материала 30

Диалог регионов на строительном форуме 100+ TechnoBuild в Екатеринбурге (Информация) 37

Ведущий строительный вуз страны МИСИ–МГСУ отметил 100-летие! (Информация) 40

М.С. ГАРКАВИ, А.В. АРТАМОНОВ, А.В. СТАВЦЕВА, Е.В. КОЛОДЕЖНАЯ, С.А. ДЕРГУНОВ, С.В. СЕРИКОВ

Моделирование структурных преобразований при измельчении композиционного цемента 41

Т.Ю. УМАРОВ, С.З. РАЗЗОКОВ, У.Н. ХАКБЕРДИЕВ, С.М. НЕЙМАН

Окрашивание верхнего слоя шиферных листов на листоформовочной машине 47

Результаты научных исследований

Д.А. КАЛАБИНА, А.М. АЛЕКСАНДРОВ, Г.И. ЯКОВЛЕВ

Фторангидригипсовые композиции для изготовления декоративных архитектурных деталей
и скульптурных изделий 52

IV Международный форум «Малозэтажная Россия–2021» (Информация) 57

А.А. БЕЗРОДНЫХ, В.В. СТРОКОВА, И.Ю. МАРКОВА, Д.Ю. ПОТАПОВ

Битумные эмульсии дорожно-строительного назначения, модифицированные золами-уноса 59

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®

№ 11

Founded in 1955 (797) November 2021

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

To the 50th anniversary of the Department of Building Structures, Ufa State Petroleum Technological University

The Department of "Building Structures" of Ufa State Petroleum Technological University: 50 years (Information) . . . 6

A.N. RIAZANOV, V.I. VINNICHENKO, A.A. RIAZANOV, R.Z. RAKHIMOV,
V.A. RIAZANOVA, G.Yu. SHAGIGALIN, N.G. CHUMACHENKO

Features of Dissociation of Dolomite in the Composition of an Organomineral Mixture 9

P.A. FEDOROV, E.V. LUTSYK, T.V. LATYPOVA, V.M. LATYPOV,
A.R. ANVAROV, V.P. POPOV, N.G. CHUMACHENKO

Durability of Concrete and Reinforced Concrete in the Gas Environment of Petrochemicals and Refining 16

L.R. ZAITSEVA, E.V. LUTSYK, T.V. LATYPOVA, V.M. LATYPOV, P.A. FEDOROV, V.P. POPOV

Influence of the Type of Filler from Production Waste on the Corrosion Resistance of Concrete 23

Materials and technologies

T.A. DROZDYUK, A.M. AYZENSHTADT, E.V. KOROLEV

High-Temperature Modification of Saponite-Containing Material 30

Dialogue of Regions at the 100⁺ Tekhnobuild Construction Forum in Yekaterinburg (Information) 37

The Country's Leading Civil Engineering University – Moscow State University of Civil Engineering (MISI-MGSU) Celebrated it's 100th Anniversary! (Information) 40

M.S. GARKAVI, A.V. ARTAMONOV, A.V. STAVTSEVA, E.V. KOLODEZHNYAYA, S.A. DERGUNOV, S.V. SERIKOV

Modeling of Structural Transformations when Grinding Composite Cement 41

T.Yu. UMAROV, S.Z. RAZZOKOV, U.N. HAKBERDIEV, S.M. NEYMAN

Painting of the Top Layer of Slate Sheets on a Sheet Forming Machine 47

Results of scientific research

D.A. KALABINA, A.M. ALEKSANDROV, G.I. YAKOVLEV

Fluoroanhydrite-Gypsum Compositions for the Manufacture of Decorative Architectural Details and Sculptural Products 52

IV International Forum "Low-Rise Russia-2021" (Information) 57

A.A. BEZRODNYKH, V.V. STROKOVA, I.Yu. MARKOVA, D.Yu. POTAPOV

Bitumen Emulsions for Road Construction Purposes, Modified by Fly Ash 59

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)

КОТЛЯР В.Д.,
д-р техн. наук, профессор (Ростов-на-Дону)

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)

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)

Editor-in-chief

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

Chairman of Editorial Board

RESIN V.,
Doctor of Science (Economy), Professor (Moscow)

AYZENSHTADT 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
(Saratov)

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

KOTLYAR V.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Rostov-on-Don)

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)

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

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

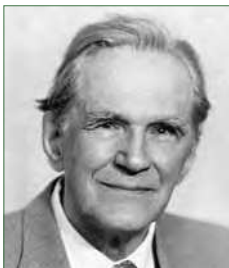
SHTACKELBERG D.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Israel)

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

YU JIANGMIAO,
PhD / Associate Professor (China, Guangzhou)

Кафедре «Строительные конструкции» Уфимского государственного нефтяного технического университета

The Department of "Building Structures" of Ufa State Petroleum Technological University: 50 years!



Алексей Филиппович ПОЛАК,
проф., д-р техн. наук,
заслуженный деятель науки
и техники РСФСР и БАССР,
лауреат Государственной
премии СССР. Организатор
и первый заведующий
кафедрой (1971–1973;
1980–1986)



Борис Васильевич ГОНЧАРОВ,
проф., д-р техн. наук,
зав. кафедрой в 1973–1980 гг.



Луиза Владимировна СТАРЦЕВА,
проф., канд. техн. наук,
зав. кафедрой в 1987–1992 гг.



Вадим Васильевич БАБКОВ,
проф., д-р техн. наук,
зав. кафедрой в 1992–2002 гг.

Кафедра «Строительные конструкции» в настоящее время является ведущим научно-образовательным центром Республики Башкортостан в области строительного материаловедения, производства строительных материалов и изделий, а также расчета и проектирования строительных конструкций. В 2021 г. она отмечает пятидесятилетний юбилей. Кафедра была основана в сентябре 1971 г. в составе строительного факультета Уфимского нефтяного института (в настоящее время Уфимский государственный нефтяной технический университет). Основателем и первым заведующим кафедрой был известный ученый в области строительного материаловедения, лауреат Государственной премии СССР в области науки и техники, д-р техн., проф. Алексей Филиппович Полак.

За прошедшие десятилетия кафедрой было подготовлено более 10 тыс. дипломированных инженеров-строителей и более 50 кандидатов и докторов наук по специальностям 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» и 05.23.01 «Строительные конструкции», которые в настоящее время успешно работают во многих регионах Российской Федерации и зарубежных странах. Сотрудники кафедры активно участвуют во всероссийских и международных научно-технических конференциях в области строительного материаловедения: международных конгрессах по химии цемента, международных конференциях по гипсу, ежегодной международной конференции «Нанотехнологии в строительстве», проводимой в Египте, конференционных проектах издательства «Стройматериалы» – «Керамтэкс», «Силикатекс».

Сотрудниками кафедры проводятся масштабные фундаментальные и прикладные научные исследования для отечественных и зарубежных предприятий строительного комплекса, осуществляются координация и руководство совместными научно-образовательными проектами в рамках программ сотрудничества с ведущими отечественными и зарубежными образовательными и научными учреждениями. Кафедра «Строительные конструкции» обладает высококвалифицированными научно-педагогическими кадрами и располагает необходимым информационным и техническим инструментарием (современное лабораторное оборудование для исследования структуры и свойств материалов, включая рентгенофазовый и термический анализ, электронную микроскопию). Для дальнейшего повышения уровня подготовки, расширения профессиональных компетенций будущих выпускников кафедрой созданы филиалы (базовые кафедры) на ведущих предприятиях строительной отрасли Республики Башкортостан. В частности, в распоряжении студентов имеется научно-исследовательская лаборатория аддитивных технологий в составе базовой кафедры «Экспериментальное строительство» при ООО «Уфимская гипсовая компания».

С удовлетворением можно отметить, что кафедра «Строительные конструкции» обладает всем необходимым и делает все возможное для успешной подготовки инже-



50 лет



нерных и научных кадров для строительной индустрии страны на высоком уровне, уверенно смотрит в будущее.

С первых лет создания кафедры научно-технический журнал «Строительные материалы» стал одним из базовых для публикаций сотрудников, аспирантов и докторантов. Благодаря журналу мы находили научных и производственных партнеров, многие разработки наших ученых были внедрены в реальное производство. Не ослабевают наши деловые связи и сейчас, в век цифровизации. Профессор И.В. Недосеко, д-р техн. наук, многие годы участвует в работе редакционного совета. Наши выпускники продолжают оставаться подписчиками и читателями журнала.

**Заслуженный строитель РФ,
д-р техн. наук, проф.
В.В. Бабков**



Валерий Марказович
ЛАТЫПОВ,
проф., д-р техн. наук,
зав. кафедрой в 2002–2016 гг.



Александр Николаевич
РЯЗАНОВ,
проф., канд. техн. наук, Ph.D,
зав. кафедрой с 2016 г.



Коллектив кафедры «Строительные конструкции». 2019 г.

Инновационный Центр ФГБОУ УГНТУ «Лаборатория нанотехнологий цементных систем имени профессоров А.Ф. Полака и Н.Х. Каримова»

Центр создан в октябре 2010 г. в рамках реализации «Программы совершенствования и развития инновационной инфраструктуры УГНТУ» по гранту Министерства образования и науки РФ.

В Инновационном центре (ИНОЦ) проводят исследования ведущие специалисты кафедр «Строительные конструкции» и «Бурение нефтяных и газовых скважин», а также бакалавры, магистры, аспиранты, докторанты по трем основным направлениям:

- 1) разработка строительных материалов, исследование их структуры и свойств;
- 2) исследование долговечности бетона и железобетона;
- 3) разработка тампонажных цементных материалов для крепления нефтяных и газовых скважин.

В Инновационном центре функционирует новейшее **оборудование**:

I. Основное оборудование



**ПРИБОР СИНХРОННОГО
ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА: ТГ+ДСК**

ТГ позволяет определять и исследовать:

- ✓ Изменение массы образца
- ✓ Температурную стабильность образца
- ✓ Режимы окисления/восстановления
- ✓ Разложение образца
- ✓ Стадии коррозии образца
- ✓ Анализ состава образца
- ✓ Термокинетику

ДСК позволяет определять и исследовать:

- ✓ Температуры и теплоты плавления и кристаллизации
- ✓ Фазовые переходы в твердом состоянии
- ✓ Полиморфизм
- ✓ Степень кристалличности
- ✓ Стеклование
- ✓ Наличие или отсутствие примесей в образце
- ✓ Удельную теплоемкость
- ✓ Термокинетику



**РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП
JEOL JSM-6610LV С ЭДС OXFORD INCA ENERGY**

Растровый электронный микроскоп позволяет:

- ✓ изучать морфологию поверхности образца;
- ✓ проводить измерения размеров, формы, элементный состав образцов и других параметров микро- и нанообъектов в диапазоне размеров от нескольких сантиметров до нанометров с увеличениями до 100000 крат и более;
- ✓ изучать ориентацию микроструктур, строить карты распределения химических элементов по площади образца.



ДИФРАКТОМЕТР D2 PHASER

Дифрактометр D2 PHASER

представляет собой высококачественную настольную рентгенодифракционную систему с применением инновационных технологий и конструкции. Он позволяет проводить рентгенодифракционные измерения быстро, просто и получать данные высокого качества:

- ✓ Качественный и количественный фазовый анализ
- ✓ Определение степени кристалличности
- ✓ Определение свойств кристаллитов и напряжений решетки lattice strain
- ✓ Определение структуры кристаллита

II. Вспомогательное оборудование

Оборудование для РФА и термического анализа

Оборудование для проведения морфологического анализа (РЭМ)



Планетарная шаровая мельница
Retsch PM 100



Муфельная печь L9/11/SKM



Шлифовально-полировальный станок
LaboPol-5 с LaboForce-3 и LaboDoser



Напылительная установка JFC-1600



Отрезной станок Minitom

III. Дополнительное оборудование

Физико-механические испытания вяжущих и бетонов:

- ✓ Испытательные прессы с программным управлением на 10 тонн; 50 тонн; и 150 тонн;
- ✓ Водонепроницаемость

Тампонажные вяжущие:

- ✓ Консистомер высокого давления и температуры;
- ✓ Консистомер атмосферный;
- ✓ Цифровой ротационный вискозиметр;
- ✓ Камера набора прочности, термобарическая

КОНТАКТЫ: 450080, г. Уфа, ул. Менделеева, 195, к. 224, 123.

Руководитель – Лилия Наилевна Ломакина, к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции».
Телефон (факс): (347) 228-22-00. Моб.: +7-937-334-59-80 E-mail: lomakinaln@mail.ru

Исследования проводятся для предприятий и высших учебных заведений. По окончании исследований выдается Протокол исследований. Все работы выполняются **квалифицированными специалистами**, имеющими сертификаты для проведения данных работ.

УДК 666.914

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-9-15>

А.Н. РЯЗАНОВ¹, канд. техн. наук (aryazanov@hotmail.com);
 В.И. ВИННИЧЕНКО², д-р техн. наук (vvinnichenko@ukr.net);
 А.А. РЯЗАНОВ¹, канд. техн. наук (stow-team@live.ru);
 Р.З. РАХИМОВ³, д-р техн. наук (rachimov@kgasu.ru);
 В.А. РЯЗАНОВА¹, канд. техн. наук (aryazanov@hotmail.com),
 Г.Ю. ШАГИГАЛИН¹, инженер (ufa-gazinur@mail.ru);
 Н.Г. ЧУМАЧЕНКО⁴, д-р техн. наук (psmik@samgtu.ru)

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

² Cool Clean Researches & Technologies (37 Rue Sainte Catherine, Le Cannet, 06110, France)

³ Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

⁴ Самарский государственный технический университет (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244)

Особенности диссоциации доломита в составе органоминеральной смеси

Методом термодинамического анализа исследовано влияние углерода и продуктов его газификации на процесс декарбонизации доломита. Показано интенсифицирующее действие органического вещества при термической обработке карбоната магния. Кроме углерода на реакции декарбонизации влияют газы, выделяющиеся в результате газификации органической части отходов углеобогащения. Теоретически доказано, что органическая составляющая отходов углеобогащения способствует понижению температуры начала и конца диссоциации доломита. Для подтверждения теоретических предпосылок были проведены экспериментальные исследования поведения органоминеральных смесей при нагревании. Продукты термохимических превращений органической составляющей отходов углеобогащения повышают эффективность процесса декарбонизации доломита. Органическая составляющая отходов снижает температуру процесса декарбонизации доломита.

Ключевые слова: процесс декарбонизации доломита, отходы углеобогащения, термограмма, снижение расхода тепловой энергии, снижение температуры диссоциации.

Для цитирования: Рязанов А.Н., Винниченко В.И., Рязанов А.А., Рахимов Р.З., Рязанова В.А., Шагигалин Г.Ю., Чумаченко Н.Г. Особенности диссоциации доломита в составе органоминеральной смеси // *Строительные материалы*. 2021. № 11. С. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-9-15>

A.N. RIAZANOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (aryazanov@hotmail.com); V.I. VINNICHENKO², Doctor of Sciences (Engineering) (vvinnichenko@ukr.net); A.A. RIAZANOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (stow-team@live.ru); R.Z. RAKHIMOV³, Doctor of Sciences (Engineering) (rachimov@kgasu.ru); V.A. RIAZANOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (aryazanov@hotmail.com); G.Yu. SHAGIGALIN¹, Engineer (ufa-gazinur@mail.ru), N.G. CHUMACHENKO⁴, Doctor of Sciences (Engineering) (psmik@samgtu.ru)

¹ Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov Street, Ufa, 450062, Russian Federation)

² Cool Clean Researches & Technologies (37 Rue Sainte Catherine, Le Cannet, 06110, France)

³ Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

⁴ Samara State Technical University (244, Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443100, Russian Federation)

Features of Dissociation of Dolomite in the Composition of an Organomineral Mixture

The influence of carbon and its gasification products on the process of dolomite decarbonization has been studied by the method of thermodynamic analysis. The intensifying effect of organic matter during the heat treatment of magnesium carbonate is shown. In addition to carbon, decarbonization reactions are affected by gases released as a result of gasification of the organic part of carbon enrichment waste. It is theoretically proved that the organic component of carbon enrichment waste contributes to lowering the temperature of the beginning and end of dolomite dissociation. To confirm the theoretical premises, experimental studies of the behavior of organomineral mixtures during heating were carried out. The products of thermochemical transformations of the organic component of carbon enrichment waste increase the efficiency of the dolomite decarbonization process. The organic component of the waste reduces the temperature of the dolomite decarbonization process.

Keywords: process of dolomite decarbonization, carbon enrichment waste, thermogram, reduction of thermal energy consumption, reduction of dissociation temperature.

For citation: Riazanov A.N., Vinnichenko V.I., Riazanov A.A., Rakhimov R.Z., Riazanova V.A., Shagigalin G.Yu., Chumachenko N.G. Features of dissociation of dolomite in the composition of an organomineral mixture. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 11, pp. 9–15. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-9-15>

Доломитовые породы — одна из распространенных и недостаточно освоенных строительной промышленностью разновидностей минерального сырья. Они могут применяться для производства различных типов вяжущих веществ и строительных материалов на их основе [1, 2]. Однако в настоящее время такие материалы практически не выпускаются отечественной промышленностью, хотя из-за рубежа уже поставляется

большое количество строительных материалов и изделий на основе карбоната магния (магнезитов) и двойных карбонатов кальция и магния (доломитов). С использованием таких вяжущих веществ изготавливаются различные виды отделочных и теплоизоляционных материалов [2–4]. Одним из преимуществ магнезиальных вяжущих являются значительно меньшие энергетические затраты на их производство по сравнению

с производством извести и портландцемента [5]. При обжиге доломита выделяется меньше газообразных загрязняющих веществ [6, 7].

Основными достоинствами магнезиальных вяжущих веществ являются [8–12]:

- высокая механическая прочность при быстром ее нарастании в начальный период твердения;
- повышенные по сравнению с другими вяжущими показатели пределов прочности при изгибе;
- плотная структура затвердевшего магнезиального камня при невысокой истинной и средней плотности;
- низкая теплопроводность;
- высокая прочность сцепления с заполнителем при изготовлении магнезиальных бетонов и растворов;
- достаточно высокая коррозионная стойкость.

Известно, что продукты твердения некоторых магнезиальных вяжущих веществ имеют чрезвычайно высокую стойкость к действию морской воды, минерализованных подземных вод, растворов солей и щелочей, намного превышающую стойкость продуктов твердения специальных видов портландцемента [12]. Вышеуказанные свойства свидетельствуют о целесообразности разработки технологий производства таких вяжущих и материалов на их основе [9].

С другой стороны, накоплено значительное количество отходов, которые содержат угольную составляющую. Проблема утилизации и переработки отходов промышленности по-прежнему чрезвычайно актуальна. Экологическая опасность терриконов, в которых складированы угольные отходы, достаточно широко освещена [13–15]. При комплексном использовании отходов они являются одновременно исходными сырьевыми материалами и частично заменяют топливо для промышленности строительных материалов. Кроме того, утилизация отходов позволяет решить задачи охраны окружающей среды, освободить ценные земельные угодья, занимаемые под отвалы, уменьшить вредные выбросы в окружающую среду.

Целью данной работы явилось теоретическое и экспериментальное определение энергетических затрат на обжиг доломитового вяжущего.

Теоретические затраты тепловой энергии образования доломитового клинкера представляют собой затраты тепла на диссоциацию $MgCO_3$, некоторого количества $CaCO_3$, а также дегидратацию примесей [7]:

$$q_{kl} = G_{CaCO_3}^C \cdot (\Delta H_t)_1 + G_{MgCO_3}^C \cdot (\Delta H_t)_2 + G_{Al_2Si_2O_7}^C \cdot (\Delta H_t)_3,$$

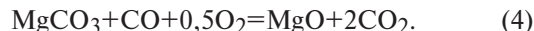
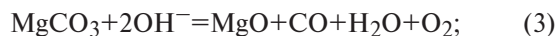
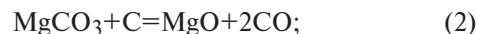
где $G_{CaCO_3}^C$, $G_{MgCO_3}^C$, $G_{Al_2Si_2O_7}^C$ – соответственно содержание карбоната кальция, карбоната магния и алюмосиликатов в доломите на 1 кг клинкера; $(\Delta H_t)_1$, $(\Delta H_t)_2$, $(\Delta H_t)_3$ – энтальпия реакций декарбонизации карбоната кальция, карбоната магния, алюмосиликатной примеси.

Теоретические затраты тепловой энергии для обжига доломита составляют 220–230 ккал/кг клинкера. Для сравнения, теоретический расход тепла на

обжиг портландцементного клинкера составляет в среднем 420–430 ккал/кг клинкера. Действительный расход топлива на обжиг зависит от влажности сырьевого материала и коэффициента полезного действия теплового агрегата. Расход топлива на обжиг доломитового клинкера уменьшается по сравнению с портландцементным на 47%, т. е. почти в два раза при условии равенства исходной влажности сырьевой смеси и коэффициента полезного действия печи.

Термодинамические исследования

Для осуществления термодинамических исследований использована методика [17]. Исходные данные взяты из источников [17–19]. Термодинамический анализ выполнен для теоретического определения влияния на процесс диссоциации карбоната магния наличия углерода и продуктов его газификации в смеси. Рассмотрены следующие реакции:



Полученные результаты представлены на рис. 1.

Термодинамический анализ влияния органической составляющей отходов на реакции диссоциации карбоната магния показал, что реакция (1) термодинамически возможна при температуре выше 600 К, а при участии органической составляющей отходов появление MgO термодинамически вероятно в реакциях (2, 3, 4) при более низкой температуре.

Результаты термодинамических исследований свидетельствуют о том, что участие углерода и продуктов его газификации в реакциях диссоциации карбоната магния способствует снижению температуры начала реакции разложения $MgCO_3$.

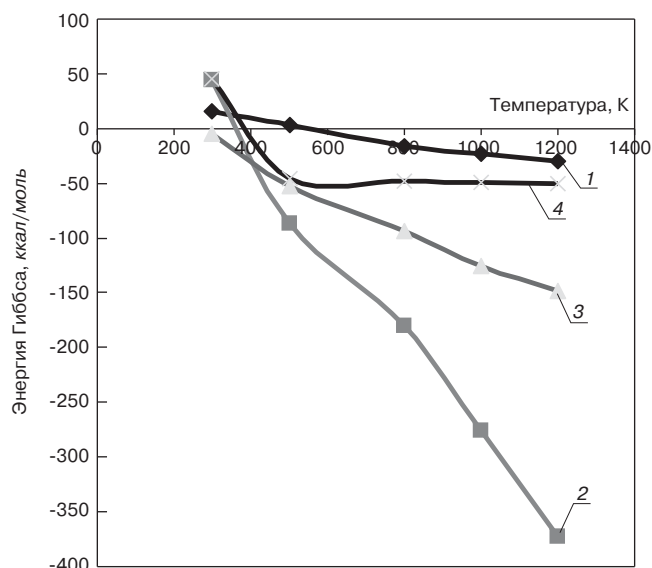


Рис. 1. Влияние температуры на энергию Гиббса: 1 – реакция 1; 2 – реакция 2; 3 – реакция 3; 4 – реакция 4
 Fig. 1. Influence of temperature on Gibbs energy: 1 – reaction 1; 2 – reaction 2; 3 – reaction 3; 4 – reaction 4

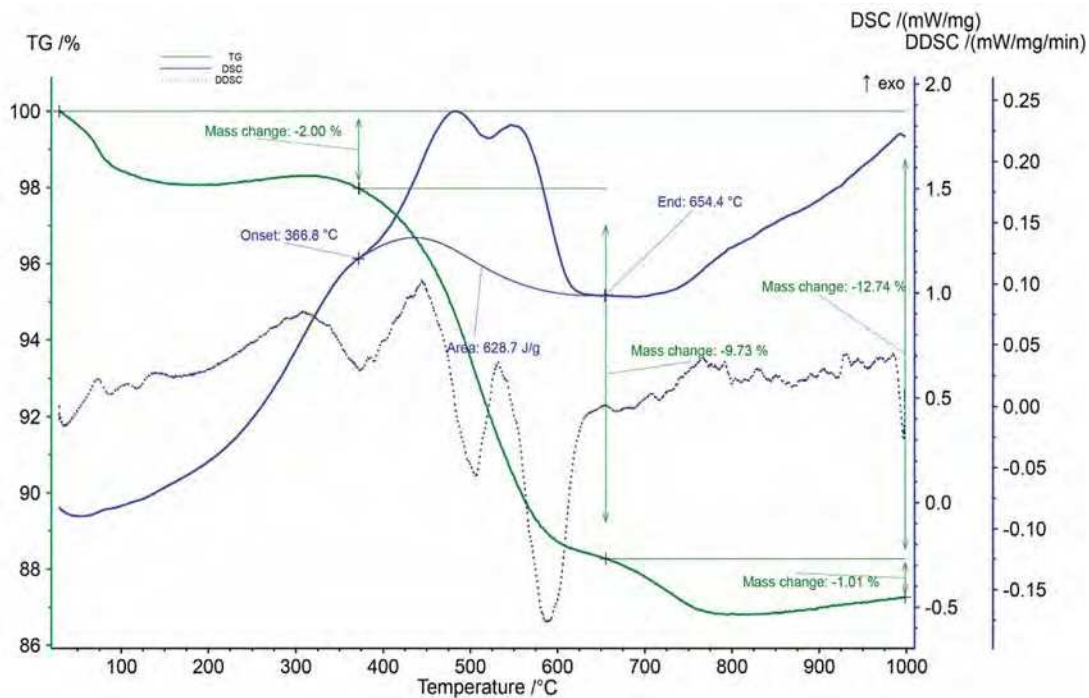


Рис. 2. Термограмма отходов углеобогащения
Fig. 2. Thermogram of coal preparation waste

Экспериментальные исследования

Возможность и целесообразность совместного использования отходов углеобогащения и отходов доломита для получения вяжущих определяется в первую очередь характером поведения при нагреве органической составляющей отходов углеобогащения. Для проведения исследований использовались отходы гравитационного обогащения Белореченской ЦОФ и красноярский доломит.

Процесс термоокислительной деструкции (рис. 2), характеризующийся выделением газообразных летучих продуктов, находится в интервале температуры 100–366,8°C. При дальнейшем нагревании усиливаются процессы термической деструкции органической массы отходов, сопровождающиеся выделением летучих веществ и смол и происходящие параллельно с дегидратацией водных оксидов алюмосиликатов. Характер эффекта – два максимума на кривой DSC – свидетельствует о том, что состав органического компонента неоднороден. На кривой ДТА этому процессу соответствуют интенсивные экзотермические эффекты с максимумом при температуре 480 и 550°C. Процесс заканчивается при температуре 654,4°C. При этом наблюдается потеря массы – 9,73%, связанная с выходом летучих органических веществ.

Наблюдаемый в интервале температуры 654,4–980°C процесс термического разложения органической составляющей известен под названием полукоксования с образованием жидкой фазы – пластического состояния угля – с последующим превращением его в полукок.

Термические превращения доломита при нагреве представлены на рис. 3.

Прогибы кривой ДТА после нагревания выше 750°C свидетельствуют о ступенчатости процесса декарбонизации доломита. Интенсивный эндотермический эффект при 815,9°C отвечает процессу диссоциации карбоната магния, а эндотермический эффект с максимумом при 919,8°C – диссоциации карбоната кальция. Затраты энергии на эндотермические реакции декарбонизации карбонатов магния и кальция составляют 758,2 Дж/г (Area – 758,2 J/g).

Добавление к доломиту отходов углеобогащения существенно меняет характер термических эффектов, хотя особенности термохимических превращений органической составляющей отходов сохраняются. Появление на кривой ДТА (рис. 4–6) экзотермических эффектов при 486,4, 489 и 485,8°C связано с термоокислительной деструкцией органической составляющей отходов углеобогащения.

Из анализа термограмм также следует, что процесс декарбонизации интенсифицируется. Сравнение кривых нагрева доломита (рис. 3) и смеси доломита и отходов углеобогащения (рис. 4–6) выявило понижение температуры начала диссоциации карбонатов. В ряду доломит–смесь 1:1–смесь 1:2–смесь 1:3 температура начала диссоциации составляет: 742,3–734,6–709,5–687,1°C.

Процесс эндотермии эффекта декарбонизации (рис. 4–6) $MgCO_3$ и $CaCO_3$ с отходами претерпевает значительные изменения. Сначала кривая имеет два явно выраженных пика (рис. 4): один – декарбонизация $MgCO_3$ при температуре 822,4°C и второй – декарбонизация $CaCO_3$ при температуре 882,2°C. При увеличении отходов углеобогащения в смеси до 1:3 экзотермический пик остается один (рис. 6) при температуре 849,3°C.

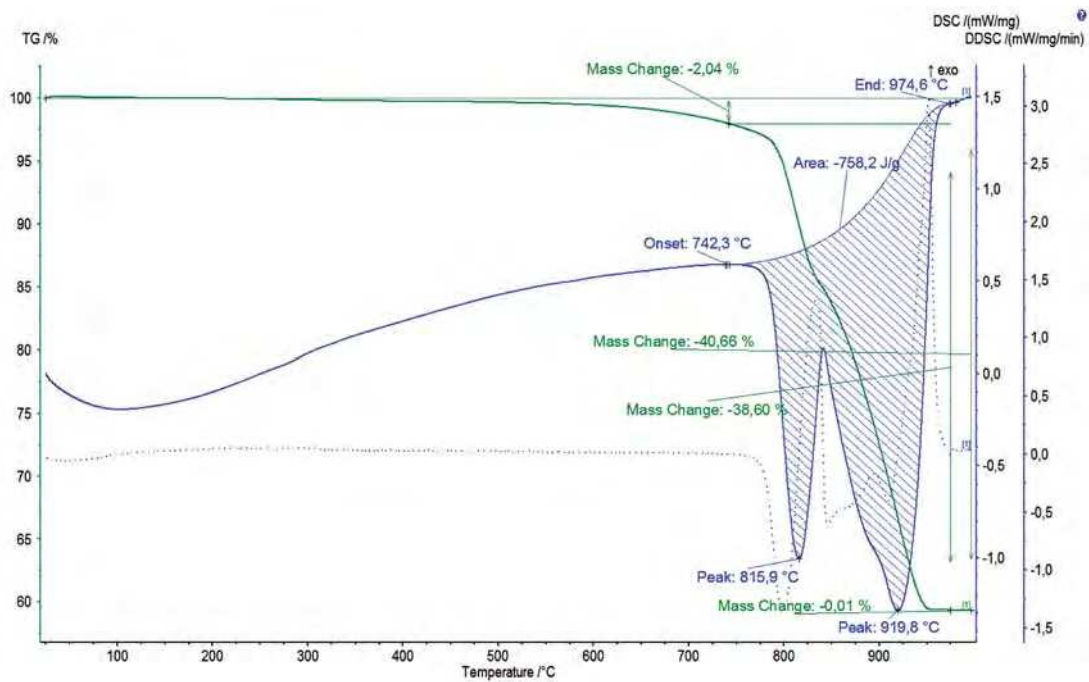


Рис. 3. Термограмма доломита
Fig. 3. Thermogram of dolomite

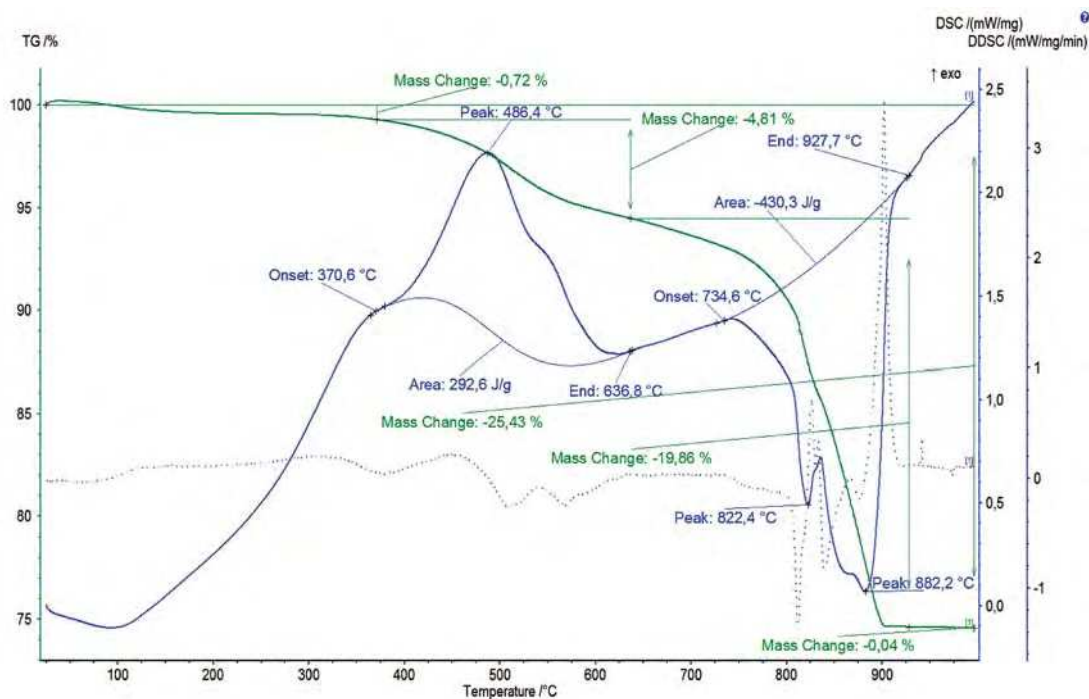


Рис. 4. Термограмма смеси доломит:отходы обогащения углей (1:1)
Fig. 4. Thermogram of mixture dolomite:coal preparation waste (1:1)

Горение органической составляющей отходов при наличии необходимой температуры и кислорода влечет за собой экзотермические превращения и сопровождается изменением внутреннего теплосодержания системы. Это подтверждается значительным уменьшением площади, занимаемой на термограммах кривыми, фиксирующими эндотермические реакции от точки начала поглощения тепла до точки их окончания.

Интересная зависимость наблюдается при анализе необходимого тепла на реакции декарбонизации.

Тепловая энергия, затрачиваемая на декарбонизацию карбонатов кальция и магния, в сумме составляет:

- доломит – 758,2 Дж/г (рис. 3);
- смесь доломит:отходы 1:1 – 430,3 Дж/г (рис. 4);
- смесь доломит:отходы 1:2 – 331,4 Дж/г (рис. 5);
- смесь доломит:отходы 1:3 – 262,5 Дж/г (рис. 6).

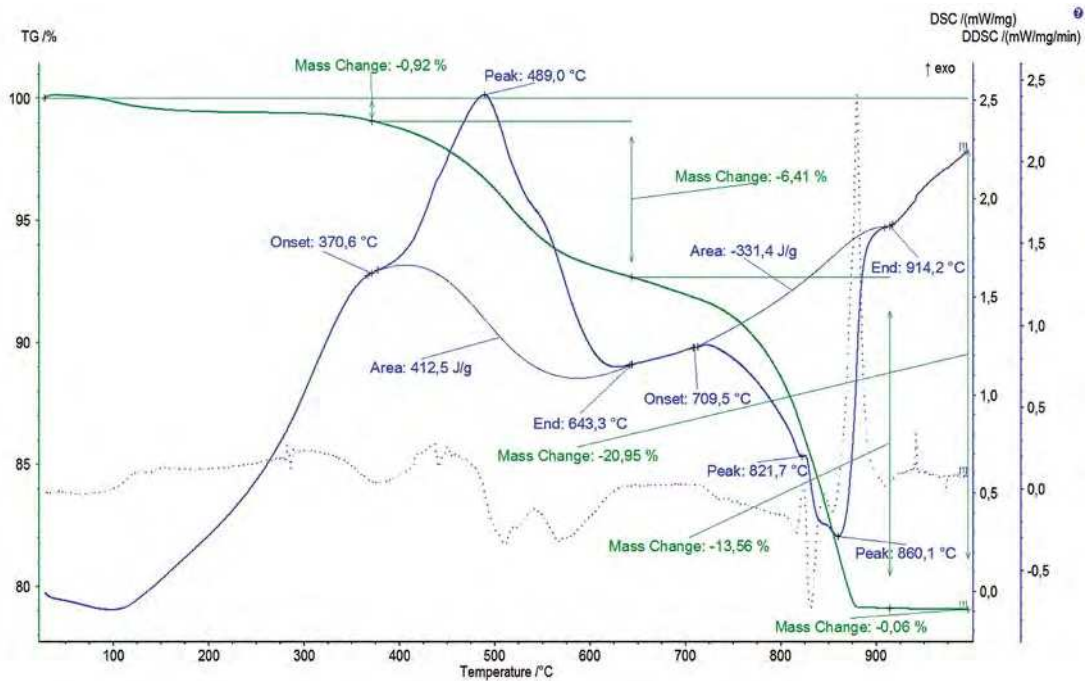


Рис. 5. Термограмма смеси доломит:отходы обогащения углей (1:2)
 Fig. 5. Thermogram of mixture dolomite:coal preparation waste (1:2)

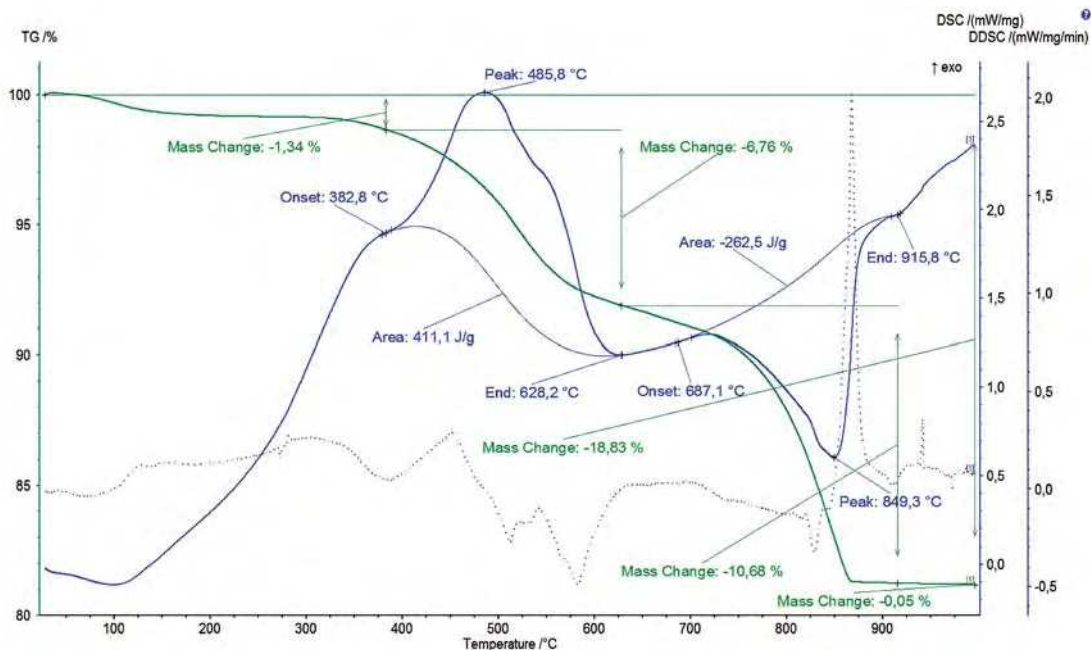


Рис. 6. Термограмма смеси доломит:отходы обогащения углей (1:3)
 Fig. 6. Thermogram of mixture dolomite:coal preparation waste (1:3)

Экзотермические реакции в смеси доломита и отходов компенсируют потребность эндотермических процессов в тепловой энергии.

Выводы

Теоретически обоснована энергетическая целесообразность получения доломитового вяжущего.

Результаты термодинамических исследований показали, что участие углерода и продуктов его га-

зификации в реакциях диссоциации карбоната магния способствует интенсификации процесса декарбонизации.

Выполнены сравнительные исследования поведения при нагреве отходов обогащения углей, доломита и смеси отходов и доломита. Установлено, что снижение потребности в энергии эндотермических процессов декарбонизации доломита возможно за счет протекания экзотермических реакций смеси доломита и отходов обогащения углей.

Список литературы

1. Patent 53/092 Improved composition to be used as a cement and as a plastic material for molding various articles / Sorel S. United States Patent Office. 1866. Paris, France.
2. Козлова В.К., Свит Т.Ф., Душевина А.М., Челышев А.С., Пименов А.Т. Комплексное использование доломитов Таензинского месторождения // *Строительные материалы*. 2004. № 1. С. 29–31.
3. Козлова В.К., Душевина А.М., Челышев А.С. Строительные материалы на основе доломита Таензинского месторождения. *Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций: Материалы III Международной научно-технической конференции*. Волгоград: ВолГАСА, 2003. Ч. 3. С. 108–110.
4. De Wolff P.M., Walter M.L. Hydratations prozesse und erhärtungs eigenschaften in systemen MgO-MgCl₂ // *Zement-Kalk-Gips*. 1953. No. 4, pp. 125–137.
5. Kasai J., Ichiba M., Nakanara M. Mechanism of the hydration of magnesia cement // *Journal of the Chemical Society of Japan*. 1956. Vol. 63. No. 7, pp. 1182–1184.
6. Vinnichenko V., Ryazanov A. Construction binders and environmental indicators of their production. *7th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings” (Transbud-2018)*. 2018. Vol. 230. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003020>
7. Vinnichenko V., Ryazanov A. Energy efficiency of binder application in concrete. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7 (4), pp. 335–338. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19828
8. Vinnichenko V., Ryazanov A. Ecological indices of manufacture of Portland cement clinker and production of the dolomite clinker. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 116. 01020. DOI: 10.1051/mateconf/201711601020
9. Бирюлева Д.К., Шелихов Н.С., Рахимов Р.З. О механизме твердения доломитового цемента. *Тезисы докладов III академических чтений «Актуальные проблемы строительного материаловедения»*. Саранск, 1997. 119 с.
10. Бирюлева Д.К., Шелихов Н.С., Рахимов Р.З. Доломитовый цемент, модифицированный силикатными добавками. *Тезисы докладов юбилейной Международной научно-практической конференции «Строительство 99»*. Ростов н/Д, 1999. 49 с.
11. Комлев П.Г., Иванов Л.К., Куркина И.Д. Разработка магнезиального вяжущего на основе доломита Мелеховского месторождения. *Утилизация отходов при производстве строительных материалов. Тезисы докладов*. Пенза, 1992.
12. Комлев В.Г., Иванов А.К. Магнезиальное вяжущее на основе доломита Мелеховского месторождения. *Ресурсосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций. Тезисы докладов*. Белгород, 1993. С. 53–54.

References

1. Patent 53/092 Improved composition to be used as a cement and as a plastic material for molding various articles / Sorel S. United States Patent Office. 1866. Paris, France.
2. Kozlova V.K., Sweet T.F., Dushevina A.M., Chelyshev A.S., Pimenov A.T. Complex use of Taenzinskoye deposit dolomites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 1, pp. 29–31. (In Russian).
3. Kozlova V.K., Dushevina A.M., Chelyshev A.S. Building materials based on Taenzinskoye dolomite. *Reliability and durability of building materials and structures: Materials of the III International Scientific and Technical Conference*. Volgograd: VolGASA, 2003. Part 3, pp. 108–110. (In Russian).
4. De Wolff P.M., Walter M.L. Hydratations prozesse und erhärtungs eigenschaften in systemen MgO-MgCl₂. *Zement-Kalk-Gips*. 1953. No. 4, pp. 125–137.
5. Kasai J., Ichiba M., Nakanara M. Mechanism of the hydration of magnesia cement. *Journal of the Chemical Society of Japan*. 1956. Vol. 63. No. 7, pp. 1182–1184.
6. Vinnichenko V., Ryazanov A. Construction binders and environmental indicators of their production. *7th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings” (Transbud-2018)*. 2018. Vol. 230. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003020>
7. Vinnichenko V., Ryazanov A. Energy efficiency of binder application in concrete. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7 (4), pp. 335–338. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19828
8. Vinnichenko V., Ryazanov A. Ecological indices of manufacture of Portland cement clinker and production of the dolomite clinker. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 116. 01020. DOI: 10.1051/mateconf/201711601020
9. Biryuleva D.K., Shelikhov N.S., Rakhimov R.Z. On the mechanism of hardening of dolomite cement. *Abstracts of III academic readings “Actual problems of building materials science”*. Saransk. 1997. 119 p. (In Russian).
10. Biryuleva D.K., Shelikhov N.S., Rakhimov R.Z. Dolomite cement modified with silicate additives. *Abstracts of the jubilee International Scientific and Practical Conference “Building 99”*. Rostov-on-Don. 1999. 49 p.
11. Komlev P.G., Ivanov L.K., Kurkina I.D. Development of a magnesian binder based on dolomite from the Melekhovskoye deposit. *Waste utilization in the production of building materials. Abstracts of reports*. Penza. 1992. (In Russian).
12. Komlev V.G., Ivanov A.K. Magnesian binder based on dolomite from the Melekhovskoye deposit. *Resource-saving technologies of building materials, products and structures. Abstracts of reports*. Belgorod. 1993, pp. 53–54. (In Russian).
13. Mazurancic C., Biliuski H., Matcovic B. Magnesium oxychloride cement obtained from partially calcined dolomite. *Journal of the American Ceramic Society*. 1982. Vol. 65. No. 10, pp. 523–526.

13. Mazuranic C., Biliuski H., Matcovic B. Magnesium oxychloride cement obtained from partially calcined dolomite. *Journal of the American Ceramic Society*. 1982. Vol. 65. No. 10, pp. 523–526.
14. Земля тривоги нашої. За матеріалами доповіді про стан навколишнього середовища в Донецькій області у 2004 р. Під редакцією С. Третьякова. Донецьк. ООО ЦЄПИ «ЄПИЦЕНТР ЛТД», 2005. С. 110–120.
15. Галецький Л.С., Науменко У.З., Пилипчук А.Д. Техногенні родовища – нове нетрадиційне джерело мінеральної сировини в Україні // *Екологія довкілля та забезпечення життєдіяльності*. 2002. № 5–6. С. 77–81.
16. Петрова Л.О. Вплив на навколишнє середовище відходів вуглевидобутку і вуглепереробки // *Геол. журнал*. Київ. 2002. № 2. С. 81–87.
17. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мchedlov-Петросян О.П. Термодинамика силикатов. М.: Госстройиздат, 1965. 352 с.
18. Глушко В.П. Термические константы веществ: Справочник в 10 выпусках. Вып. IV (C, Si, Ge, Sn, Pb). Ч. I. Таблицы принятых значений. М.: ВИНТИ, 1970. 510 с.
19. Ландия Н.А. Расчет высокотемпературных теплоемкостей твердых неорганических веществ по стандартной энтропии. Тбилиси, 1962. 224 с.
14. The land of our troubles. For materials additional information about the camp of the midwife in the Donetsk region in 2004. Edited by S. Tretyakov. Donetsk. LLC TsЄPI «ЄPITSEHTP LTD». 2005, pp. 110–120. (In Ukrainian).
15. Galetskiy L.S., Naumenko U.Z., Pilipchuk A.D. Technogenic ancestry - a new non-traditional dzhерelo mineral sirin in Ukraine. *Ecology of development and provision of life*. 2002. No. 5–6, pp. 77–81. (In Ukrainian).
16. Petrova L.O. The inflow to the navkolishne center of the entrance into the coalbutt and in the coal-crusher. *Geol. magazine*. Kiev. 2002. No. 2, pp. 81–87. (In Ukrainian).
17. Babushkin V.I., Matveev G.M., Mchedlov-Petrosyan O.P. Thermodynamics of silicates [Termodinamika silikatov]. Moscow: Gosstroyizdat. 1965. 352 p.
18. Glushko V.P. Termicheskiye konstanty veshchestv. Spravochnik v desyati vypuskakh. Vypusk IV (S, Si, Ge, Sn, Pb). Tablitsy prinyatykh znacheniy [Thermal constants of substances. A guide in ten editions. Issue IV (C, Si, Ge, Sn, Pb). Part I. Tables of accepted values]. Moscow: VINITI. 1970. 510 p.
19. Landia N.A. Raschet vysokotemperaturnykh teployemkostey tverdykh neorganicheskikh veshchestv po standartnoy entropii [Calculation of high-temperature heat capacities of solid inorganic substances by standard entropy]. Tbilisi. 1962. 224 p.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Книга «Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий»

Авторы – Балакшин Ю.З., Терехов В.А.

Описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Даны характеристики сырьевым материалам – песку, щебню, вяжущим и химическим добавкам и рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.



Книга «Технология гипсовых отделочных материалов и изделий»

Автор – Федулов А.А.

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

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



Заказать литературу можно через редакцию, направив заявку по e-mail: mail@rifsm.ru, по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36; или оформить заказ на сайте www.rifsm.ru

П.А. ФЕДОРОВ¹, канд. техн. наук (fpa_idpo@mail.ru), Е.В. ЛУЦЫК¹, канд. техн. наук (3505040@mail.ru), Т.В. ЛАТЫПОВА¹, канд. техн. наук (pavlenko_ufa@mail.ru), В.М. ЛАТЫПОВ¹, д-р техн. наук (stexpert@mail.ru), А.Р. АНВАРОВ¹, канд. техн. наук (anvarov@yandex.ru); В.П. ПОПОВ², д-р техн. наук (npc-ria@yandex.ru), Н.Г. ЧУМАЧЕНКО², д-р техн. наук (psmik@samgtu.ru)

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

² Самарский государственный технический университет (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244)

Долговечность бетона и железобетона в газовой среде предприятий нефтехимии и нефтепереработки

Газовая среда предприятий нефтехимии и нефтепереработки является агрессивной по отношению к бетону и железобетону. Одним из самых распространенных газов при этом является диоксид углерода повышенной концентрации, способный карбонизировать цементные материалы и изделия. Безремонтный период эксплуатации строительных конструкций из этих материалов не превышает 5–10 лет при нормируемом сроке не менее 25 лет. В работе рассматриваются особенности деструктивных процессов, протекающих при карбонизации, и описываются характерные повреждения на примере технологической этажерки, расположенной на территории нефтеперерабатывающего завода в г. Уфа. Анализ эксплуатационной среды поблизости данного завода показал, что концентрация углекислого газа может достигать в летний период 500–550 ppm, без учета пиковых выбросов. С целью оценки скорости карбонизации ремонтных составов проведены ускоренные испытания в условиях высокой концентрации углекислого газа. Уточнен механизм карбонизации ремонтных составов, скорость которых описывается законом «корня n-й степени от времени» с показателем n от 2,3 до 4,3. При действии статических и динамических нагрузок наиболее рационально применение ремонтных составов тиксотропного действия с наличием дисперсного армирования (фибры), которые дополнительно повышают трещиностойкость конструкции.

Ключевые слова: бетон, железобетон, долговечность, кислые газовые среды, карбонизация бетона, ремонтные составы, математические модели.

Для цитирования: Федоров П.А., Луцык Е.В., Латыпова Т.В., Латыпов В.М., Анваров А.Р., Попов В.П., Чумаченко Н.Г. Долговечность бетона в газовой среде предприятий нефтехимии и нефтепереработки // *Строительные материалы*. 2021. № 11. С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-16-22>

P.A. FEDOROV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (fpa_idpo@mail.ru), E.V. LUTSYK¹, Candidate of Sciences (Engineering) (3505040@mail.ru), T.V. LATYPOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (Pavlenko_ufa@mail.ru), V.M. LATYPOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (stexpert@mail.ru), A.R. ANVAROV¹, Candidate of Sciences (Engineering); V.P. POPOV², Doctor of Sciences (Engineering) (npc-ria@yandex.ru), N.G. CHUMACHENKO², Doctor of Sciences (Engineering) (psmik@samgtu.ru)

¹ Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov Street, Ufa, 450062, Russian Federation)

² Samara State Technical University (244, Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443100, Russian Federation)

Durability of Concrete and Reinforced Concrete in the Gas Environment of Petrochemicals and Refining

The gas environment of petrochemical and oil refining enterprises is aggressive towards concrete and reinforced concrete. One of the most common gases in this case is carbon dioxide of increased concentration, which can carbonize cement materials and products. The maintenance-free period of operation of building structures made of these materials does not exceed 5–10 years with a standardized period of at least 25 years. The paper examines the features of the destructive processes occurring during this process, and describes the typical damage on the example of a technological stack located on the territory of an oil refinery in Ufa. Analysis of the operating environment near this plant showed that the concentration of carbon dioxide can reach 500–550 ppm in summer, excluding peak emissions. In order to assess the rate of carbonization of repair compounds, accelerated tests were carried out in conditions of high concentration of carbon dioxide. The mechanism of carbonization of repair compounds has been specified, the rate of which is described by the law of the “root of the nth degree of time” with the index n from 2.3 to 4.3. Under the action of static and dynamic loads, it is most rational to use thixotropic repair compounds with the presence of dispersed reinforcement (fiber), which additionally increase the crack resistance of the structure.

Keywords: concrete, reinforced concrete, durability, acidic gases, concrete carbonation, repair compositions, mathematical models.

For citation: Fedorov P.A., Lutsyk E.V., Latypova T.V., Latypov V.M., Anvarov A.R., Popov V.P., Chumachenko N.G. Durability of concrete and reinforced concrete in the gas environment of petrochemicals and refining. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 11, pp. 16–22. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-16-22>

В настоящее время на предприятиях нефтехимии и нефтепереработки наибольший процент износа строительных конструкций из бетона и железобетона характерен для объектов 60–90-х гг. постройки прошлого века. Эти конструкции являются частью опасных производственных объектов, на которых в период эксплуатации происходят техногенные аварии, вызванные не только коррозией аппаратов и трубопроводов, но и коррозионным повреждением конструкций. Зачастую

безремонтный период эксплуатации последних в этих условиях не превышает 5–10 лет, тогда как в соответствии с ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» срок службы для объектов газовой и химической промышленности должен составлять не менее 25 лет. Известны случаи, когда отказы нескольких или даже одного элемента сооружения, накопленные в процессе длительного износа, приводили к цепному обрушению всего сооружения.

Одной из широко распространенных причин появления повреждений конструкций является коррозия бетона и железобетона при воздействии кислых газов [1–3]. Выбросы кислых газов в атмосферу на территории нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) происходят по следующим основным причинам: технологические нужды (любой НПЗ имеет специальные горелки для сжигания газов, постоянного или периодического действия); неконтролируемые выбросы вследствие нарушения герметичности аппаратов, установок или трубопроводов (основная причина – это коррозия металла); аварийные сбросы и др. В работе [4] указывается, что основными технологическими установками, способствующими выбросу этих газов, являются: установки для сжигания, выделяющие углекислый газ, диоксид серы, оксиды азота и твердые частицы; установки рафинирования с выделением диоксида серы, оксидов азота, оксида углерода, твердых частиц, летучих органических соединений, сероводорода, меркаптанов и других сернистых соединений; операции по хранению и обработке летучих органических соединений (различных углеводородов).

Одним из самых распространенных выбросов в атмосферу на НПЗ является углекислый газ CO_2 . Например, в работе [5] приводятся данные о том, что концентрация этого газа на прилегающих к НПЗ территориях (Аляска, США) превышает на 45 ppm фоновые значения. Результаты моделирования рассеивания концентрации CO_2 от источника выброса, по данным аэросъемки в районе заводов промышленной группы Smurfit Карра (Франция) [6], показывают, что разность между пиковой концентрацией в зоне источника и фоном может достигать до 200 ppm. Результаты съемки концентрации CO_2 , сделанные с помощью беспилотного летательного аппарата в районе завода по переработке природного газа ExxonMobil (Гросенкнетен, Германия), приведенные в работе [7], показывают, что концентрация CO_2 непостоянная, а пиковые значения на непродолжительное время с подветренной стороны могут достигать 800 ppm при фоновом значении около 420 ppm.

Воздействие CO_2 на железобетон происходит путем карбонизации бетонного конгломерата. Карбонизация – это физико-химический процесс нейтрализации гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и других гидратированных соединений цементной матрицы углекислым газом [8]. В работе [9] под термином «карбонизация» понимается также процесс диффузии CO_2 и ионов CO_3^{2-} , т. е. перенос вещества вдоль градиента концентрации с последующим взаимодействием с компонентами цементного камня бетона. Основным продуктом карбонизации является карбонат кальция CaCO_3 . Практически все составы бетона на основе цемента подвергаются этому процессу в течение своего срока службы из-за присутствия углекислого газа в атмосфере Земли [10]. Добавки, такие как поташ или бетонный лом, могут быть дополнительными источниками CO_2 и способствовать карбонизации цементного камня [11, 12].

При карбонизации бетона происходит изменение водородного показателя поровой жидкости с $\text{pH} \approx 12$ до $\text{pH} \approx 9$ на уровне фронта. При понижении pH в зоне расположения стальной арматуры и попадании агрессивных источников (хлориды, вода, кислород) происходит коррозия стали и последующее растрескивание защитного слоя бетона.

Коррозионные процессы в железобетоне протекают более интенсивно при повышенной концентрации CO_2 , а также при переменных температурно-влажностных условиях эксплуатации [2]. В работе [13] отмечается, что защитный слой должен обладать на всех участках примерно одинаковой плотностью (что достигается технологическими операциями и рациональным подбором сырьевых материалов), а также обеспечивать активную (в определенной период времени) и потенциальную (способность сохранять или восстанавливать щелочность под влиянием внешней среды) щелочность поровой жидкости. За период эксплуатации плотность и щелочность защитного слоя меняются. Это связано как с деградационными процессами вследствие действия агрессивной среды, так и с применением ремонтно-восстановительных составов более плотной структуры, создающих локальные участки, более стойкие к карбонизации.

Дополнительное ускорение карбонизации происходит за счет имеющихся дефектов и повреждений конструкций, полученных при строительстве и эксплуатации, а также при наличии разных типов трещин [13–15], вызванных как дефектами и повреждениями, так и действием динамической нагрузки от аппаратов и трубопроводов.

Долговечность железобетона описывается двумя периодами [16]: периодом нейтрализации (в нашем случае период карбонизации) защитного слоя бетона; периодом повреждения – время от начала депассивации и коррозии стальной арматуры до разрушения конструкции. В работе [17] предложено рассматривать деструктивный процесс с разбивкой на периоды депассивации арматуры, образования трещин, скалывания защитного слоя и обрушения конструкции. Исходя из этого очевидно, что проницаемость и толщина защитного слоя остаются диктующими параметрами в обеспечении требуемой долговечности железобетона.

Для достижения проектного срока службы необходимо применять меры первичной или вторичной защиты. В атмосферных условиях НПЗ для обеспечения долговечности стальных конструкций практически невозможно отказаться от мер их вторичной защиты; в свою очередь, для железобетонных конструкций имеет большое значение увеличение собственной стойкости бетона либо толщины защитного слоя. Для рядовых и плотных бетонов прогнозирование скорости карбонизации бетона остается ключевым параметром для обоснования требуемой толщины защитного слоя и, следовательно, обеспечения проектной долговечности. Применение бетонов особо низкой проницаемости, которые практи-

чески не карбонизируются, требует технико-экономического обоснования.

Процесс коррозии бетона при воздействии агрессивных кислотных газов зависит от многих факторов, таких как концентрация газа, характеристики капиллярно-пористой структуры, массоперенос газа в воздухе или в жидкости и др.

В общем виде этот процесс описывается вторым законом Фика:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{eff} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + R(C), \quad (1)$$

где C – концентрация агрессивного газа; x – глубина проникновения; D_{eff} – эффективный коэффициент диффузии газа в капиллярно-пористом теле; $R(C)$ – прочие факторы, влияющие на процесс карбонизации.

В работе [18] предложено процесс коррозии бетона в газовой среде описывать математической моделью, состоящей из семи дифференциальных уравнений. Эти уравнения описывают элементарные составляющие сложного физико-химического процесса, такие как массоперенос газа, растворение части гидроксида кальция в углекислоте, накопление осадка карбоната кальция и др.

В настоящее время существует две концепции решения уравнения (1). Первая концепция (традиционная) – в виде «корня квадратного от времени» [1, 2, 18–22]:

$$x_c = A\sqrt{t}, \quad (2)$$

где x_c – глубина карбонизации; A – эмпирический коэффициент; t – время.

Одним из вариантов описания эмпирического коэффициента A является модель, приведенная в работе [1] и внесенная в нормативный документ ГОСТ Р 52804–2007 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний» в виде:

$$A = \sqrt{\frac{2 \cdot D_{эф} \cdot C_s}{m_0}}, \quad (3)$$

где $D_{эф}$ – эффективный коэффициент диффузии CO_2 в бетоне, $см^2/с$; C_s – концентрация CO_2 , $кг/м^3$; m_0 – реакционная емкость цементного камня, $кг/м^3$.

Вторая концепция решения уравнения (1) описывается выражением с «корнем в n -й степени от времени» [23–27]:

$$x_c = A_n \sqrt[n]{t}, \quad (4)$$

где A_n – первый эмпирический коэффициент; n – второй эмпирический коэффициент.

Как правило, первый эмпирический коэффициент учитывает концентрацию газа, реакционную емкость цементной матрицы и эффективный коэффициент диффузии газа в бетоне. Второй эмпирический коэффициент зависит от плотности бетона, описываемой водоцементным отношением [25]. Автор работы [10] считает, что уравнение (2) для скорости карбонизации бетона характерно для традиционных цементных бетонов, а уравнение (4) – для модифи-

цированных. Примером математической модели, описанной в работе [26] и полученной для бетонов с повышенным содержанием золы-уноса, является выражение вида:

$$x_c = 839(1-RH)^{1,1} \cdot \sqrt{\frac{W/C-0,34}{\alpha \cdot k' \cdot C}} \cdot C_s \cdot \sqrt[n]{t}, \quad (5)$$

где RH – эксплуатационная влажность; W/C – водоцементное отношение; α – степень гидратации; k' – коэффициент, зависящий от реакционной емкости цементной матрицы; C – расход цемента; C_s – концентрация CO_2 ; n – эмпирический коэффициент, изменяющийся от 2 до 2,1.

Результаты исследований [23, 25] показывают, что традиционные цементные бетоны карбонизируются по степенному закону, где коэффициент n в среднем может меняться от 1,95 и менее до 2,5 и более. Необходимо отметить, что если для цементных бетонов имеются обширные результаты исследований по карбонизации, то для модифицированных бетонов имеются лишь единичные публикации.

Из-за сложности процесса карбонизации и изменчивости окружающих условий в настоящее время определить скорость этого процесса можно лишь приблизительно. Одним из наиболее предпочтительных вариантов является использование вероятностного подхода путем моделирования множества сценариев развития фронта карбонизации с учетом модели вида (2) и (4) в зависимости от типа бетона [19, 28]. Результатом анализа этих сценариев является определение случаев наступления окончания периода нейтрализации бетона и начала депассивации арматуры.

В связи с изложенным исследованием в области оценки стойкости бетонов и ремонтных составов, определение их характеристик, влияющих на скорость карбонизации, а также разработка методов прогнозирования долговечности бетона и железобетона в условиях газовой среды нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий являются актуальным направлением в строительном материаловедении.

Прикладной целью данного исследования является разработка эффективных мероприятий для ремонта технологической этажерки на территории НПЗ в г. Уфа, подверженной воздействию высоких концентраций CO_2 . Эта этажерка (рис. 1, а) представляет собой комбинированную конструкцию, состоящую из монолитного железобетонного постаментов и металлического каркаса. Постамент включает в себя четыре рамы, жестко заделанные в фундамент и связанные между собой балочным перекрытием. На постаменте располагается технологическое оборудование, способное вызывать статические и динамические нагрузки, а следовательно, трещинообразование в железобетоне. Толщина защитного слоя конструкций в среднем составляла 30 мм.

Основными причинами, вызывающими повреждение железобетона этажерки по СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии» являются: ХС4 – карбонизация наружных конструкций

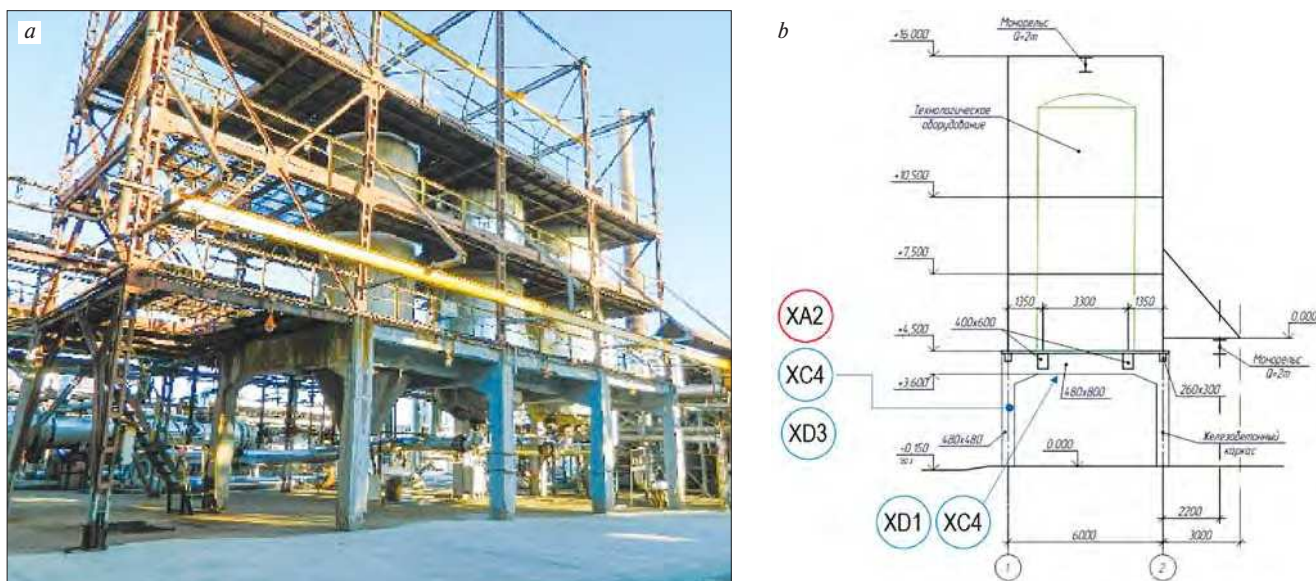


Рис. 1. Технологическая этажерка: *a* – общий вид этажерки; *b* – разрез с индексацией условий агрессивной среды для бетона и железобетона по СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии»

Fig. 1. Technological stand: *a* – general view of the stand; *b* – section with indexing the conditions of an aggressive environment for concrete and reinforced concrete according to SP 28.13330.2017 «Protection of building structures from corrosion»

при переменном высушивании и увлажнении; XD1 и XD3 – коррозия вследствие действия аэрозолей солей хлоридов и жидкостей, содержащих хлориды (технологические проливы), при умеренной влажности и попеременном высушивании и увлажнении; XA2 – коррозия бетона вследствие умеренного воздействия, вызванного периодическими проливами химических реагентов.

Результаты ранее проведенного технического осмотра железобетонного постаментов показали наличие повреждений (рис. 2): разрушение защитного слоя бетона с оголением арматуры и коррозии арматуры. Класс бетона на сжатие соответствует В25, водопоглощение образцов кернов составило 4,1%. Техническое состояние конструкций согласно ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» оценивается как ограниченно работоспособное.

Из рис. 2 видно наличие продольных трещин вдоль расположения арматуры и зоны с оголением арматуры. Это свидетельствует о сплошной карбонизации защитного слоя и исчерпанию мер первичной защиты (снижение pH с 12 до 8). Меры вторичной защиты для постаментов этажерки не были рассмотрены.

Материалы и методики

Экспериментальная часть исследования включала оценку эксплуатационной среды в районе этажерки, выбор ремонтных составов, проведение ускоренных испытаний на карбонизацию этих составов и сравнительный анализ полученных результатов.

Оценка эксплуатационной среды осуществлялась путем замера концентрации CO_2 и относительной влажности на территории, прилегающей к НПЗ.

Измерение осуществлялось в летний период с помощью монитор-детектора углекислого газа (газоанализатора) XIST HT-2000. Точки измерения выбирались исходя из максимальной близости к факельной установке как основному источнику выброса CO_2 .

Для исследования были приняты следующие материалы: тип 1 – мелкозернистый бетон класса В25 с маркой по водонепроницаемости W8, что соответствует требованиям СП 28.13330.2017 (традиционный состав для ремонта наливного действия); тип 2 – расширяющийся цемент «MasterEmaco A 640» (наливного действия); тип 3 – ремонтная смесь «Maregraund Thixotropic» с полимерной фиброй (тиксотропного действия); тип 4 – ремонтно-гидроизоляционный состав ЦМИД-3 (тиксотропного действия); тип 5 – ремонтная сухая смесь тиксотропного типа «MasterEmaco S 5400», включающая дисперсное армирование фиброй (тиксотропного действия).

В качестве вяжущего для бетона применялся цемент марки ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б (производство «Катавский цемент»); мелкий заполнитель – речной намывной кварцевый песок с модулем крупности $M_{кр}=2,375$ (п. Кабаково, г. Уфа); крупный заполнитель – щебень фракции 5 мм (г. Миньяр). Состав Ц:З=477:1561 кг/м^3 .

Стойкость к карбонизации составов исследовалась ускоренным методом по ГОСТ 31383–2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии» при следующих условиях: концентрация CO_2 – 5% по объему; температура газовой среды – 20°C ; относительная влажность – 75%. Для испытания были приняты образцы $40 \times 40 \times 160$ мм. Выдержка образцов составила до 95 сут. Определение карбонизированного слоя осуществлялось с помощью индикатора – 0,1%-го раствора фенолфталеина. Измерение карбонизированного слоя фиксирова-

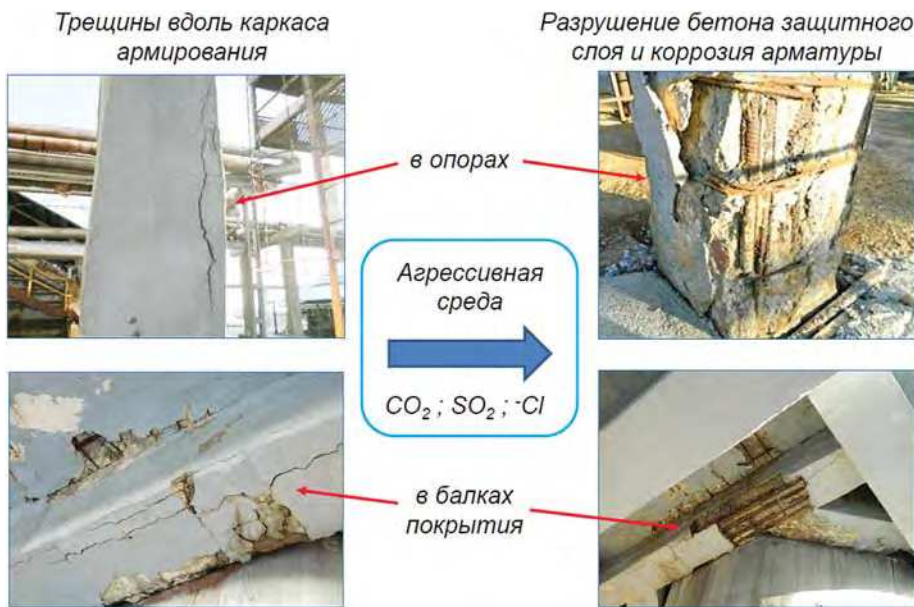


Рис. 2. Характерные типы разрушения железобетона с оголением и коррозией арматуры
Fig. 2. Typical types of destruction of reinforced concrete with exposure and corrosion of reinforcement

Физико-механические характеристики принятых составов
Physical and mechanical characteristics of the accepted compositions

Тип состава	Водоцементное отношение или отношение воды к сухому компоненту	Прочность в 28 сут, МПа	Марка по водонепроницаемости	Водопоглощение, %
1	0,45	36	W8	4
2	0,32	55	W10	3.1
3	0,21	60	W16	2.8
4	0,15	56	W16	1,5–2,5
5	0,17	62	W16	1,5–2,5

лось по фотоснимку, полученному с помощью цифрового микроскопа с увеличением $\times 500$.

Для оценки качества ремонтных составов приняты следующие критерии: прочность при сжатии в 28 сут, определяемая ударно-импульсным методом; марка по водонепроницаемости, определяемая экспресс-методом; марка по воздухопроницаемости и водопоглощению.

Результаты исследований и дискуссия

Проведенные замеры на прилегающей к НПЗ территории показали, что концентрация CO_2 составляет здесь 500–550 ppm (900–950 мг/м³); при этом характерная для города Уфы концентрация составляет 450 ppm (810 мг/м³), а относительная влажность 76%. В этих условиях газовая среда НПЗ с учетом наличия других агрессивных газов по СП 28.13330.2017 относится к среднеагрессивной.

Результаты исследований физико-механических свойств затвердевших образцов приведены в таблице.

Полученные физико-механические характеристики образцов не ниже, чем в ранее используемом бетоне класса В25. При этом состав типа 1 относится к плотным бетонам, типа 2 – к бетонам низкой проницаемости, а типы 3–5 – к бетонам особо низкой проницаемости.

Кинетика карбонизации исследуемых составов приведена на рис. 3. Относительная глубина карбонизации по отношению к традиционному составу (тип 1) приведена на рис. 4.

Из рис. 3 и 4 видно, что бетоны всех типов показали в целом высокую стойкость к карбонизации. При этом типы 3–5 – особо низкой проницаемости практически не карбонизируются, так как при соотношении к бетону класса В25 значение относительной карбонизации лишь 0,09–0,15 после 63 сут выдержки.

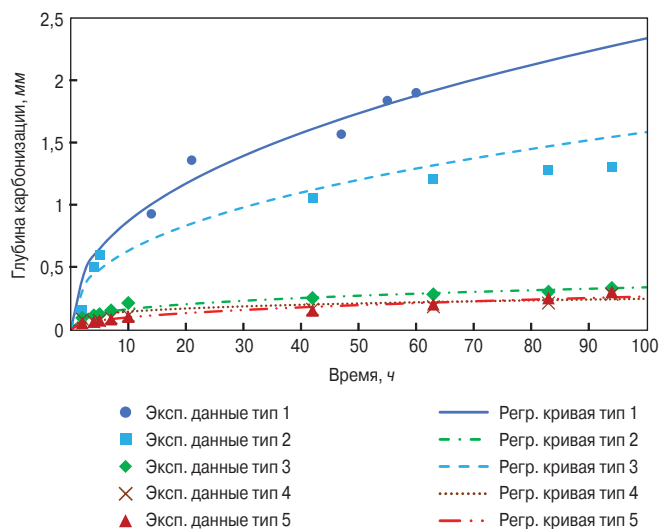


Рис. 3. Результаты исследования стойкости ремонтных составов в условиях 5%-й концентрации CO_2
Fig. 3. Results of the study of the durability of repair compounds in conditions of 5% CO_2 concentration

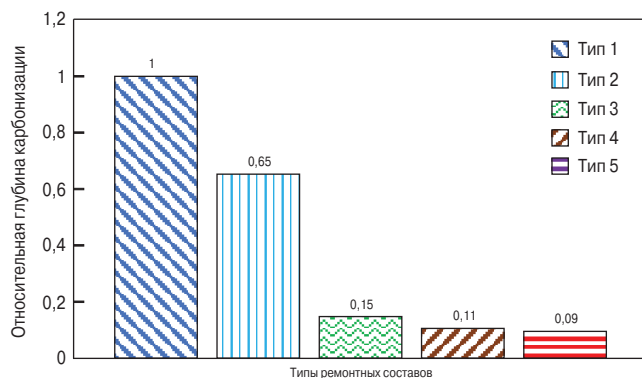


Рис. 4. Относительная глубина карбонизации по отношению к традиционному составу
Fig. 4. The relative depth of carbonation in relation to the traditional composition

Развитие карбонизации ремонтных составов происходит по степенной кривой, т. е. по модели вида (4). При этом показатель корня n следующий: для типа 1 – $n=2,3$; для типа 2 – $n=2,5$; для типа 3 – $n=3,1$; для типа 4 – $n=4,2$; для типа 5 – $n=4,3$.

При выборе ремонтного состава необходимо учитывать, что в период эксплуатации возможно незначительное раскрытие трещин, особенно клиновидной формы. В результате стенки этих трещин могут карбонизироваться из-за присутствия паров воды и других газов, изменяя локальную зону щелочности возле арматуры. При высокой прочности при сжатии ремонтного состава, а также наличии фибры раскрытие трещин от статических и динамических нагрузок будет практически отсутствовать, что повысит долговечность железобетона.

Одним из наиболее рациональных вариантов ремонта является полное удаление поврежденного защитного слоя и восстановление его целостности с помощью ремонтных составов. Эти работы, как правило, проходят в три цикла. Подготовительный цикл включает зачистку оголенных участков арматуры, удаление отслаивающегося бетона, очистку поверхности от пыли и продуктов коррозии. Основной цикл включает восстановление защитного слоя конструкций ремонтным материалом: приготовление ремонтного состава, нанесение его на поверхность и выдержку. Заключительный цикл должен включать проверку качества выполненного ремонта.

Выводы

1. Долговечность бетона и железобетона в условиях воздействия агрессивной газовой среды нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий зависит от концентрации кислых газов в атмосфере, а также плотности бетона. При выборе ремонтных составов необходимо проводить соответствующие исследования их стойкости в агрессивных средах, особенно для новых видов бетона и ремонтных составов.

2. Кинетика карбонизации ремонтных составов низкой и особо низкой проницаемости описывается степенной кривой с показателем корня от времени $n=2,3-4,3$.

3. При действии статических и динамических нагрузок наиболее рациональными ремонтными составами являются составы тиксотропного действия с наличием дисперсного армирования (фибры).

Список литературы / References

1. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976. 205 с.
1. Alekseev S.N., Rozental' N.K. Korrozionnaya stoikost' zhelezobetonnykh konstruksii v aggressivnoi promyshlennoi srede [Corrosion resistance of reinforced concrete structures in an aggressive industrial environment]. Moscow: Stroyizdat. 1976. 205 p.
2. Полак А.Ф. Моделирование коррозии железобетона и прогнозирование его долговечности // *Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии*. 1986. Т. XI. С. 136–180.
2. Polak A.F. Reinforced concrete corrosion modeling and prediction of its durability. *Results of Science and Technology. Corrosion and corrosion protection*. 1986. Vol. XI, pp. 136–180. (In Russian).
3. 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.
3. Latypov V.M., Latypova T.V., Lutsyk E.V., Fedorov P.A. Dolgovechnost' betona i zhelezobetona v prirodnykh aggressivnykh sredakh [Durability of concrete and reinforced concrete in aggressive natural environments]. Ufa: RIC UGNTU. 2014. 288 p.
4. Speight J.G. Petroleum refining and environmental control and environmental effects. *Fossil Energy: selected entries from the encyclopedia of sustainability science and technology*. New York. 2013, pp. 61–97. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3>
5. Brooks S.B., Crawford T.L., Oechel W.C. Measurement of carbon dioxide emissions plumes from prudhoe bay, alaska oil fields. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 1997. Vol. 27. No. 2, pp. 197–207. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005890318796>
6. Carotenuto F., Gualtieri G., Miglietta F., Riccio A., Toscano P., Wohlfahrt G., Gioli B. Industrial point source CO₂ emission strength estimation with aircraft measurements and dispersion modeling. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018. Vol. 190. No. 3. pp. 165. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005890318796>
7. Reuter M., Bovensmann H., Buchwitz M., Borchardt J., Krautwurst S., Gerilowski K., Lindauer M., Kubistin D., Burrows J.P. Development of a small unmanned aircraft system to derive CO₂ emissions of anthropogenic point sources. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2021. Vol. 14. No. 1, pp. 153–172. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-14-153-2021>
8. Possan E., Thomaz W.A., Aleandri G.A., Felix E.F., Santos A.C.P. dos CO₂ uptake potential due to concrete carbonation: A case study. *Case Studies in Construction Materials*. 2017. Vol. 6, pp. 147–161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.01.007>
9. Лагерблад Б. Механизм карбонизации // *Цемент и его применение*. 2014. № 1. С. 177–181.
9. Lagerblad B. Mechanism of carbonation. *Tsement i ego primenenie*. 2014. No. 1, pp. 177–181. (In Russian)
10. Ashraf W. Carbonation of cement-based materials: Challenges and opportunities. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 120, pp. 558–570. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.080>
11. Silva R.V., Neves R., Brito J. de, Dhir R.K. Carbonation behaviour of recycled aggregate

- concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2015. Vol. 62, pp. 22–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.04.017>
12. Hunkeler F. Corrosion in reinforced concrete: processes and mechanisms. *Corrosion in Reinforced Concrete Structures*. 2005, pp. 1–45. DOI: <https://doi.org/10.1533/9781845690434.1>
 13. Полак А.Ф., Гельфман Г.Н., Яковлев В.В. Антикоррозионная защита строительных конструкций на химических и нефтехимических предприятиях. Уфа: Башкирское книжное издательство, 1980. 80 с.
 13. Polak A.F., Gel'fman G.N., Yakovlev V.V. Antikorrozionnaya zashchita stroitel'nykh konstruksii nakhimicheskikh i neftekhimicheskikh predpriyatiyakh [Corrosion protection of building structures in chemical and petrochemical plants]. Ufa: Bashkir Book Publishing House. 1980. 80 p.
 14. Новгородский В.И. Основы долговечности железобетонных конструкций. М.: Издательство «Спутник+», 2015. 362 с.
 14. Novgorodskii V.I. Osnovy dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruksii [Fundamentals of the durability of reinforced concrete structures]. Moscow: Publishing house «Sputnik +». 2015. 362 p.
 15. Гильмутдинов Т.З., Федоров П.А. Влияние трещин на кинетику карбонизации бетона // *Строительные материалы*. 2016. № 10. С. 63–66.
 15. Gil'mutdinov T.Z., Fedorov P.A. Influence of cracks on the kinetics of concrete carbonization. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 10, pp. 63–66. (In Russian).
 16. Tuutti K. Corrosion of steel in concrete. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute. 1982. 472 p.
 17. Helland S. Design for service life: Implementation of FIB Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204. *Structural Concrete*. 2013. Vol. 14. No. 1, pp. 10–18. DOI: <https://doi.org/10.1002/suco.201200021>
 18. Гусев В.В., Файвусович А.С., Степанова В.Ф., Розенталь Н.К. Математические модели процессов коррозии бетона. М.: Информационно-издательский центр «ТИМР», 1996. 104 с.
 18. Gusev V.V., Faivusovich A.S., Stepanova V.F., Rozental' N.K. Matematicheskie modeli protsessov korrozii betona [Mathematical models of concrete corrosion processes]. Moscow: Information and Publishing Center «TIMR». 1996. 104 p.
 19. Schissel P., Gehlen C., Kapteina G. Assessment and service life updating of existing tunnels. *Proceedings of the Hazards in tunnels, Structural Integrity» presented at the 1st International Symposium “Safe & Reliable Tunnels, Innovative European Achievements”*. Prague, Czech Republic. 2004, pp. 189–198.
 20. Шалый Е.Е., Леонович С.Н., Ким Л.В. Дegradaция железобетонных конструкций морских сооружений от совместного воздействия карбонизации и хлоридной агрессии // *Строительные материалы*. 2019. № 5. С. 67–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-770-5-67-72>
 20. Shalyi E.E., Leonovich S.N., Kim L.V. Degradation of reinforced concrete structures of marine works from the combined impact of carbonation and chloride aggression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 5, pp. 67–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-770-5-67-72>
 21. Papadakis V.G. Estimation of concrete service life—the theoretical background. Patras, Greece: Patras Science Park SA. 2005. 130 p.
 22. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. М.: ФГУП ЦПП, 2006. 520 с.
 22. Rozental' N.K. Korrozionnaya stoikost' tsementnykh betonov nizkoi i osobo nizkoi pronitsaemosti [Corrosion resistance of low and very low permeability cement concretes]. Moscow: FGUP TsPP. 2006. 520 p.
 23. Parrott P.J. Design for avoiding damage due to carbonation-induced corrosion. *ACISP-145 International Conference Durability of Concrete*. Detroit. 1994, pp. 283–298.
 24. Анваров А.Р., Латыпова Т.В., Латыпов В.М. Обеспечение долговечности железобетона в обычных условиях эксплуатации // *ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси*. 2008. № 2. С. 52–57.
 24. Anvarov A.R., Latypova T.V., Latypov V.M. Ensuring the durability of reinforced concrete under normal operating conditions. *ALITinform: Tsement. Beton. Sukhie smesi*. 2008. No. 2, pp. 52–57. (In Russian).
 25. Федоров П.А., Анваров А.Р., Лутык Е.В., Латыпов В.М., Латыпова Т.В. Кинетика тонкого бетона в условиях влажной эксплуатации. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. Vol. 11. No. 11, pp. 7439–7445.
 26. Jiang L., Lin B., Cai Y. A model for predicting carbonation of high-volume fly ash concrete. *Cement and Concrete Research*. 2000. Vol. 30, pp. 699–702. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00227-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00227-1)
 27. Carević V., Ignjatović I., Dragaš J. Model for practical carbonation depth prediction for high volume fly ash concrete and recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 213, pp. 194–208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.267>
 28. Федоров П.А., Абдуллин М.М., Абдуллин В.М., Нигматуллин Э.И. Вероятность безотказной работы надводной части нефтедобывающих железобетонных морских стационарных платформ гравитационного типа // *Нефтегазовое дело*. 2019. Т. 17. № 2. С. 111–120. DOI: <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2019-2-111-120>
 28. Fedorov P.A., Abdullin M.M., Abdullin V.M., Nigmatullin E.I. Probability of failure-free operation of the above-water part of oil-producing reinforced concrete offshore fixed platforms of gravity type. *Neftegazovoe delo*. 2019. Vol. 17. No. 2, pp. 111–120. DOI: <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2019-2-111-120> (In Russian).

Л.Р. ЗАЙЦЕВА¹, инженер (аспирант) (01021111@mail.ru), Е.В. ЛУЦЫК¹, канд. техн. наук (3505040@mail.ru), Т.В. ЛАТЫПОВА¹, канд. техн. наук (pavlenko_ufa@mail.ru), В.М. ЛАТЫПОВ¹, д-р техн. наук (stexpert@mail.ru), П.А. ФЕДОРОВ¹, канд. техн. наук (fpa_idpo@mail.ru); В.П. ПОПОВ², д-р техн. наук (npc-ria@yandex.ru)

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

² Самарский государственный технический университет (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244)

Влияние вида заполнителя из отходов производств на коррозионную стойкость бетона

Устойчивое современное строительство подразумевает поддержание здоровой экономики и рациональное использование ресурсов. В представленной работе проведены исследования по получению бетонов повышенной коррозионной стойкости. Для этого были использованы отходы производств нерудной промышленности при добыче щебня – отсевы дробления, отходы строительного производства – бетонный лом, а также отходы минераловатного производства – «корольки». Проведенные экспериментальные исследования составов бетонов свидетельствуют о том, что при планируемом воздействии на конструкции сульфатных сред эффективно применение в качестве заполнителя отходов минераловатного производства; при планируемом воздействии на конструкцию сульфатно-магнезиальных сред эффективно применение заполнителя на основе бетонного лома. Разработанные составы бетона с применением отсевов дробления фракции 0–5 мм могут быть рекомендованы для широкого использования отходов добычи нерудного сырья, рационального использования ресурсов и получения бетонов высокого качества. Применение добавок на основе поликарбоксилатов позволяет получать бетоны с сокращением расхода цемента в смеси на 10–20% и сокращением режима ТВО в два раза. При этом для получения бетонов с высокой долговечностью важно применение чистых мытых песков с содержанием пылевидных и глинистых частиц не более 1%.

Ключевые слова: бетон, отходы производств, отсевы дробления, бетонный лом, коррозионная стойкость бетона.

Для цитирования: Зайцева Л.Р., Луцык Е.В., Латыпова Т.В., Латыпов В.М., Федоров П.А., Попов В.П. Влияние вида заполнителя из отходов производств на коррозионную стойкость бетона // *Строительные материалы*. 2021. № 11. С. 23–29.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-23-29>

L.R. ZAITSEVA¹, Engineer (graduate student) (01021111@mail.ru), E.V. LUTSYK¹, Candidate of Sciences (Engineering) (3505040@mail.ru), T.V. LATYPOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (pavlenko_ufa@mail.ru), V.M. LATYPOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (stexpert@mail.ru), P.A. FEDOROV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (fpa_idpo@mail.ru); V.P. POPOV², Doctor of Sciences (Engineering) (npc-ria@yandex.ru)

¹ Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov Street, Ufa, 450062, Russian Federation)

² Samara State Technical University (244, Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443100, Russian Federation)

Influence of the Type of Filler from Production Waste on the Corrosion Resistance of Concrete

Sustainable modern construction implies maintaining a healthy economy and rational use of resources. In the work presented, studies have been carried out to obtain concretes of increased corrosion resistance. For this purpose, waste products of the non-metallic industry were used in the extraction of crushed stone - crushing screenings, construction waste - concrete scrap, as well as waste of mineral wool production - "beads". The conducted experimental studies of concrete compositions indicate that: with the planned impact of sulfate media on the structures, the use of mineral wool production waste as a filler is effective; with the planned impact of sulfate-magnesia media on the structure, the use of the filler based on concrete scrap is effective. The concrete compositions developed with the use of crushing screenings of a fraction of 0–5 mm can be recommended for the widespread use of non-metallic raw material extraction waste, rational use of resources and the production of high-quality concrete. The use of additives based on polycarboxylates makes it possible to obtain concretes with a reduction in cement consumption in the mixture by 10–20% and a reduction in the heat-humidity treatment regime by 2 times. At the same time, to obtain concretes with high durability, it is important to use clean washed sands with a content of pulverized and clay particles of no more than 1%.

Keywords: concrete, production waste, crushing screenings, concrete scrap, corrosion resistance of concrete.

For citation: Zaitseva L.R., Lutsyk E.V., Latypova T.V., Latypov V.M., Fedorov P.A., Popov V.P. Influence of the type of filler from production waste on the corrosion resistance of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 11, pp. 23–29. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-23-29>

На кафедре «Строительные конструкции» АСИ УГНТУ с периода ее создания и по настоящее время традиционно проводятся исследования в области структурообразования бетона и повышения долговечности бетона и железобетона. Это было обусловлено в первую очередь кругом научных интересов основателя кафедры – Полака Алексея Филипповича, доктора технических наук, профессора, лауреата Государственной премии СССР, а также актуальными потребностями строительной отрасли. Данная статья в определенной степени посвящена продолжению исследований по обоим этим направлениям.

Современные условия строительства и новые сложные технические задачи формируют требования, которым должен отвечать современный бетон.

Промышленность строительной отрасли является одной из самых ресурсоемких, поэтому основные направления развития устойчивого строительства в этой области связаны с необходимостью решения следующих задач:

- поддержка здоровой экономики;
- оптимальное использование невозобновляемых ресурсов;
- сохранение окружающей среды;
- минимизация ущерба биологическому разнообразию [1].

Коррозия различных видов является основной причиной деструктивных процессов, протекающих в бетоне. Экспертизы по оценке состояния разрушающихся конструкций и восстановление конструкций являются дорогостоящими мероприятиями. Поэтому важным аспектом проектирования долговечных железобетонных конструкций является рациональное проектирование состава бетона.

Повышение коррозионной стойкости бетона в условиях планируемых агрессивных воздействий возможно путем подбора состава несколькими способами, а именно:

- получение более плотной структуры бетона. Повышение коррозионной стойкости при этом происходит за счет замедления проникновения агрессивных веществ в тело бетона;

- получение более плотной контактной зоны цементной матрицы с заполнителем. Повышение коррозионной стойкости в этом случае происходит за счет уменьшения проницаемости самой слабой зоны в конгломерате – контактной зоны.

Минимизация ущерба для окружающей среды возможна за счет внедрения современных технологий, позволяющих:

- уменьшать содержание портландцемента в бетоне;
- использовать отходы добычи рудного сырья;
- использовать отходы добычи нерудного сырья;
- использовать строительные отходы.

Известно, что до 7% выбросов углекислого газа в окружающую среду приходится на производство цемента. Снижению количества выбросов способствует модернизация предприятий по производству цемента,

а также уменьшение количества цемента в составе бетона за счет введения минеральных добавок (микрокремнезема, золы-уноса, каменной муки) и химических добавок (поликарбоксилатов, полиакрилатов).

В России за год более 90 млн м³ разработанных горных массивов остаются в отвалах, которые занимают порядка 1000 га [2]. Также отсеы дробления и каменная мука образуются на асфальтобетонных заводах при дроблении щебня на необходимые фракции. По статистическим данным, объем производства заполнителей в России составляет 508,9 млн м³, в том числе 223,9 млн м³ гравийно-щебеночного заполнителя и 244,2 млн м³ песка. Общий разведанный запас камня для Европейского региона России оценивается в 15,7 млрд м³ [3]. Эти цифры свидетельствуют о том, что запасы заполнителей конечны. Для увеличения процента использования природных ресурсов важно разрабатывать составы бетона с применением отсеков дробления в качестве заполнителя бетона, а каменной муки – в качестве наполнителя для получения многокомпонентных самоуплотняющихся бетонов [4]. Это становится все более актуальным в связи с тем, что месторождения сырья вблизи крупных городов исчерпывают свои ресурсы.

Города развиваются, сносятся старые застройки, на их месте возводятся новые современные комплексы. Снос старых построек приводит к образованию строительных отходов – бетонного лома; в настоящее время в России количество данного вида отхода составляет около 6 млн т в год. В ближайшие десятилетия, когда дома панельного домостроения, построенные в 60-е гг. XX в., будут выводиться из эксплуатации, количество строительных отходов по всей стране

Таблица 1
Table 1

Результаты испытаний мелкозернистого бетона с разным содержанием пылевидных и глинистых частиц в песке
Test results fine grain concrete with different content of dust and clay particles in the sand

Показатели	Состав с высоким содержанием пылевидных и глинистых частиц в песке	Состав с низким содержанием пылевидных и глинистых частиц в песке
Цемент	ЦЕМ IIA-Ш 42,5 Н, г. Стерлитамак	ЦЕМ IIA-Ш 42,5 Н, г. Стерлитамак
Содержание ПИГ в песке, %	2,8	0,7
Добавка поликарбоксилата, %	MasterGlenium 591 1%	MasterGlenium 591 1%
Водоцементное отношение	0,5	0,45
Осадка конуса, см	16	23
Плотность бетона, кг/м ³	2000	2251
R _{сж} 28 сут, МПа	35,38	51,85
R _{изг} 28 сут, МПа	2,7	6,43
Глубина карбонизации образцов 40×40×160 мм при воздействии углекислого газа в установке с поддержанием заданной концентрации 2% в течение 45 дней, мм	Образец полностью карбонизирован 	2,13 

будет увеличиваться. Мировой опыт показывает интерес ученых Индии, Японии, США, Бразилии, России к бетонному лому как к заполнителю в бетон [5–13].

С учетом вышеизложенного приоритетными в этой области являются исследования с целью решения следующих задач: разработка составов бетона с использованием отходов промышленности различных отраслей для уменьшения нагрузки на окружающую среду; уменьшение содержания цемента в смеси и получение бетонов с повышенной коррозионной стойкостью.

На основании этих данных были проведены исследования по двум блокам. Первый блок включает исследования по оценке возможности снижения количества цемента в бетонной смеси на местном сырье за счет введения добавок на основе поликарбоксилатов.

Литературные данные свидетельствуют о том, что поликарбоксилаты чувствительны к примесям в заполнителях [14]. Для исследования этого вопроса было изготовлено два идентичных состава на песке с разным содержанием пылевидных и глинистых частиц (ПИГ). Результаты испытаний приведены в табл. 1.

При увеличении содержания ПИГ с 0,7 до 2,8% резко увеличивается водоцементное отношение при меньшей подвижности, уменьшается плотность бетона, прочность снижается на 31%. Для оценки скорости карбонизации образцы размером 40×40×160 мм были выдержаны в установке по поддержанию заданной концентрации углекислого газа в течение 45 дней при концентрации углекислого газа 2%. Глубина карбонизации образцов с содержанием ПИГ 0,7% составила 2,13 мм, тогда как состав с ПИГ 2,8% был полностью карбонизирован на всю толщину образца 20 мм. Это свидетельствует о том, что фактор содержания пылевидных и глинистых частиц в песке влияет на долговечность. Для получения бетонов вы-

сокой долговечности важно применять качественный намывной песок с содержанием пылевидных и глинистых частиц не более 1%. При использовании добавок на основе поликарбоксилатов этот параметр наиболее важен, так как дозировки поликарбоксилатов в разы меньше, чем дозировки других добавок, например на основе нафталинсульфонатов.

С целью изучения возможности снижения расхода цемента на 10–20% и сокращения продолжительности ТВО в два раза были исследованы составы бетона для изготовления свай с добавкой на основе поликарбоксилата. Требования к данному типу конструкции – набор 100% прочности после термовлажностной обработки (ТВО). Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Анализ данных табл. 2 свидетельствует о том, что при сокращении расхода цемента на 10 и 20%, а также при сокращении режима ТВО бетон исследованных составов набирает требуемую прочность.

Второй блок исследований был направлен на изучение бетонов с заполнителями из отходов производств для получения бетонов повышенной коррозионной стойкости.

Исходные материалы – отходы производств:

- отход нерудной промышленности при добыче щебня – отсев дробления г. Сатка фракции 0–5 мм;
- отход нерудной промышленности при добыче щебня – отсев дробления г. Сангалык фракции 0–5 мм;
- отход строительства – бетонный лом фракции 0–5 мм;
- отход минераловатного производства – отход завода по производству минеральных плит, г. Благовещенск, Республика Башкортостан.

Для исключения протекания щелочной коррозии в бетоне исследуемые заполнители были изучены на

Таблица 2

Table 2

Результаты определения прочности при сжатии составов с понижением расхода цемента и снижением времени ТВО
Results to determining the compressive strength of composition with reduced cement consumption and reduce the time of heat and humidity treatment

Параметры	Типы составов				
	C1-1	C2-1	C3-1	C4-1	C5-1
Особенности состава	Без ↓ ПЦ, ↓ ТВО в 2 раза	С ↓ ПЦ на 10%, ↓ ТВО в 2 раза	С ↓ ПЦ на 20%, ↓ ТВО в 2 раза	С ↓ ПЦ на 20%, ↓ ТВО в 2 раза	С ↓ ПЦ на 10% ↓ ТВО в 2 раза
Класс бетона	B27,5П1	B27,5П1	B27,5П1	B27,5П1	B27,5П1
Вязущее, г. Стерлитамак	ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н	ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н	ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н	ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н	ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н
Добавка поликарбоксилата, % от цемента	MasterGlenium ACE 430 0,6%	MasterGlenium ACE 430 0,6%	MasterGlenium ACE 430 0,6%	MasterGlenium ACE 430 0,3%	MasterGlenium ACE 430 0,3%
Ц:ПГС:Щ	1:2,4:1,1	1:2,8:1,26	1:3,3:1,47	1:3,3:1,47	1:2,8:1,26
В/Ц	0,36	0,31	0,33	0,35	0,34
Осадка конуса, см	5	4,5	4	4	4
Режим ТВО, ч	8	8	8	8	8
R _{сж} после ТВО, кгс/см ²	416	396	377	361	378
Прочность бетона, % от марочной	116	110	105	100	105
R _{сж} 28 сут, кгс/см ²	579	553	548	548	568
Прочность бетона, % от марочной	177	153	152	152	158

предмет содержания активного микрокремнезема в заполнителях фотоколориметрическим способом. Результаты определения растворимого диоксида кремния по градуировочной кривой фотоколориметрическим методом приведены в табл. 3.

Полученные результаты удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия», согласно которым «...щебень и гравий применяют в бетоне без ограничений, если содержание пород и минералов, относимых к вредным компонентам, составляет не более 50 ммоль/л аморфных разновидностей диоксида кремния, растворимых в щелочах».

Активные заполнители делятся на два типа в зависимости от механизма срастания с цементным камнем: I тип – срастание происходит на химическом уровне; II тип – срастание происходит на физическом уровне [15]. В данной работе рассмотрены активный заполнитель первого типа – отход минераловатного производства «корольки», а также активные заполнители второго типа – бетонный лом и керамзит. На зернах щебня из бетонного лома остаются слои из цементного камня, которые повышают адгезию заполнителя с цементной матрицей [15]. Из литературных данных [16] следует, что бетон на легком керамзитовом заполнителе имеет повышенную кислотостойкость, а также стойкость в сульфатно-магнезиальной среде. Керамзит обеспечивает плотную зону контакта цементной матрицы с заполнителем за счет пористой структуры и физического срастания.

Для проведения испытаний бетона в среде сульфата натрия на основании рекомендаций ранее проведенных исследований [17] были изготовлены образцы с использованием заполнителя из отходов производств: инертного отсева карьера Сангалык фракции 0–5 мм (эталон) и отхода минераловатного производства «корольки». Концентрация раствора сульфата натрия составила 3%. Испытание образцов при сжатии проводилось на приборе ПГМ-500МГ4 в возрасте 1; 3; 6 и 12 мес. Оценка коррозионной стойкости образцов проводилась по механической прочности и коэффициенту стойкости – отношению предела прочности образцов, хранившихся в агрессивной среде, к прочности образцов, хранившихся в

воде. На рис. 1 представлена диаграмма коэффициентов стойкости по прочности бетона при сжатии в возрасте 360 сут.

Диффузионная проницаемость к углекислому газу была изучена на образцах 40×40×160 мм в установке, где автоматически поддерживалась концентрация углекислого газа – 2%. После выдерживания образцов в течение 45 сут они были исследованы на глубину карбонизации, поскольку этот показатель важен для оценки кинетики коррозионных процессов. Результаты испытаний на карбонизацию приведены в табл. 4.

Сырьевые материалы для изготовления образцов приняты следующие: портландцемент ЦЕМ II/A-Ш42,5, г. Стерлитамак, ООО «ХайдельбергЦемент Рус»; отход минераловатного производства – «корольки», г. Благовещенск (состав 2); отсев дробления карьера Сангалык фракции 0–5 мм $M_{кр}=1,91$; добавка на основе поликарбоксилата MasterGlenium 591 (дозировка 0,8%) от веса цемента; отношение Ц:П=1:2.

Из данных табл. 4 следует, что у образца состава 1 самое низкое В/Ц и, как следствие, самая низкая глубина карбонизации; высокие показатели по прочности и водонепроницаемости. Состав 2 с применением отхода минераловатного производства имеет высокое В/Ц из-за шероховатости частиц. Однако коэффициент стойкости состава 2 на основе отхода минераловатного производства выше (рис. 1).

На рис. 2 представлены результаты исследований образцов с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6610 LV. У состава 2 на рис. 2, б отчетливо видны наросты на заполнителе в отличие от состава 1. Таким образом, применение активного заполнителя на основе отхода минераловатного производства можно считать перспективным, так как даже при достаточно низких значениях по плотности и водонепроницаемости данный состав 2 имеет высокий коэффициент стойкости за счет срастания цементной матрицы с заполнителем.

Таблица 3
Table 3
Содержание растворимого диоксида кремния в исследуемых образцах
The content of soluble silicium dioxide in the studied samples

Образец	Концентрация SiO ₂ , ммоль/л
Отсев дробления, карьер Сатка фракции 0–5 мм	18,14
Бетонный лом фракции 0–5 мм	25,28
Песок, карьер Кабаково, Кармаскалинский район РБ	49,13
Отсев дробления, карьер Сангалык фракции 0–5 мм	11,1

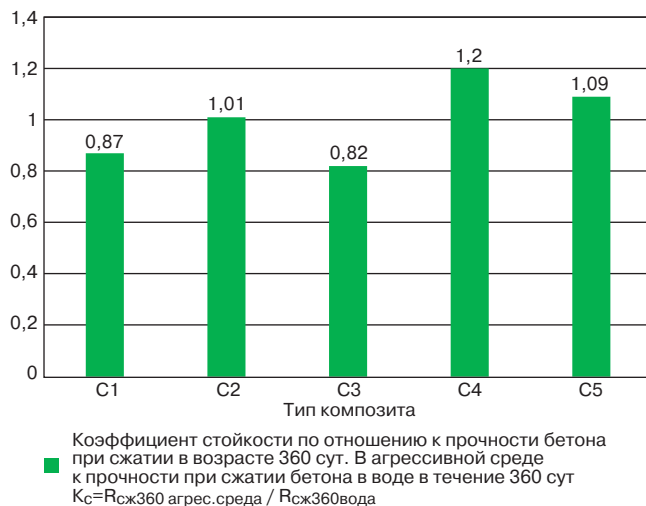


Рис. 1. Диаграмма коэффициентов стойкости по прочности бетона при сжатии в возрасте 360 сут
Fig. 1. Diagram of the coefficients of resistance of concrete compressive strength at the age of 360 days

Таблица 4
Table 4Результаты испытаний составов на карбонизацию
Results of testing of compositions for corrosion resistance

Состав	C1	C2	C3	C4	C5
Вязущее	ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н	ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н	ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н	ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н	ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н
Заполнитель	Отсев Сангалык	ОМВП	Керамзит	Бетонный лом	Песок
Показатели бетонной смеси	Связная ОК 16 см	Колочая ОК 16 см	Текучая ОК 20 см	Связная ОК 17 см	Текучая ОК 20 см
В/Ц	0,46	0,68	0,61	0,52	0,45
Плотность, кг/м ³	2316	2023	1186	2175	2251
R _{сж} 28 сут, МПа	47,88	22	9,33	37,66	43,98
R _{изг} 28 сут, МПа	8,8	6,06	2,65	3,74	6,43
Водонепроницаемость	W14	W2	W16	W12	W18
Глубина карбонизации	5,27	20	12,6	5,79	2,13

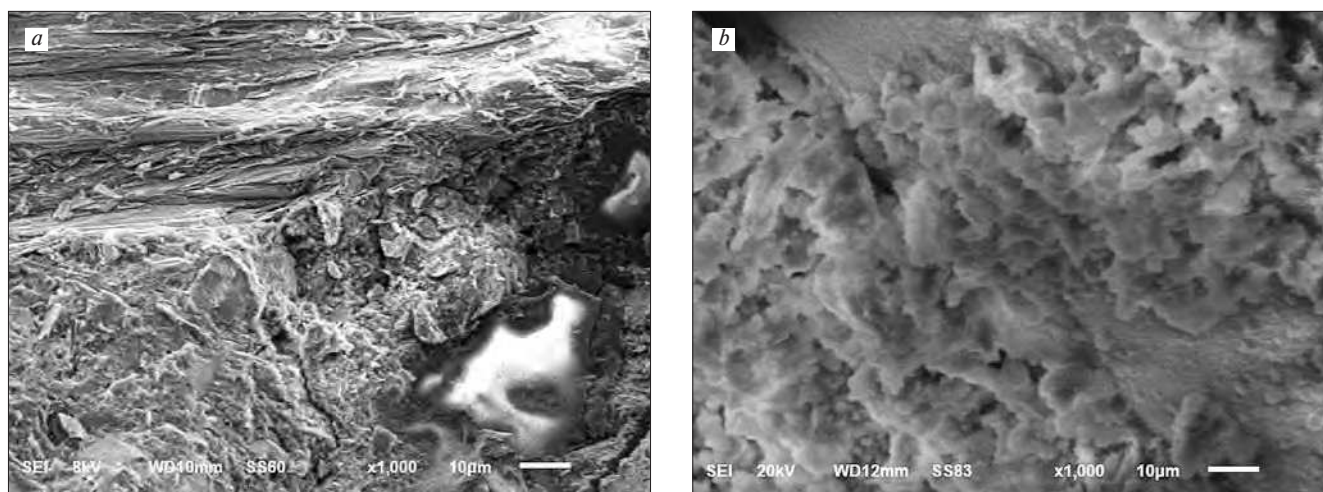


Рис. 2. Контактный слой цементный камень – заполнитель под микроскопом: а – состав 1; б – состав 2
Fig. 2. Contact layer cement stone-filler under a microscope: a – composition 1; b – composition 2

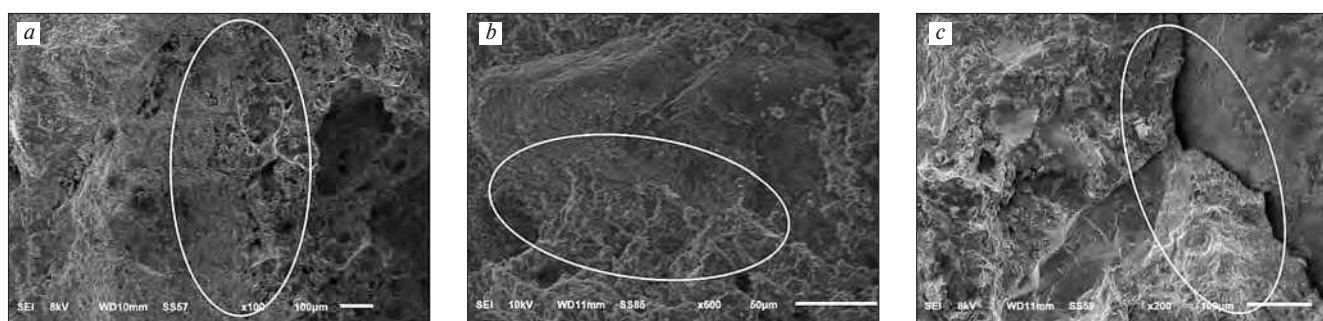


Рис. 3. Контактный слой цементный камень – заполнитель под микроскопом: а – состав 3; б – состав 4; с – состав 5
Fig. 3. Contact layer “cement stone-filler” under a microscope: a – composition 3; b – composition 4; c – composition 5

Далее рассмотрим составы с заполнителем из бетонного лома и керамзита. В 1%-м растворе сульфата магния испытывались составы из портланд-цемента ЦЕМ II/A-Ш 42,5, г. Стерлитамак, ООО «ХайделбергЦемент Рус», строительный отход – бетонный лом фракции 0–5 мм $M_{кр}=3,39$, г. Уфа (состав 4); керамзитовый гравий фракции 0–5 мм, г. Уфа (состав 3). Для эталонного состава (состав 5) использовали заполнитель – природный намывной песок карьера Кабаково $M_{кр}=2,26$. Химическая добавка – на основе поликарбоксилата

MasterGlenium 591 в дозировке 1% от веса цемента при отношении Ц:П=1:3. Результаты испытаний приведены в табл. 4 и диаграмме на рис. 1. Коэффициент стойкости по прочности при сжатии у образца на заполнителе из бетонного лома (состав 4) выше, чем у эталонного образца (состав 5). Коэффициент стойкости у образца на керамзитовом заполнителе (состав 3) ниже, чем у эталонного образца; объясняется это тем, что пористость керамзита нивелирует положительный эффект от срастания цементного камня с керамзитом.

Результаты изучения микроструктуры бетона составов 3, 4 и 5 с помощью растрового электронного микроскопа представлены на рис. 3, а, b, с соответственно.

Фотографии микроструктуры образцов состава 3 показывают, что контактный слой керамзит–цементный камень трудно различим, поскольку микроструктура формируется как единое целое. Фотографии микроструктуры образцов состава 4 показывают, что контактный слой заполнитель–цементный камень формируется без зазоров, при этом отмечаются нарастания на заполнителях. В результате этого стойкость бетона на заполнителе из бетонного лома в среде сульфата магния выше стойкости эталонного образца на кварцевом песке. Фотографии микроструктуры состава 5 отчетливо показывают, что контактная зона цементный камень–природный песок резко различима. Поэтому даже при самых высоких показателях по прочности эталонный состав 5 имеет коэффициент стойкости по прочности при сжатии ниже, чем у состава 4, что также подтверждает, что использование составов на заполнителе из бетонного лома позволяет получать более стойкие бетоны в среде сульфата магния.

Список литературы

1. Кеменов Д.А. Определения и концепции устойчивого развития в сфере малоэтажного строительства // *Архитектура и дизайн*. 2018. № 4. С. 1–7. DOI: 10.7256/2585-7789.2018.4.30093
2. Разработка ресурсосберегающих технологий и комплексных технологических линий многотоннажных отходов инертного нерудного сырья с получением экономичных строительных изделий массового применения. Государственный контракт от 26 июня 2008 года № 02.525.11.5007.
3. Falikman V., Rozental N., Rozental A. AAR in concrete: Russian experience. In *RILEM, Proceedings of the Pro128-3 Durability, Monitoring and Repair of Structure, Proceedings of the International Conference on Sustainable Materials Systems and Structures (SMSS2019)*. Rovinj, Croatia. 20–22 March 2019. Vol. 3, pp. 192–199.
4. Буткевич Г.Р. Этапы развития промышленности нерудных строительных материалов России // *Строительные материалы*. 2011. № 1. С. 3–5.
5. Бедов А.И., Ткач Е.В., Пахратдинов А.А. Вопросы утилизации отходов бетонного лома для получения крупного заполнителя в производстве железобетонных изгибаемых элементов // *Вестник МГСУ*. 2016. № 7. С. 91–100.
6. Муртазаев С-А.Ю., Муртазаев А.Т., Саламова М.Ш. Влияние заполнителей из бетонного лома на формирование структуры и свойств бетонов. *Наука, образование и производство: Материалы всероссийской научно-технической конференции*. Грозный, 2008. С. 57–61.
7. Головин М.В., Кутов Д.В., Шчигорева Е.М., Шчигорев Д.С. Влияние заполнителя из бетонного лома на коррозионную стойкость бетона. *Междуна-*

Выводы

Полученные данные свидетельствуют, что, подбирая состав бетона, важно учитывать сочетание определенного вида вяжущего и вида заполнителя и их совместную работу в условиях конкретных агрессивных воздействий на конструкцию. Так, при проектировании бетона надземных конструкций, не подвергающихся агрессивным проливам, целесообразно выбирать бетон с использованием природного намывного песка и цемента с содержанием шлака до 20% для обеспечения высокой долговечности конструкций в условиях воздействия углекислого газа. При проектировании конструкций, подвергающихся воздействию грунтовых или техногенных вод, целесообразно использовать заполнитель из бетонного лома с использованием цемента с содержанием шлака до 20%.

Для увеличения объемов использования отходов добычи нерудного сырья с целью рационального использования природных ресурсов и уменьшения объемов отвалов целесообразно применение мелкозернистого бетона с отсевами дробления фракции 0–5 мм карьера Сангалык и карьера Сатка.

References

1. Kemenov D. Definitions and concepts of sustainable development in the field of low-rise construction. *Arhitektura i dizajn*. 2018. No. 4, pp. 1–7. (In Russian). DOI: 10.7256/2585-7789.2018.4.30093
2. Development of resource-saving technologies and complex technological lines for multi-tonnage waste of inert non-metallic raw materials with the production of economical construction products for mass use. State contract dated June 26, 2008 № 02.525.11.5007 (In Russian).
3. Falikman V., Rozental N., Rozental A. AAR in concrete: Russian experience. In *RILEM, Proceedings of the Pro128-3 Durability, Monitoring and Repair of Structure, Proceedings of the International Conference on Sustainable Materials Systems and Structures (SMSS2019)*. Rovinj, Croatia. 20–22 March 2019. Vol. 3, pp. 192–199.
4. Butkevich G.R. Stages of development of non-metallic construction materials industry in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 1, pp. 3–5. (In Russian).
5. Bedov A.I., Tkach E.V., Pakhratdinov A.A. Issues of utilization of concrete scrap waste for the production of large aggregate in the production of reinforced concrete bending elements. *Vestnik MGSU*. 2016. No. 7, pp. 91–100. (In Russian).
6. Murtazaev S-A.Yu, Murtazaev A.T., Salamova M.Sh. Influence of recycled concrete aggregate on formation of concrete structure and properties. *Science, education and production: materials of the All-Russian scientific and technical conference*. Grozny. 2008. pp. 57–61. (In Russian).
7. Golovin M.V., Kutov D.V., Shchigoreva E.M., Shchigorev D.S. Influence of recycled concrete aggregate on corrosion resistance of concrete. *International Scientific*

- родная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. С. 1489–1493.
8. Thomas M., Monkman S., Djerbi A. The carbonation of recycled concrete aggregate affected by alkali-silica reaction. In *RILEM Proceedings of the PRO 133 International Workshop CO₂ Storage in Concrete (CO2STO2019)*. Marne-la-Vallee, France. 24–25 June 2019, pp. 138–145.
 9. Ekolu S.O., Makama L.N., Shuluuka W.P. Influence of different recycled aggregate types on strength and abrasion resistance properties of concrete. In *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III, Proceedings of the 3rd International Conference on Concrete Repair Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR)*. Cape Town, South Africa. 3–5 September 2012, pp. 72–73.
 10. Serna P., Ulloa V.A., Pelufo M.J., Jacquin C. Analysis of zero-slump concrete made recycled aggregate from concrete demolition waste. In *RILEM Proceedings of the PRO 82 2-nd International RILEM Conference on Progress of Recycling in the Built Environment*. Sao Paulo, Brazil. 2–4 December 2009, pp. 243–252.
 11. Gutiérrez P.A., Sanchez de Juan M. Utilization of recycled concrete aggregate for structural concrete. In *RILEM Proceedings of the PRO 40 International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures*. Barcelona, Spain. 8–11 November 2004. Vol. 2, pp. 693–702.
 12. Tanaka K., Yada K., Maruyama I., Sato R., Kawai K. Study on corrosion of reinforcing bar in recycled concrete. In *RILEM Proceedings of the PRO 40 International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures*. Barcelona, Spain. 8–11 November 2004. Vol. 2, pp. 643–650.
 13. Sun J., Huaqin J. Study on properties of recycled concrete aggregate and influence of it on properties of concrete. In *RILEM Proceedings of the PRO 73 2-nd International Conference on Waste Engineering and Management (ICWEM 2010)*. Shanghai, China. 13–15 October 2010, pp. 261–268.
 14. Хищков А.А. Влияние различных глинистых частиц на эффективность поликарбоксилатного суперпластификатора и свойства цементного камня // *Вестник ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура*. 2019. Т. 19. № 1. С. 40–51.
 15. Толыпина Н.М., Щигорева Е.М., Головин М.В., Щигорев Д.С. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем применения активных заполнителей второго типа // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2019. № 2. С. 27–32.
 16. Хохрин Н.И. Стойкость легкобетонных строительных конструкций. Куйбышев: КуИСИ, 1973. 206 с.
 17. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Хакхалева Е.Н. Обоснование методов испытаний коррозионной стойкости материалов гидратационного твердения. II *Международный онлайн-конгресс «Природоподобные технологии строительных композитов для защиты среды обитания человека»*. Белгород, 2019. С. 735–739.
 - and Technical Conference of Young Scientists BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. pp. 1489–1493. (In Russian).
 8. Thomas M., Monkman S., Djerbi A. The carbonation of recycled concrete aggregate affected by alkali-silica reaction. In *RILEM Proceedings of the PRO 133 International Workshop CO₂ Storage in Concrete (CO2STO2019)*. Marne-la-Vallee, France. 24–25 June 2019, pp. 138–145.
 9. Ekolu S.O., Makama L.N., Shuluuka W.P. Influence of different recycled aggregate types on strength and abrasion resistance properties of concrete. In *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III, Proceedings of the 3rd International Conference on Concrete Repair Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR)*. Cape Town, South Africa. 3–5 September 2012, pp. 72–73.
 10. Serna P., Ulloa V.A., Pelufo M.J., Jacquin C. Analysis of zero-slump concrete made recycled aggregate from concrete demolition waste. In *RILEM Proceedings of the PRO 82 2-nd International RILEM Conference on Progress of Recycling in the Built Environment*. Sao Paulo, Brazil. 2–4 December 2009, pp. 243–252.
 11. Gutiérrez P.A., Sanchez de Juan M. Utilization of recycled concrete aggregate for structural concrete. In *RILEM Proceedings of the PRO 40 International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures*. Barcelona, Spain. 8–11 November 2004. Vol. 2, pp. 693–702.
 12. Tanaka K., Yada K., Maruyama I., Sato R., Kawai K. Study on corrosion of reinforcing bar in recycled concrete. In *RILEM Proceedings of the PRO 40 International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures*. Barcelona, Spain. 8–11 November 2004. Vol. 2, pp. 643–650.
 13. Sun J., Huaqin J. Study on properties of recycled concrete aggregate and influence of it on properties of concrete. In *RILEM Proceedings of the PRO 73 2-nd International Conference on Waste Engineering and Management (ICWEM 2010)*. Shanghai, China. 13–15 October 2010, pp. 261–268.
 14. Khitskov A.A. Influence of different clay particles on efficiency of polycarboxylate superplasticizer, properties of cement stone. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2019. Vol. 19. No. 1, pp. 40–51. (In Russian).
 15. Tolypina N.M., Shchigoreva E.M., Golovin M.V., Shchigorev D.S. Increase of corrosion resistance of concrete by application of active aggregates of the second type. *Vestnik Belgorodskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo Universiteta Im. V.G. Shukhova*. 2019. No. 2, pp. 27–32. (In Russian).
 16. Khokhrin N.I. Stoykost' legkobetonnykh stroitel'nykh konstruksiy [Resistance of lightweight building structures]. Kuibyshev: KuISI. 1973. 206 p.
 17. Rakhimbaev Sh.M., Tolypina N.M., Khakhaleva E.N. Substantiation of methods for testing corrosion resistance of hydration hardening materials. II *International Online Congress Nature-Like Technologies of Building Composites for the Protection of the Human Environment*. Belgorod. 2019, pp. 735–739. (In Russian).

Т.А. ДРОЗДЮК¹, инженер (магистр) (t.drozdyuk@narfu.ru),
А.М. АЙЗЕНШТАДТ¹, д-р хим. наук (a.isenshtadt@narfu.ru);
Е.В. КОРОЛЕВ², д-р техн. наук (korolev@nocnt.ru)

¹ Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ) имени М.В. Ломоносова
(163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 22)

² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4)

Высокотемпературная модификация сапонитсодержащего материала

Одним из приоритетных направлений развития строительного материаловедения в Российской Федерации является рациональное природопользование, которое предусматривает применение не только ресурсов природного происхождения, но и различных видов техногенных отходов. В Архангельской области таким отходом является сапонитсодержащий материал (ССМ), который представляет собой многотоннажный отход обогащения кимберлитовых руд месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова предприятия ПАО «Севералмаз». Поэтому актуальны исследования по поиску новых перспективных направлений использования данного техногенного отхода путем его возможной модификации. С этой целью в работе рассматривается вопрос установления температурного режима этого процесса. В качестве интегрального критерия, характеризующего изменение в составе (природе) ССМ при его высокотемпературной модификации, предложено использовать физическую характеристику, аналогичную постоянной Гамакера. Установлено, что при температуре выше 900°C предложенная характеристика достигает асимптотического значения, это может свидетельствовать о завершении трансформационных превращений в образцах ССМ. Также дифференциальный термический анализ предварительно измельченного и обработанного при температуре 900°C сапонитсодержащего материала показал отсутствие каких-либо термоэффектов. Кроме того, высокотемпературная модификация сапонита приводит к уменьшению его удельной площади поверхности, пористости, диаметра пор, влагопоглощения и к увеличению истинной плотности. Данные исследования послужат предпосылкой для оптимизации параметров температурного режима процесса получения конструкционно-теплоизоляционного материала.

Ключевые слова: сапонитсодержащий материал, постоянная Гамакера, дифференциальный термический анализ, серпентин, модификационные превращения, высокотемпературная обработка.

Работа выполнена при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования», проект «Разработка новых конструкционных композиционных материалов при решении стратегической задачи комплексного использования минеральных ресурсов и техногенных отходов предприятий Арктической зоны».

Для цитирования: Дроздюк Т.А., Айзенштадт А.М., Королев Е.В. Высокотемпературная модификация сапонитсодержащего материала // *Строительные материалы*. 2021. № 11. С. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-30-35>

T.A. DROZDYUK¹, Engineer (Magister) (t.drozdyuk@narfu.ru),
A.M. AYZENSHTADT¹, Doctor of Sciences (Chemistry) (a.isenshtadt@narfu.ru),
E.V. KOROLEV², Doctor of Sciences (Engineering) (korolev@nocnt.ru)

¹ Northern (Arctic) Federal University (NAFU) named after M.V. Lomonosov (22, Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation)

² St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2-nd Krasnoarmeyskaya Street, St. Petersburg, 190005, Russian Federation)

High-Temperature Modification of Saponite-Containing Material

One of the priority directions of the development of building materials science in the Russian Federation is the rational use of natural resources, which provides for the use of not only natural resources, but also various types of technogenic waste. In the Arkhangelsk Region, such waste is saponite-containing material (SCM), which is a multi-tonnage waste from the enrichment of kimberlite ores of the M.V. Lomonosov diamond deposit of the "Severalmaz" PJSC enterprise. Therefore, research on the search for new promising areas of use of this technogenic waste by its possible modification is relevant. For this purpose, the paper considers the issue of establishing the temperature regime of this process. As an integral criterion characterizing the change in the composition (nature) of the SCM during its high-temperature modification, it is proposed to use a physical characteristic similar to the Hamaker constant. It is established that at a temperature above 900°C, the proposed characteristic reaches an asymptotic value, which may indicate the completion of transformational transformations in SCM samples. Also, differential thermal analysis of the saponite-containing material pre-crushed and processed at a temperature of 900°C showed the absence of any thermal effects. In addition, high-temperature modification of saponite leads to a decrease in its specific surface area, porosity, pore diameter, moisture absorption and an increase in true density. These studies will serve as a prerequisite for optimizing the parameters of the temperature regime of the process of obtaining structural and thermal insulation material.

Keywords: saponite-containing material, Hamaker constant, differential thermal analysis, serpentine, modification transformations, high-temperature treatment.

The work was carried out with the support of the world-class scientific and educational center "Russian Arctic": new materials, technologies and research methods, the project "Development of new structural composite materials when solving the strategic task of integrated use of mineral resources and technogenic waste of enterprises of the Arctic zone".

For citation: Drozdjuk T.A., Ayzenshtadt A.M., Korolev E.V. High-temperature modification of saponite-containing material. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 11, pp. 30–35. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-30-35>

Одним из приоритетных направлений развития строительного материаловедения в Российской Федерации является рациональное природопользование, которое предусматривает применение не только ресурсов природного происхождения, но и других видов отходов (вторичных ресурсов), формируемых в значительном объеме в результате деятельности предприятий различных отраслей экономики. Это относится и к предприятиям алмазодобывающей промышленности, в результате работы которых образуется значительный объем вскрышных пород, который складывается в хвостохранилищах, занимающих большие площади.

В Архангельской области таким отходом является сапонитсодержащий материал (ССМ), который представляет собой многотоннажный отход обогащения кимберлитовых руд месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова предприятия ПАО «Севералмаз». При промышленной разработке данного месторождения сапонит-содержащий отход находится в водной среде в виде суспензии, затрудняя использование технологической воды в системе оборотной водоснабжения. В результате обогащения кимберлитовых руд песчано-глинистые породы в обводненном состоянии направляются в хвостохранилище, где ежегодно складывается до 1 млн т отходов. Отходы, транспортируемые гидравлическим способом, аккумулируются в специальных накопителях-хвостохранилищах и образуют хвостовые отложения. Наиболее тонкодисперсная фракция формируется в прудковой зоне хвостохранилища. Основным компонентом отложений на месторождении им. М.В. Ломоносова является сапонит (60–70%) [1]. Кроме того, в твердой фазе присутствуют следующие минералы: кварц, монтмориллонит, палыгорскит, флогопит, клинохлор, тальк, доломит [2]. Химический состав ССМ в пересчете на оксиды представлен SiO_2 (53%), MgO (17%), Fe_2O_3 (10%), Al_2O_3 (9%), CaO (4%). Остальные компоненты находятся в следовых количествах [3].

Авторы работ [4–6] отмечают, что одно из направлений использования отходов обогащения кимберлитовых руд на месторождении им. М.В. Ломоносова связано с индустрией строительных материалов. Перспективность такого подхода подтверждена в исследованиях [7–11]. Так, установлено, что предварительно механоактивированный до тонкодисперсного состояния сапонитсодержащий материал является активным компонентом в вяжущих композиционных системах, используется в качестве модификаторов в бетонных смесях, в качестве компонента для укрепления грунтов, может выступать альтернативой фенолформальдегидного связующего минераловатных материалов. Однако нарабатываемые объемы сапонитсодержащего отхода ставят задачу по дальнейшему расширению областей его применения. В продолжение этого направления авторами начаты исследования по изучению изменения физико-химических свойств ССМ, которые приобретает данный материал после его высокотемпературной моди-

фикации [12]. В работе [13] установлено, что после выдержки порошка сапонита в температурных режимах, применяющихся при производстве керамзита, минерал изменяет следующие свойства и характеристики: удельную площадь поверхности, истинную плотность и влагопоглощение. Тем не менее не удалось обнаружить в литературных источниках сведений о возможном температурном диапазоне, необходимом для его высокотемпературной модификации. Ответ на этот вопрос даст возможность оптимизировать параметры температурного режима процесса получения конструкционно-теплоизоляционного материала на основе базальтовых волокон и модифицированного сапонита. Вышеизложенное и явилось целью данной работы.

Известно, что физической характеристикой, величина которой связана со свойствами и составом анализируемых объектов (их природой), является постоянная Гамакера (A) [14–16]. Поэтому в качестве интегрального критерия оптимизации, характеризующего модификационные превращения ССМ при его температурной модификации, использована физическая характеристика, аналогичная постоянной Гамакера (A^*), экспериментальное определение которой проводится по краевому углу смачивания поверхности анализируемой пробы (θ). С учетом уравнения Б.В. Дерягина [17] уравнение (1) отработано авторами двумя методическими приемами (методы Г.А. Зисмана и ОВРК) [18, 19]:

$$\cos \theta = 1 + \frac{A^*}{12\pi h^2 \sigma_{\text{ж}}}, \quad (1)$$

где h_{min} – наименьшая толщина пленки, которая соответствует ван-дер-ваальсовому расстоянию (0,24 нм); $\sigma_{\text{ж}}$ – поверхностное натяжение смачивающей жидкости.

В настоящее время имеется достаточный экспериментальный опыт по возможным вариантам выделения сапонитсодержащего материала из суспензии оборотной воды [20–23], однако наиболее эффективным приемом является электролитная коагуляция твердой фазы [24], поэтому данный метод и был выбран за основу при получении сырья из пульпы хвостохранилища.

Сапонитсодержащий материал, выделенный из суспензии оборотной воды, был предварительно доведен до постоянной массы при температуре 100°C. Далее был проведен сухой механический помол ССМ до высокодисперсного состояния на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 в течение 45 мин, с применением карбидвольфрамовой размольной гарнитуры. Предварительными исследованиями данный режим помола, учитывая критерий воспроизводимости результатов, был выбран за оптимальный. Удельную поверхность и характеристику поровой структуры исследовали методом сорбции азота с помощью анализатора удельной поверхности и размеров пор AUTOSORB-iQ-MP. Дифференциальный термический анализ (ДТА) опытных образцов проводили на термогравиметрическом анализаторе

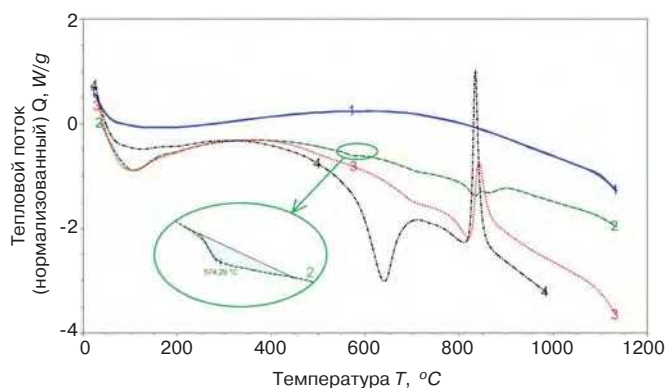


Рис. 1. ДТА исследуемых образцов
Fig. 1. DTA of the studied samples

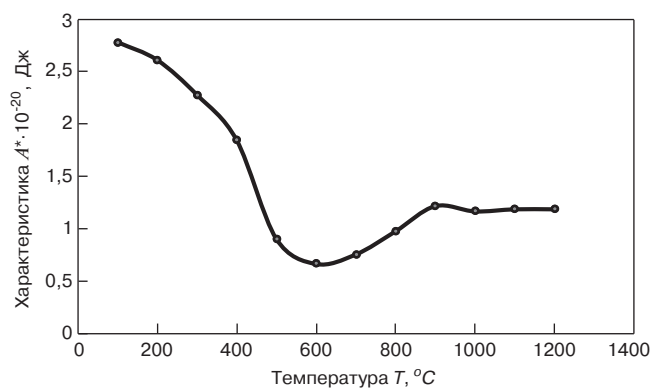


Рис. 2. Зависимость $A^*=f(T)$
Fig. 2. Dependence $A^*=f(T)$

SDT Q650 в атмосфере азота (расход 50 мл/мин) при скорости нагрева $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Диапазон изменения температуры составил $30\text{--}1150^{\circ}\text{C}$. Кроме того, для идентификации результатов ДТА авторами взят минерал серпентин Баженовского месторождения. Для определения предложенной физической характеристики A^* пользовались методом Г.А. Зисмана, с построением функциональных зависимостей вида: $\cos\theta - 1 = f(1/\sigma_{\text{ж}})$. Угол смачивания поверхности дисперсных систем измеряли при температуре $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ на установке KRUSS Easy Drop. Для проведения исследований по определению A^* были изготовлены образцы из полученного порошка ССМ путем запрессовки в металлических формах при давлении 5 кПа и выдержки в течение 2 мин. Далее образцы подвергались температурной обработке в диапазоне температуры от 100 до 1200°C с шагом 100°C и продолжительностью выдержки 10 мин (для каждого шага). Истинную плотность сапонита определяли пикнометрическим методом в соответствии с ГОСТ 5180–84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических ха-

рактеристик». Для определения влагопоглощения сапонита испытуемую пробу высушивали до постоянной массы, затем помещали ее в эксикатор, фиксируя и выдерживая образец над поверхностью воды в течение 24 ч. Влагопоглощение рассчитывали как отношение массы исходного образца к массе образца после насыщения влагой.

Удельная площадь поверхности ($S_{\text{уд}}$) для порошка ССМ, полученного после 45 мин измельчения, составила $27250 \text{ м}^2/\text{кг}$, в то время как ССМ до измельчения имеет $S_{\text{уд}}=7340 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Результаты дифференциального термического анализа (ДТА) образцов ССМ показаны на рис. 1. Для исследований использовались следующие опытные образцы: измельченный и выдержанный в течение 10 мин при температуре 900°C ССМ (рис. 1, термограмма 1); измельченный ССМ и выдержанный в течение 10 мин при 20°C (рис. 1, термограмма 2); измельченный и затворенный водой ССМ при 20°C (рис. 1, термограмма 3); минерал серпентин (рис. 1, термограмма 4).

Таблица 1
Table 1

Результаты определения краевого угла смачивания образцов ССМ и рассчитанные значения A^*
The results of determining the contact angle of wetting of the SCM samples and the calculated values of A^*

Образец ССМ, выдержанный при $T, ^{\circ}\text{C}$	Среднее значение краевого угла смачивания θ (град) для водно-этанольных растворов с поверхностным натяжением раствора $\sigma_{\text{ж}}$ (мН/м)						$A^* \cdot 10^{-20}$, Дж
	31,31	28,42	28,11	27,34	26,61	24,74	
Контрольный	32,41	28,83	28,73	26,50	24,03	21,80	2,28
100	34,42	30,47	29,25	28,80	24,00	21,85	2,78
200	33,95	29,30	29,10	28,63	26,13	21,20	2,61
300	33,40	28,35	28,25	27,53	25,87	22,30	2,28
400	30,03	27,53	26,10	24,83	22,80	21,03	1,85
500	24,77	23,50	21,40	21,70	21,20	19,37	0,91
600	22,97	21,90	21,31	20,40	20,33	18,83	0,67
700	24,65	23,46	22,89	21,97	21,05	20,59	0,76
800	25,08	22,63	22,35	21,60	20,30	19,48	0,98
900	26,17	24,85	23,30	22,83	20,60	19,85	1,22
1000	24,61	22,25	22,40	20,33	19,35	17,75	1,17
1100	25,46	24,15	22,80	20,57	20,20	19,13	1,19
1200	24,89	23,43	22,03	20,12	19,74	18,22	1,19

Таблица 2
Table 2Значения A_s для образцов ССМ после соответствующей температуры обработки
 A_s values for SCM samples after the corresponding processing temperature

T, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
A_s	1,22	1,14	1,00	0,81	0,40	0,29	0,33	0,43	0,53	0,51	0,52	0,52

Таблица 3
Table 3Характеристика порошков ССМ
Characteristics of SCM powders

Свойство/характеристика	Исходный порошок ССМ	Порошок ССМ после температурной выдержки при 900°C
Истинная плотность, кг/м ³	2630	2740
Влагопоглощение, %	13,22	1,24
Удельная поверхность, м ² /кг	27250	1000
Пористость, см ³ /г	$4,52 \cdot 10^{-2}$	$8,75 \cdot 10^{-4}$
Диаметр пор, нм	> 472	> 24

Результаты ДТА образца ССМ, предварительно затворенного водой (рис. 1, термограмма 3), позволили отметить наличие эндоэффекта в диапазоне температуры 600–700°C и экзотермического пика при температуре 850°C, характерных для минералов группы серпентина $Mg_{2-3}Si_2O_5(OH)_4$ (рис. 1, термограмма 4). Данный факт, по мнению авторов, связан с тем, что в процессе механического помола происходит разрушение кристаллов в поверхностном слое частиц ССМ, которое способствует образованию активных оксидных соединений кремния (эндотермический пик при температуре 574°C, свидетельствующий о проявлении кварца β -модификации на термограмме 2) и оксида магния, которые в присутствии водной фазы способны вступать в химическое взаимодействие с образованием $Mg_{2-3}Si_2O_5(OH)_4$. Следует отметить, что на термограмме 2 ДТА (рис. 1), соответствующей образцу измельченного ССМ без добавления воды, пики, характерные для минералов группы серпентина, не фиксируются.

В табл. 1 представлены экспериментальные результаты определения поверхностного натяжения водно-этанольных растворов, краевого угла смачивания образцов ССМ, предварительно выдержанных при температуре от 100 до 1200°C, и рассчитанное значение характеристики A^* .

Графическая интерпретация данных, представленных в табл. 1, приведена на рис. 2, анализ которой показывает, что можно выделить три характерных участка изменения характеристики $A^* = f(T)$.

На первом участке – диапазон 100–600°C – наблюдается прогрессирующее снижение величины A^* (на 315%), которое сменяется ростом на 60% в диапазоне температуры – 600–900°C. На третьем участке ($T=900$ –1200°C) наблюдается стабилизация значения A^* (среднее значение A^* в указанном диапазоне температур равно $1,18 \cdot 10^{-20}$ Дж).

По экспериментальным данным были рассчитаны также значения относительной постоянной Гамакера (A_s), расчет которых производили как отношение значения A^* образца при соответствующей

температуре опыта (A_i^*) к значению A^* контрольного образца (A_0^*).

Сравнение результатов ДТА с расчетными значениями относительной постоянной Гамакера (табл. 2) показало сходимость экспериментальных данных. Так, стабилизация значений A_s и теплового потока (рис. 1, термограмма 2) при температуре выше 900°C может свидетельствовать о завершении трансформационных превращений в измельченных образцах ССМ.

Кроме того, в тонкодисперсном образце ССМ, затворенном водой, наблюдается эффект дегидратации серпентина при температуре 850°C с выделением ортосиликата магния (Mg_2SiO_4 – форстерит). Также дифференциальный термический анализ предварительно измельченного и обработанного при температуре 900°C сапонитсодержащего материала показал отсутствие каких-либо дополнительных термоэффектов (рис. 1, термограмма 1). Таким образом, можно заключить, что структурные и химические превращения в высокодисперсном и затворенном водой ССМ прекращаются при достижении температуры 900°C.

Экспериментально установлено, что воздействие высокой температуры (900°C) приводит к увеличению истинной плотности, уменьшению удельной площади поверхности, пористости и влагопоглощения сапонитсодержащего материала. Эти результаты представлены в табл. 3.

Выводы

В качестве основного вывода по результатам проведенных исследований можно отметить следующее. Высокотемпературная обработка сапонитсодержащего материала в диапазоне температуры до 1200°C приводит к необратимым трансформационным превращениями в его структуре, при этом модификационные превращения сапонита прекращаются при достижении температуры 900°C. Интегральным критерием, который свидетельствует об изменениях в результате воздействия высокой температуры на опытные образцы сапонитсодержащего материала, является значение физической харак-

теристики, аналогичной постоянной Гамакера (A^*), которая в случае стабилизации состава и структуры анализируемых проб достигает постоянной величины. Высокотемпературная модификация сапонита приводит к уменьшению его удельной площади по-

верхности, пористости, диаметра пор, влагопоглощения и к увеличению истинной плотности. Данные результаты могут являться научным обоснованием режима высокотемпературной обработки ССМ.

Список литературы

1. Облицов А.Ю. Некоторые аспекты утилизации высокоглинистых отходов обогащения // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013. № 7. С. 390–392.
2. Миненко В.Г. Обоснование и разработка электрохимического метода извлечения сапонита из оборотных вод // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2014. № 3. С. 180–186.
3. Алексеев А.И., Зубкова О.С., Полянский А.С. Очистка карьерных вод ПАО «Севералмаз» от дисперсных частиц глинистого минерала сапонита методом сгущения // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2020. № 55. С. 22–27.
4. Романов Е.М., Шабанова Е.Н., Наквасина Е.Н., Попова А.А., Косарева Е.Н. Проблема утилизации побочной продукции при добыче алмазов на обогатительной фабрике «Севералмаз» // *Биомониторинг в Арктике: Сборник тезисов докладов участников международной конференции*. Архангельск, 2018. С. 106–108.
5. Облицов А.Ю. Перспективные направления утилизации отходов обогащения алмазоносной породы месторождения им. М.В. Ломоносова // *Записки горного университета*. 2012. Т. 195. С. 163–167.
6. Коршунов А.А., Невзоров А.Л. Перспективы и направления утилизации отходов обогащения кимберлитовых руд на месторождении им. М.В. Ломоносова // *Проблемы региональной экологии*. 2009. № 2. С. 213–216.
7. Дроздук Т.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Рама Шанкер Верма. Минераловатный композит с использованием сапонитсодержащих отходов горнодобывающей промышленности // *Строительные материалы и изделия*. 2020. Т. 3. № 3. С. 21–27. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-21-27
8. Фролова М.А., Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Тутыгин А.С. Алюмосиликатное вяжущее на основе сапонитсодержащих отходов алмазодобывающей промышленности // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 68–70.
9. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Махова Т.А. Применение сапонитсодержащего материала для получения морозостойких бетонов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 1. С. 28–31.
10. Стенин А.А., Айзенштадт А.М., Шинкарук А.А., Демидов М.Л., Фролова М.А. Минеральный модификатор поверхности строительных материалов из древесины // *Строительные материалы*. 2014. № 10. С. 51–54.
11. Гайда Ю.В., Айзенштадт А.М., Мальков В.С., Фомченков М.А. Органоминеральная добавка для

References

1. Oblitsov A.Yu. Some aspects of disposal of high-clay enrichment wastes. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013. No. 7, pp. 390–392. (In Russian).
2. Mynenko V.H. Substantiation and development of an electrochemical method for extracting saponite from circulating waters. *Fiziko-tehnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2014. No. 3, pp. 180–186. (In Russian).
3. Alekseyev A.I., Zubkova O.S., Polyanskiy A.S. Purification of open pit waters of PJSC “Severalmaz” from dispersed particles of clay mineral saponite by thickening. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)*. 2020. No. 55, pp. 22–27. (In Russian).
4. Romanov E.M., Shabanova E.N., Nakvasina E.N., Popova A.A., Kosareva E.N. The problem of utilization of by-products during diamond mining at the Severalmaz concentration plant. *Biomonitoring in the Arctic: a collection of abstracts of the participants of the international conference*. Arkhangelsk. 2018, pp. 106–108. (In Russian).
5. Oblitsov A.Yu. Prospective directions of utilization of diamond-bearing rock enrichment wastes from the M.V. Lomonosov deposit. *Zapiski gornogo universiteta*. 2012. Vol. 195, pp. 163–167. (In Russian).
6. Korshunov A. A., Nevzorov A. L. Prospects and directions of utilization of kimberlite ore dressing wastes at the M.V. Lomonosov deposit. *Problemy regional'noy ekologii*. 2009. No. 2, pp. 213–216. (In Russian).
7. Drozdyyuk T.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Rama Shanker Verma. Mineral wool composite using saponite-containing waste from the mining industry. *Stroitel'nyye materialy i izdeliya*. 2020. Vol. 3. No. 3, pp. 21–27. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-21-27 (In Russian).
8. Frolova M.A., Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Tutygin A.S. Aluminosilicate binder based on saponite-containing waste from the diamond mining industry. *Stroitel'nyye materialy*. 2017. No. 7, pp. 68–70. (In Russian).
9. Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Makhova T.A. Application of saponite-containing material to obtain frost-resistant concrete. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2015. No. 1, pp. 28–31. (In Russian).
10. Stenin A.A., Ayzenshtadt A.M., Shinkaruk A.A., Demidov M.L., Frolova M.A. Mineral surface modifier for wood building materials. *Stroitel'nyye materialy*. 2014. No. 10, pp. 51–54. (In Russian).
11. Gayda Yu.V., Ayzenshtadt A.M., Malkov V.S., Fomchenkov M.A. Organomineral additive for strengthening sandy soils. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2015. No. 11, pp. 17–21. (In Russian).
12. Drozdyyuk T. A., Ayzenshtadt A. M., Frolova M. A. Effect of thermal modification of saponite-containing material on energy properties of its surface. *Journal of*

- укрепления песчаных грунтов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 11. С. 17–21.
12. Drozdyuk T.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A. Effect of thermal modification of saponite-containing material on energy properties of its surface // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1400 (077053). DOI: 10.1088/1742-6596/1400/7/077056
 13. Морозова М.В. Термическая модификация сапонитсодержащих отходов обогащения кимберлитовых руд. *Строительство – формирование среды жизнедеятельности: Сборник научных трудов XVI международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых*. М.: МГСУ, 2013. С. 534–536.
 14. Айзенштадт А.М., Королев Е.В., Дроздук Т.А., Данилов В.Е., Фролова М.А. Возможный подход к оценке дисперсионного взаимодействия в порошковых системах // *Физика и химия обработки материалов*. 2021. № 3. С. 40–48. DOI: 10.30791/0015-3214-2021-3-40-48.
 15. Дерягин Б.В., Абрикосов Е.М., Лифшиц Е.М. Молекулярное притяжение конденсированных тел // *Успехи физической химии*. 2015. Т. 185. № 9. С. 982–1001.
 16. Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности: Учебник-монография. Долгопрудный: Интеллект, 2008. 508 с.
 17. Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Смачивающие пленки. М.: Наука, 1984. 159 с.
 18. Sokolova Y.V., Ayzenshtadt A.M., Strokova V.V., Malkov V.S. Surface tension determination in glyoxal-silica dispersed system // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1038. No. 1 (012141). DOI: 10.1088/1742-6596/1038/1/012141
 19. Фролова М.А., Тутыгин А.С., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Махова Т.А., Пospelova Т.А. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // *Наносистемы: физика, химия, математика*. 2011. № 2 (4). С. 1–6.
 20. Патент РФ №2448052. *Способ сгущения сапонитовой суспензии* / Утин А.В. Заявл. 08.11.2010. Опубл. 20.04.2012. Бюл. № 11.
 21. Невзоров А.Л., Коршунов А.А. Исследование свойств хвостовых отложений как источника техногенной нагрузки на окружающую среду // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2007. № 4. С. 140–143.
 22. Патент РФ № 2675871. *Способ осаждения сапонитовой пульпы с применением кальцийалюмосиликатного реагента* / Алексеев А.И., Бричкин В.Н., Зубкова О.С., Конончук О.О. Заявл. 17.10.2017. Опубл. 25.12.2018. Бюл. № 36.
 23. Запольский А.К., Коган А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: свойства. Получение. Применение. Л.: Химия, 1987. 208 с.
 24. Тутыгин А.С., Шинкарук А.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Махова Т.А. Осветление сапонитсодержащей суспензии методом электронной коагуляции // *Вода: химия и экология*. 2013. № 5. С. 93–99.
 25. *Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1400 (077053). DOI: 10.1088/1742-6596/1400/7/077056
 13. Morozova M.V. Thermal modification of saponite-containing kimberlite ore beneficiation wastes. *Construction – the formation of the living environment: a collection of scientific papers of the XVI International Interuniversity Scientific and Practical Conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists*. Moscow: MGSU. 2013, pp. 534–536. (In Russian).
 14. Ayzenshtadt A.M., Korolev Ye.V., Drozdyuk T.A., Danilov V.Ye., Frolova M.A. possible approach to estimating the dispersion interaction in powder systems. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*. 2021. No. 3, pp. 40–48. DOI: 10.30791/0015-3214-2021-3-40-48. (In Russian).
 15. Deryagin B.V., Abrikosov Ye.M., Lifshits Ye.M. Molecular attraction of condensed bodies. *Uspekhi fizicheskoy khimii*. 2015. Vol. 185. No. 9, pp. 982–1001. (In Russian).
 16. Roldugin V.I. *Fizikokhimiya poverkhnosti: Uchebnik-monografiya [Physicochemistry of surfaces: Textbook-monograph]*. Dolgoprudny: Publishing house “Intellect”. 2008. 508 p.
 17. Deryagin B.V., Churayev N.V. *Smachivayushchiye plenki [Wetting films]*. Moscow: Nauka. 1984. 159 p.
 18. Sokolova Y.V., Ayzenshtadt A.M., Strokova V.V., Malkov V.S. Surface tension determination in glyoxal-silica dispersed system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1038. No. 1 (012141). DOI: 10.1088/1742-6596/1038/1/012141
 19. Frolova M.A., Tutygin A.S., Ayzenshtadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A., Pospelova T.A. Criterion for evaluating the energy properties of the surface. *Nanosistemy: fizika, khimiya, matematika*. 2011. No. 2 (4), pp. 1–6. (In Russian).
 20. Patent RF №2448052. *Sposob sgushcheniya saponitovoy suspenzii [Method for thickening saponite suspension]* / Utin A.V. Declared 08.11.2010. Published 20.04.2012. Bulletin No. 11. (In Russian).
 21. Nevzorov A. L., Korshunov A. A. Study of the properties of tailings deposits as a source of anthropogenic impact on the environment. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2007. No. 4, pp. 140–143. (In Russian).
 22. Patent RF № 2675871. *Sposob osazhdeniya saponitovoy pul'py s primeneniyem kal'tsiyalumossilikatnogo reagenta [Method for sedimentation of saponite pulp using calcium aluminosilicate reagent]* / Alekseev A.I., Brichkin V.N., Zubkova O.S., Kononchuk O.O. Declared 17.10.2017. Published 25.12.2018. Bulletin No. 36. (In Russian).
 23. Zapolskiy A.K., Kogan A.A. *Koagulyanty i flokulyanty v protsessakh ochistki vody: svoystva. Polucheniye. Primeneniye [Coagulants and flocculants in water purification processes: properties. Receiving. Application]* Leningrad: Chemistry. 1987. 208 p.
 24. Tutygin A.S., Shinkaruk A.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A., Makhova T.A. Clarification of saponite-containing suspension by electron coagulation. *Zhurnal Voda: khimiya i ekologiya*. 2013. No. 5, pp. 93–99. (In Russian).



Памяти Владимира Сергеевича ГРЫЗЛОВА

Прошел ровно год, как ушел из жизни ученый и педагог, доктор технических наук, почетный профессор Череповецкого государственного университета Владимир Сергеевич Грызлов – мой отец, мой наставник. В 2006 г., понимая специфику работы научно-технического журнала, он предложил главному редактору журнала «Строительные материалы»® М.Г. Рублевской мою кандидатуру на должность научного редактора. В то время я защитила кандидатскую диссертацию и, получив звание доцента, проработала несколько лет в университете. Он был моим научным консультантом при подготовке кандидатской диссертации наряду с руководителями – выдающимися учеными Московского химико-технологического института, докторами

техн. наук, проф. В.М. Колбасовым и В.С. Горшковым. Тему диссертации я выбрала, продолжая исследования отца в области использования отходов металлургического производства в строительстве. Работа научного редактора была мне незнакома. Поддержка коллег, которые обучали меня азам редактирования и особенностям ведения тактических научных переговоров с авторами, подарила мне почти пятнадцать лет работы в издательстве. И все эти годы мы с Владимиром Сергеевичем много общались, обсуждая состоявшиеся и планируя новые публикации. Он был постоянным автором и читателем журналов, создавал подборки из научных статей по различным направлениям строительного материаловедения, знакомил с ними коллег, студентов. Неоднократно рецензировал статьи. Всегда делился со мной своими знаниями. Профессионально обосновывал замечания, мог по телефону целую лекцию прочесть. И все время совершенствовался и трудился. В 2008 г. сотрудники ООО РИФ «Стройматериалы» приступили к изданию журнала «Жилищное строительство». А в 2020 г. – к изданию журнала «Бетон и железобетон». Как был рад отец, что журналы издаются и совершенствуются! Три эти журнала, одни из самых авторитетных в СССР, в детстве были неотъемлемой частью и моей жизни. Они всегда лежали на столе у отца – в то время ученые выписывали научно-технические журналы! И я с особым интересом рассматривала каждый новый номер, хотя мало что понимала. Но этот мир графиков, фотографий, схем и диаграмм манил меня. И я горжусь, что выбрала одну из самых уважаемых профессий в мире – строитель!

Владимир Сергеевич Грызлов начал трудовую деятельность в 1965 г. в должности мастера на заводе ЖБИ в Липецке после окончания Воронежского инженерно-строительного института. Интерес к исследовательской работе привел его в Центральную научно-исследовательскую лабораторию (ЦНИЛ) по строительству и стройматериалам Главлипецкстроя Минтяжстроя СССР, где со временем Владимир Сергеевич стал заведующим отделом использования шлаков в строительстве. Он исследовал эксплуатационные свойства ограждающих конструкций из шлакопемзобетона и в 1976 г. защитил кандидатскую диссертацию в НИИЖБ (Москва). С 1980 г. Владимир Сергеевич занимался подготовкой специалистов в области строительного материаловедения в Липецком политехническом институте и продолжал научные исследования. В 1990 г. в Ленинградском институте железнодорожного транспорта он защитил докторскую диссертацию, а с 1991 г. возглавил Череповецкий филиал Вологодского политехнического института.

В 1996 г. после слияния педагогического и промышленного института Владимир Сергеевич избран ректором Череповецкого государственного университета – опорного вуза Вологодской области. Под его руководством сформировалась научная школа строительного материаловедения в Череповце. В этот период сделан значительный вклад в развитие и разработку методологических основ структурообразования легкого бетона при эффективном использовании вторичных продуктов металлургической и химической промышленности, опубликованы научные работы по совершенствованию и улучшению эксплуатационных свойств шлакобетонов, в том числе в журнале «Строительные материалы», автором которого Владимир Сергеевич являлся более сорока лет. Целый ряд статей Владимир Сергеевич посвятил компетентностному подходу к подготовке специалистов по направлению «Строительство». Этим вопросам посвящена монография «Компетентностно-модульный подход в высшем техническом образовании» (2015), где рассмотрены вопросы проектирования кредитно-модульной структуры основной образовательной программы. Большое внимание Владимир Сергеевич уделял вопросам корпоративного взаимодействия вуза, региона и бизнес-сообщества. В 2005 г. Владимир Сергеевич Грызлов стал лауреатом международной награды имени королевы Виктории «За честь, достоинство и доблесть», которую ему вручили на международной конференции «Европейское образование-2005» в Оксфорде.

Ученики Владимира Сергеевича продолжают научную и творческую деятельность в области строительного материаловедения. Приведенные в монографии «Структурный подход в оценке теплопроводности легкого бетона» (2018) математические модели теплопроводности легкого бетона с учетом микро- и макроструктурных составляющих; исследования цементной матрицы, как основного фактора, определяющего теплопроводность легкого бетона слитного строения; данные по изменению теплопроводности бетона в период его адаптации в ограждающей конструкции при эксплуатационных воздействиях; инженерный подход к предпроектному выбору условий назначения нормативного значения сопротивления теплопередаче, исходя из стационарных особенностей теплопередачи и тепловой инерционности ограждающих конструкций, являются основополагающими для исследований молодых ученых.

Владимир Сергеевич Грызлов – заслуженный деятель науки РФ, почетный строитель России, автор более 280 публикаций, в том числе 8 монографий и 17 изобретений. Он был советником Российской академии архитектуры и строительных наук, членом Российской академии естественных наук, членом Нью-Йоркской академии наук.

В 2021 г. кафедре строительства Череповецкого государственного университета (Вологодская обл.) присвоено имя В.С. Грызлова – первого ректора первого классического университета России, открытого не в областном центре Российской Федерации!

Светлая память о нем навсегда останется в сердцах многих и многих людей!

*Лада Владимировна Сапачева, канд. техн. наук,
зам. главного редактора журнала «Жилищное строительство»*

Диалог регионов на строительном форуме 100+ TechnoBuild в Екатеринбурге

Dialogue of regions at the 100+ Tekhnobuild Construction Forum in Yekaterinburg

III Международный строительный форум и выставка 100+ TechnoBuild, которые прошли в Екатеринбурге 5–7 октября 2021 г., собрали рекордное количество спикеров — более 500 экспертов выступило на 120 сессиях. Журналы «Жилищное строительство» и «Строительные материалы» выступили информационными партнерами мероприятия. Участники 100+ TechnoBuild обсудили тренды и перспективы в области строительного нормирования, проектирования, ценообразования, экологического строительства, модели развития городов, а также опыт иностранных компаний. На выставке 100+ TechnoBuild материалы и технологии представили 225 компаний.

The III International Construction Forum and the 100+ TechnoBuild Exhibition, which took place in Yekaterinburg on October 5–7, 2021, gathered a record number of speakers – more than 500 experts spoke at 120 sessions. The magazines «Housing Construction» and «Construction Materials» acted as information partners of the event. The participants of 100+ Tekhnobuild discussed trends and prospects in the field of construction rationing, design, pricing, environmental construction, urban development models, and the experience of foreign companies. 225 companies presented materials and technologies at the 100+ TechnoBuild exhibition.



Будущее строительной отрасли с застройщиками и представителями региональных властей на пленарном заседании обсудили вице-премьер РФ М.Ш. Хуснуллин и министр строительства и ЖКХ РФ И.Э. Файзуллин. По его словам, за годы существования форум стал центром внутрироссийского и международного общения по основному направлению развития строительной отрасли. Происходит много изменений по сокращению инвестиционно-строительного цикла. Вносятся изменения в нормативные акты, разрабатываются постановления Правительства РФ и приказы Минстроя, позволяющие ускорить процесс строительства. Предложения, которые появятся в результате деловой программы форума, будут проанализированы и запущены в работу Минстроем России для достижения национальных целей и выполнения поручений Президента и Премьер-министра РФ.

Наибольший интерес участников вызвали вопросы реформы системы техрегулирования в строительстве. Внедрение многих процессов, инноваций, российских и зарубежных технологий тормозится из-за отсутствия необходимого нормативно-





технического документа. Множество документов противоречат друг другу, устарели, преследуют узковедомственные интересы. Необходимо отметить, что один ГОСТ или СП может содержать несколько сотен требований, а документов технического регулирования строительной отрасли только в Федеральном реестре насчитывается более 2 тыс. По мнению заместителя министра строительства России, главы ТК 465 «Строительство» С.Г. Музыченко, нормативная база строительства долгое время не обновлялась, а советские СНИПы просто переписывались и назывались актуализированными. В последние два года трансформация нормативной базы идет в постоянном поиске баланса между безопасностью и ускорением строительства. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 28 мая 2021 г. № 815 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил)», в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент

о безопасности зданий и сооружений», за два года сокращено почти 7 тыс. обязательных требований. В ходе этого секвестра сокращены избыточные требования, содержащие ссылки на документы добровольного применения, документы Роспотребнадзора и т. д. Убраны ссылки на градостроительные документы, которые не относятся к системе техрегулирования. Ряд документов переведен из обязательных в рекомендательные без ущерба для безопасности строительства. В ближайшее время на новых сводах правил будет опробована новая процедура согласования – она должна сократить срок с 90 до 60 дней, включая согласование со смежными ТК, а также сократить срок введения в действие новых СП с шести месяцев до одного.

При этом Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» (№ 384-ФЗ) разделил все требования на обязательные и добровольные, но до сих пор нет четкого объяснения, что это такое и как они должны соблюдаться и соотноситься между собой. Своды правил состоят из обязательных и добровольных частей, разделов и требований зачастую вперемешку, что крайне затрудняет их использование. Профессиональное сообщество требует структурирования этих требований, выделения в СП обязательной и добровольной частей или разделения СП на обязательные и добровольные. Было отмечено, что удалось навести порядок с разработкой СТУ, которые разрабатывались по любому поводу и ежегодно появлялись сотнями по формальному признаку. Каждое СТУ – это около 2 млн р. на разработку и утверждение. Еще один вопрос – разработка новых и актуализация действующих ГОСТов и СП. Ежегодно их появляется около ста (часть – за бюджетные средства), однако до сих пор не решен вопрос с дублированием и противоречием этих документов.

Очень важно продолжить работу над техрегламентом Евразийского экономического союза (ЕАЭС) «О безопасности строительных материалов и изделий». В 2022 г. он уже должен поступить на открытое обсуждение. Это тем более важно, что российский рынок стройматериалов фактически не защищен от фальсифицированной, контрафактной и низкокачественной продукции. Известно, что только фальсифицированного цемента на рынке РФ около 5 млн т.

Конечная цель – создание системы управления нормативными требованиями в строительной отрасли. Все нормативные требования должны быть прозрачны, доступны и размещены в единой системе. Предполагается, что держателем этой системы и реестра будет Минстрой России. Громоздкая система технического регулирования и оценки соответствия должна постепенно уходить, а бизнес должен сам отвечать за то, что строит.

На круглом столе Минстроя РФ «Типовое проектирование в Российской Федерации» был озвучен новый термин – «образцовое проектирование». Он пришел на смену «проектированию повторного применения». Как известно, обсуждается проект федерального закона о внесении изменений в Градостроительный кодекс РФ. В советское время типовое проектирование было практически повсеместным. В современных условиях предлагается вернуться к этой практике, но на новом уровне, с учетом современных достижений в строительных технологиях, новых строительных материалов. Некоторые проекты при определенных условиях можно тиражировать. Это, безусловно, не исключает их дальнейшей привязки к месту, уже на индивидуальной основе. В индивидуальном поряд-

ке также будут учитываться климатические и природные условия региона, его сейсмика. В разряд «тиражируемых» попадут в первую очередь объекты образования (школы и детские сады), культуры, спорта, а также социальные объекты. Что дает использование таких образцовых проектов? Прежде всего это сокращение сроков строительства за счет сокращения времени на прохождение экспертизы. Типовой проект будет гораздо дешевле – в нем изначально заложены самые эффективные строительные решения.

Участники Российского форума BIM-технологий обсудили использование BIM-моделей в формате с открытой спецификацией (IFC) для формирования сметного расчета, графика СМР и сбора исполнительной документации; высказали экспертные мнения по поводу среды общих данных для участников инвестиционно-строительных проектов; рассказали о построении сквозного бизнес-процесса управления строительством на основе технологий смешанной и дополненной реальности.

Очень интересная секция прошла под руководством ректора УрГАХУ А.В. Долгова. Рассматривались вопросы работы с памятниками архитектуры и способы органично встроить эти здания в постиндустриальную среду. Жесткие требования охранных регламентов – главный фактор, сдерживающий желание застройщиков инвестировать в реновацию объектов наследия. Правовое регулирование не может решить проблему вкуса и архитектурного мастерства, но тормозит развитие центра мегаполиса и способствует разрастанию депрессивных территорий, выключенных из городского контекста. Город и его исторический центр как место концентрации культуры, смыслов и связей должен развиваться, а архитектура – работать и соответствовать актуальным потребностям жителей. Сохранять объекты наследия необходимо, но не путем музеефикации. Исторические здания должны быть вовлечены в повседневную деятельность человека. Система регулирования должна соответствовать ценностям городского развития. Формальное следование регламентам не гарантирует высокого качества реставрации. Соблюдая нормы, объект культурного наследия можно сохранить, но при этом не вписывать его в пространство улицы и квартала, не интегрировать во вновь создаваемую среду. И в итоге реставрация становится насмешкой над памятником, превращая его в подлинные руины, которые не находят применения в новом контексте.

Грамотная реставрация, по мнению девелопера, возможна при соблюдении двух правил. Первое – дифференциация исторических памятников и определение уникальных норм регулирования для них. Важно выявить ценность, которую транслирует объект. Если она заключается в материалах, принципах строительства, личности человека, жившего в этом здании, то историческая скрупулезность должна быть выведена на первое место. Если же это «средовой объект», который должен сохранить территорию с точки зрения масштаба, то возможен менее детальный подход. Второе – рассмотрение объекта культурного наследия в качестве отдельного инвестиционного проекта. Без изменения сценариев использования пространства органично включить исторические памятники в современный контекст невозможно.

Известно, что в Екатеринбурге запущен в жизнь проект по сохранению памяти горнозаводской цивилизации на Урале. В настоящее время освоением темы индустриального насле-



дия уральских заводчиков занимаются в проекте «Гора Белая» (п. Висим), где изучают наследие Демидовых, а наследие Яковлевых – в Сысерти.

Традиционно в рамках форума состоялась сессия НИИС РААСН «Технологии обеспечения комфортной и экологичной среды обитания человека». Под руководством д-ра техн. наук, зам. директора по научной работе НИИСФ РААСН Н.П. Умняковой коллеги обсудили глобальные вопросы изменения климата на территории России; влияние выбросов загрязняющих веществ в атмосферу; вопросы снижения вибро- и шумозагрязненности крупных городов за счет виброзащиты зданий; проблемы нормирования теплотехнических показателей теплоизоляционных материалов; информационное моделирование для обеспечения комфортной среды. На секции выступили молодые ученые института, которые продемонстрировали глубокие знания и практическое их применение при решении проблем обеспечения комфортной городской среды.

Тема «зеленого» строительства стала ключевой на одной из сессий. Было отмечено, что на строительную отрасль приходится 40% общемировых выбросов CO₂. Коллеги из Великобритании отметили, что первый метод экологической оценки зданий был разработан и внедрен там еще в 1990-е гг. При этом, несмотря на новизну «зеленого» строительства, в России насчитывается немало проектов, использующих самые передовые технологии, в частности по организации зеленого пространства на крыше, а также на лицевых фасадах зданий.

В рамках проведения 100+ TechnoBuild впервые прошла церемония награждения лауреатов российского «инженерного Оскара» – Всероссийской инженерно-архитектурной премии 100+ AWARDS. Гран-при 100+ AWARDS получило ЗАО «ГОРПРОЕКТ» за проект общественно-делового комплекса «Лахта-центр» в Санкт-Петербурге.

Ведущий строительный вуз страны МИСИ-МГСУ отметил 100-летие!

The Country's Leading Civil Engineering University – Moscow State University of Civil Engineering (MISI-MGSU) Celebrated it's 100th Anniversary!



22 ноября 2021 г. в Большом Кремлевском дворце состоялась торжественная церемония празднования 100-летнего юбилея НИУ МГСУ. Главный строительный университет страны поздравили Президент Российской Федерации В.В. Путин, министр строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации И.Э. Файзуллин, заместитель министра науки и высшего образования Российской Федерации А.Р. Гатиятов, мэр Москвы С.С. Собянин, президент РАН А.М. Сергеев, руководители организаций, входящих в отраслевой консорциум «Строительство и архитектура». Почетными гостями на юбилее были представители дипломатического корпуса, послы стран, чьи граждане учатся в НИУ МГСУ.

В поздравлении В.В. Путина, которое зачитал помощник Президента М.С. Орешкин, было отмечено, что вуз внес значимый, поистине уникальный вклад в развитие отечественной строительной отрасли, совершенствование промышленной, энергетической, транспортной, дорожной инфраструктуры, в укрепление научно-технического потенциала нашей страны. Многие поколения выпускников университета всегда достойно решали поставленные задачи, своим трудом вписали яркие, созидательные страницы в историю Отечества. Очевидно, что Московский государственный строительный университет и сегодня занимает прочные позиции в системе высшего образования, является одним из признанных лидеров подготовки инженерных и научных кадров.

На торжественной церемонии состоялось вручение почетных наград преподавателям и сотрудникам вуза. На сцене Государственного Кремлевского Дворца ректор НИУ МГСУ П.А. Акимов был награжден нагрудным знаком «Почетный строитель России». Знак отличия «За безупречную службу городу Москве» получили почетный президент НИУ МГСУ В.И. Теличенко, директор Научно-образовательного центра испытания сооружений Ю.С. Кунин и руководитель Научно-исследовательской лаборатории инженерных исследований и мониторинга строительных конструкций А.В. Коргин. Нагрудными знаками «Почетный наставник» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации были награждены профессор кафедры экономики и управления в строительстве И.Г. Лукманова и профессор кафедры механики грунтов и геотехники З.Г. Тер-Мартirosян.

В поздравительной речи ректора НИУ МГСУ П.А. Акимова были отмечены достижения, с которыми коллектив университета подошел к празднованию 100-летия вуза. Осенью 2021 г. НИУ МГСУ впервые вошел в авторитетный международный рейтинг вузов Times Higher Education, был на конкурсной основе отобран в число участников новой государственной программы поддержки вузов – программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», объединив при этом все архитектурно-строительные вузы страны в составе отраслевого консорциума «Строительство и архитектура».

Праздничное мероприятие прошло с участием звезд российской эстрады, которые выступали совместно с творческими коллективами НИУ МГСУ.

НИУ МГСУ был основан 14 ноября 1921 г. как Московский практический строительный институт, который в 1932 г. был преобразован в Московский инженерно-строительный институт (МИСИ). В 1993 г. институт был переименован в Московский государственный строительный университет. В 2010 г. МГСУ стал победителем конкурсного отбора программ развития университетов и получил категорию Национальный исследовательский университет (НИУ МГСУ). За 100 лет работы МИСИ-МГСУ выпустил более 150 тыс. инженеров-строителей.

По материалам НИУ МГСУ

УДК 666.94

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-41-46>

М.С. ГАРКАВИ¹, д-р техн. наук (mgarkavi@mail.ru), А.В. АРТАМОНОВ¹, канд. техн. наук (aav@uralomega.ru), А.В. СТАВЦЕВА¹, инженер (sav@uralomega.ru); Е.В. КОЛОДЕЖНАЯ², канд. техн. наук (kev@uralomega.ru); С.А. ДЕРГУНОВ³, канд. техн. наук (dergunow79@mail.ru), С.В. СЕРИКОВ³, инженер (svserikov@list.ru)

¹ ЗАО «Урал-Омега» (455037, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 89, стр. 7)

² Институт проблем комплексного освоения недр РАН (111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4)

³ Оренбургский государственный университет (460018, г. Оренбург, просп. Победы, 13)

Моделирование структурных преобразований при измельчении композиционного цемента

Композиционный цемент – это современный строительный материал, в составе которого содержится минеральный компонент, улучшающий технологические свойства цемента. Производство и применение композиционных цементов с использованием минеральных компонентов техногенного происхождения приобретают повышенную значимость благодаря их преимуществам как с экономической, так и с экологической точки зрения. При измельчении компонентов композиционного цемента в энергонапряженной центробежно-ударной мельнице образуются агломераты частиц – механокомпозиты, влияющие на свойства готового продукта. Предложена феноменологическая математическая модель структурных преобразований порошковой смеси компонентов при изготовлении композиционного цемента. Аналитическими и численными методами исследована кинетика изменения размеров частиц и механокомпозитов, а также их концентрации в композиционном цементе. Выявлены основные параметры процесса измельчения, позволяющие получать композиционный цемент с заданными характеристиками.

Ключевые слова: композиционный цемент, измельчение, механокомпозит, математическая модель.

Для цитирования: Гаркави М.С., Артамонов А.В., Ставцева А.В., Колодежная Е.В., Дергунов С.А., Сериков С.В. Моделирование структурных преобразований при измельчении композиционного цемента // *Строительные материалы*. 2021. № 11. С. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-41-46>

M.S. GARKAVI¹, Doctor of Sciences (Engineering) (mgarkavi@mail.ru), A.V. ARTAMONOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (aav@uralomega.ru), A.V. STAVTSEVA¹, Engineer (sav@uralomega.ru); E.V. KOLODEZHAYA², Candidate of Sciences (Engineering) (kev@uralomega.ru); S.A. DERGUNOV³, Candidate of Sciences (Engineering) (dergunow79@mail.ru), S.V. SERIKOV³, Engineer (svserikov@list.ru)

¹ Ural-Omega ZAO (89, bldg. 7, Lenina Avenue, Magnitogorsk, 455037, Russian Federation)

² Institute for the Problems of Integrated Development of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences (4, Kryukovsky Tupik, Moscow, 111020, Russian Federation)

³ Orenburg State University (13, Prospect Pobedy, Orenburg, 460018, Russian Federation)

Modeling of Structural Transformations when Grinding Composite Cement

Composite cement is a modern building material, which contains a mineral component that improves the technological properties of cement. The production and application of composite cements with the use of mineral components of technogenic origin is gaining increased importance due to their advantages both from an economic and ecological point of view. When grinding the components of composite cement in an energetically stressed centrifugal impact mill, agglomerates of particles are formed – mechano-composites that affect the properties of the finished product. A phenomenological mathematical model of structural transformations of a powder mixture of components when manufacturing the composite cement is proposed. The kinetics of changes in the sizes of particles and mechano-composites, as well as their concentrations in composite cement, have been studied by analytical and numerical methods. The main parameters of the grinding process, which make it possible to obtain composite cement with the specified characteristics, have been identified.

Keywords: composite cement, grinding, mechano-composite, mathematical model.

For citation: Garkavi M.S., Artamonov A.V., Stavtseva A.V., Kolodezhnaya E.V., Dergunov S.A., Serikov S.V. Modeling of structural transformations when grinding composite cement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 11, pp. 41–46. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-41-46>

Для цементной промышленности важным является вопрос повышения экономической эффективности производства. Одним из путей его решения является использование отходов различных производств для изготовления композиционных цементов [1–5].

Композиционный цемент – это современный строительный материал, в составе которого содержится минеральный компонент, улучшающий технологические свойства цемента. В настоящее время композиционные цементы успешно применяются во многих странах при выполнении общестроительных работ, строительстве гидротехнических сооружений, для изготовления сухих строительных смесей. В практике цементных заводов РФ композиционные

цементы еще не нашли широкого применения вследствие недостаточной изученности влияния минеральных компонентов на формирование их структуры в процессе помола.

Как известно, помол является важнейшей технологической операцией при производстве цемента. Несмотря на многочисленные исследования, направленные на снижение энергозатрат и оптимизацию процесса измельчения, проблема далека от решения [6–11]. В настоящее время важное значение приобретают задачи моделирования и управления процессами, протекающими при тонком измельчении твердых тел [12]. Используемые при этом различные соотношения, описывающие кинетику измельче-

ния [10], являются эмпирическими, что не позволяет получить точных количественных данных. Весьма сложной становится задача при совместном измельчении нескольких порошковых компонентов, так как в этом случае происходит не только измельчение и агломерация однородных частиц, но и образуются разнородные агломераты — механокомпозиты [13].

Образование механокомпозитов происходит путем «намазывания» одного из компонентов смеси на другой в местах их фрикционного контакта. В ходе механообработки происходит непрерывное измельчение таких слоистых образований и формирование из них новых с более сложной внутренней структурой. Наличие механокомпозитов в составе композиционного цемента оказывает влияние на его твердение и свойства, поэтому важной задачей является определение размера и концентрации указанных образований. Одновременно с измельчением и образованием механокомпозитов в компонентах композиционного цемента создаются дополнительные структурные дефекты, в которых аккумулируется избыточная по сравнению с необработанным материалом энергия [14].

Одним из методов решения отмеченных технологических задач является математическое моделирование. Хотя в большинстве случаев моделирование не дает точных результатов, однако появляется возможность осуществлять целенаправленный поиск рациональных технологических параметров этого процесса. В данной работе предлагается феноменологическая модель изменения структуры композиционного двухкомпонентного цемента в процессе его измельчения в энергонапряженной центробежно-ударной мельнице [15, 16]. При построении математической модели использован подход, реализованный в работах [17, 18].

Математическая модель

Будем рассматривать бинарную смесь компонентов для изготовления композиционного цемента, состоящую из портландцементного клинкера K и минеральной добавки D (например, металлургического шлака). Содержанием гипса в композиционном цементе можно пренебречь из-за его малой доли по сравнению с другими компонентами. При этом минеральный компонент D цемента измельчается хуже, чем портландцементный клинкер K [19].

Для построения математической модели приняты следующие допущения:

1. Составляющие смесь частицы клинкера, минеральной добавки и образующихся агломератов имеют сферическую форму, которая не изменяется в процессе измельчения. При этом все частицы клинкера, минеральной добавки и агломератов имеют одинаковый размер.

2. Компоненты композиционного цемента, в том числе и образующиеся разнородные агломераты (механокомпозиты), измельчаются независимо друг от друга.

3. Скорость измельчения отдельных компонентов композиционного цемента описывается известными соотношениями [10].

4. Различием в плотности измельчаемых компонентов для упрощения модели пренебрегаем.

5. Образующиеся агломераты содержат частицы обоих компонентов смеси. В процессе измельчения может изменяться соотношение компонентов в агломератах и их размер.

В общем случае минеральная добавка в композиционном цементе находится как в свободном состоянии, так и в агломерате (механокомпозите). При измельчении компонентов композиционного цемента объем образующихся агломератов увеличивается за счет взаимодействия частиц клинкера и минеральной добавки.

Исходя из принятого допущения 4 концентрация минеральной добавки в агломерате (механокомпозите) определяется простым соотношением:

$$C_D = \frac{\mu_{0D} - \mu_D}{\mu_{MC}}. \quad (1)$$

Относительные объемы μ компонентов композиционного цемента связаны соотношением:

$$\mu_K + \mu_D + \mu_{MC} = 1. \quad (2)$$

Скорость образования агломератов зависит от размеров, формы, количества частиц, их реологических свойств, условий взаимодействия в местах их физического контакта. На скорость образования агломератов влияет также доля механической энергии, которая передается в мельнице измельчаемым материалам и изменяет их физико-химические свойства [13, 18]. В общем случае все эти параметры меняются в процессе измельчения, поэтому полностью учесть их изменения не представляется возможным. В связи с этим для определения кинетики агломерации в соответствии с [18] принята вероятностная модель, согласно которой скорость агломерации пропорциональна объемным долям компонентов композиционного цемента.

Скорость увеличения относительного объема механокомпозитов (MC) в результате агломерации клинкера и минеральной добавки в процессе измельчения пропорциональна их объему и может быть определена по следующему соотношению [17]:

$$\frac{d\mu_{MC}}{dt} = q \cdot \mu_K \cdot \mu_D, \quad (3)$$

где q — константа скорости агломерации; μ_K , μ_D и μ_{MC} — относительные объемы клинкера, минеральной добавки и агломерата (механокомпозита) соответственно.

В каждый момент времени выполняется равенство:

$$\frac{dV_K}{dV_D} = \beta \frac{V_K}{V_D}, \quad (4)$$

т. е. объемы частиц клинкера и минеральной добавки, которые образуют механокомпозиты, пропорциональны их общим объемам в смеси, где V_K , V_D — объ-

емные доли компонентов композиционного цемента; β – коэффициент, учитывающий различие реологических свойств компонентов композиционного цемента (насыпная плотность, угол естественного откоса, коэффициент внутреннего трения и др.). Коэффициент β изменяется от 0 (агломераты их разнородных частиц не образуются) до 1 (равное участие компонентов с одинаковыми реологическими свойствами в образовании агломератов).

Используя соотношение (3), получим уравнения, описывающие кинетику изменения объемных долей компонентов композиционного цемента при образовании из них механокомпозитов:

$$\frac{d\mu_K}{d\tau} = \frac{\beta \mu_D \mu_K^2}{\beta \mu_K + \mu_D} q \quad \text{и} \quad \frac{d\mu_D}{d\tau} = \frac{\beta \mu_K \mu_D^2}{\beta \mu_D + \mu_K} q. \quad (5)$$

Изменение площади поверхности частиц механокомпозита в течение процесса измельчения можно представить в виде [18]:

$$\frac{dS_{MC}}{d\tau} = \frac{\partial S_{MC}}{\partial \mu_{MC}} \cdot \frac{d\mu_{MC}}{d\tau}, \quad (6)$$

где S_K , S_D и S_{MC} – удельные поверхности клинкера, минеральной добавки и механокомпозита.

Поскольку механокомпозит формируется из частиц клинкера и минеральной добавки, то, опуская математические преобразования, размер частиц механокомпозита r_{MC} может быть определен из уравнения:

$$r_{MC} = \frac{r_D \cdot d\mu_D/d\tau + r_K \cdot d\mu_K/d\tau}{d\mu_D/d\tau + d\mu_K/d\tau}, \quad (7)$$

где r_D и r_K – размеры частиц минеральной добавки и клинкера соответственно.

Полученные уравнения образуют математическую модель измельчения порошковой смеси компонентов композиционного цемента с учетом образования агломератов (механокомпозитов) из частиц исходных веществ в местах их физического (фрикционного) контакта.

Анализ математической модели

Так как рассматривается измельчение компонентов композиционного цемента в центробежно-ударной мельнице, длительность этого процесса не превышает нескольких минут [16]. Примем, что константы агломерации и реологические свойства измельчаемых компонентов одинаковы, а также допустим, что имеем равное участие клинкера и минеральной добавки в образовании механокомпозитов, т. е. $\beta=1$.

Исходя из этого допущения и учитывая соотношение (5), получаем уравнение, которое связывает объемы компонентов композиционного цемента:

$$\mu_D = \mu_{0D} \left(\frac{\mu_K}{\mu_{0K}} \right)^\beta, \quad (8)$$

где μ_{0K} , μ_{0D} – относительные объемы компонентов в начале процесса измельчения ($\tau=0$).

Для относительного объема механокомпозитов в соответствии с (2):

$$\mu_{MC} = 1 - \mu_K - \mu_{0D} \left(\frac{\mu_K}{\mu_{0K}} \right)^\beta. \quad (9)$$

Кинетика изменения объемных долей компонентов композиционного цемента, а также объемной доли механокомпозитов в течение процесса измельчения описывается следующими соотношениями:

$$\mu_K = \frac{\mu_{0K}}{\mu_{0D} \mu_{0K} [\exp(q\tau) - 1] + 1}; \quad (10)$$

$$\mu_D = \frac{\mu_{0D}}{\mu_{0D} \mu_{0K} [\exp(q\tau) - 1] + 1}; \quad (11)$$

$$\mu_{MC} = 1 - \frac{1}{\mu_{0D} \mu_{0K} [\exp(q\tau) - 1] + 1}. \quad (12)$$

Изменение удельной поверхности компонентов композиционного цемента в течение процесса измельчения описывается следующими уравнениями [18]:

$$S_D = S_{mD} [1 - \exp(-\frac{k_D \tau}{S_{mD}})]; \quad (13)$$

$$S_K = S_{mK} [1 - \exp(-\frac{k_K \tau}{S_{mK}})], \quad (14)$$

где S_{mD} и S_{mK} – максимально достижимые удельные поверхности минеральной добавки и клинкера соответственно; k_D и k_K – константы скорости измельчения минеральной добавки и клинкера соответственно.

Величина удельной поверхности образующихся механокомпозитов в соответствии с [13, 17] определяется по уравнению:

$$\frac{dS_{MC}}{d\tau} = \frac{S_D S_K \mu_D \mu_K (\beta \mu_D + \mu_K)}{(1 - \mu_D - \mu_K)(S_D \mu_K + \beta S_K \mu_D)} - \left(\frac{k_{MC}}{S_{mMC}} + \frac{\mu_D + \mu_K}{3} q \right). \quad (15)$$

где k_{MC} – константа скорости измельчения механокомпозитов; S_{mMC} – максимально достижимая удельная поверхность механокомпозитов.

Численное решение. Результаты и обсуждение

Для численного решения математической модели приняты следующие параметры компонентов композиционного цемента:

1. Исходные объемные доли клинкера $\mu_{0K}=0,7$, минеральной добавки $\mu_{0D}=0,3$.
2. Константа скорости агломерации $q = 1 \text{ мин}^{-1}$.
3. Коэффициент $\beta=1$.
4. Максимально достижимые удельные поверхности минеральной добавки и клинкера $S_{mD}=600 \text{ м}^2/\text{кг}$ и $S_{mK}=400 \text{ м}^2/\text{кг}$.
5. Константы скорости измельчения минеральной добавки и клинкера $k_D=600 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{мин})$ и $k_K=2000 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{мин})$.

На рис. 1 приведено изменение объемных долей компонентов композиционного цемента в течение процесса измельчения, которое происходит монотонно со скоростью, определяемой их размолоспособностью, т. е. в соответствии с вышеприведенными константами скорости измельчения.

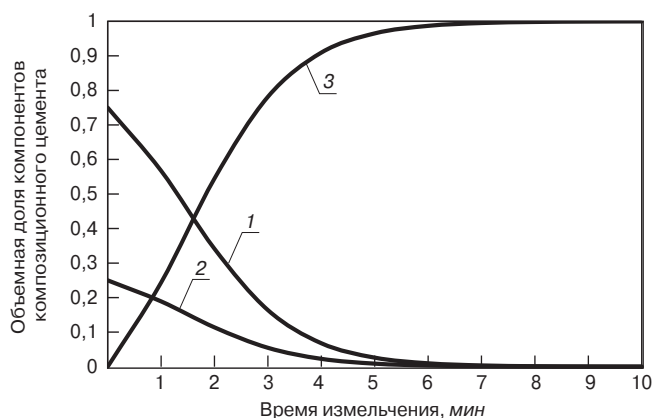


Рис. 1. Кинетика изменения объемных долей компонентов композиционного цемента при измельчении: 1 – клинкер; 2 – минеральная добавка; 3 – механокомпозит

Fig. 1. Kinetics of changes in the volume fractions of composite cement components during grinding: 1 – clinker; 2 – mineral supplement; 3 – mechanocomposite

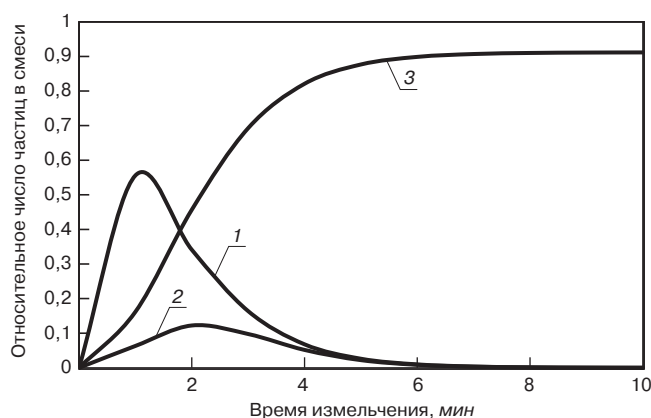


Рис. 2. Динамика изменения числа частиц компонентов композиционного цемента при измельчении: 1 – клинкер; 2 – минеральная добавка; 3 – механокомпозит

Fig. 2. Dynamics of changes in the number of particles of composite cement components during grinding: 1 – clinker; 2 – mineral supplement; 3 – mechanocomposite

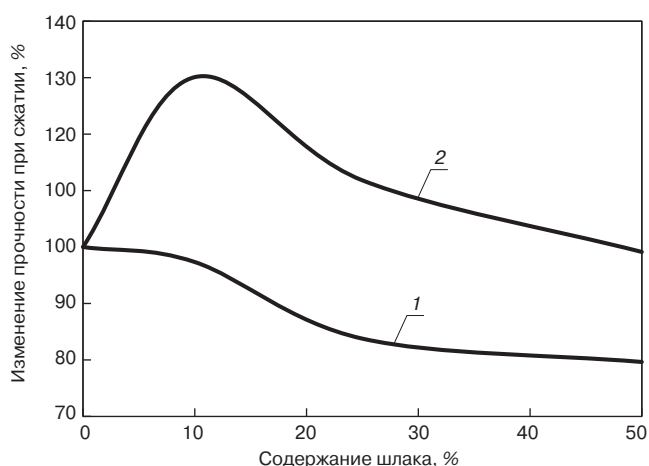


Рис. 3. Влияние способа измельчения и состава композиционного цемента на прочность после 28 сут нормального твердения [21]: 1 – раздельный помол; 2 – совместный помол

Fig. 3. Influence of grinding method and composition of composite cement strength after 28 days of normal hardening [21]: 1 – separate grinding; 2 – joint grinding

Как следует из представленных данных, при длительности измельчения в центробежно-ударной мельнице свыше 3 мин (это соответствует продолжительности реального процесса помола) компонентов композиционного цемента они теряют свою индивидуальность, т. е. продукт помола практически состоит из механокомпозитов. Радиус частиц механокомпозита, рассчитанный по уравнению (7), равен 6,9 мкм, что соответствует реальным размерам частиц композиционных цементов [15].

Кинетика изменения числа частиц компонентов композиционного цемента имеет иной характер (рис. 2). Относительное число частиц представляет собой отношение числа частиц в компоненте к максимальному числу частиц в цементе при полном измельчении компонентов.

В начале процесса помола наблюдается рост количества частиц как клинкера, так и минеральной добавки, причем положение локальных максимумов определяется различной размолоспособностью компонентов, а также степенью их участия в образова-

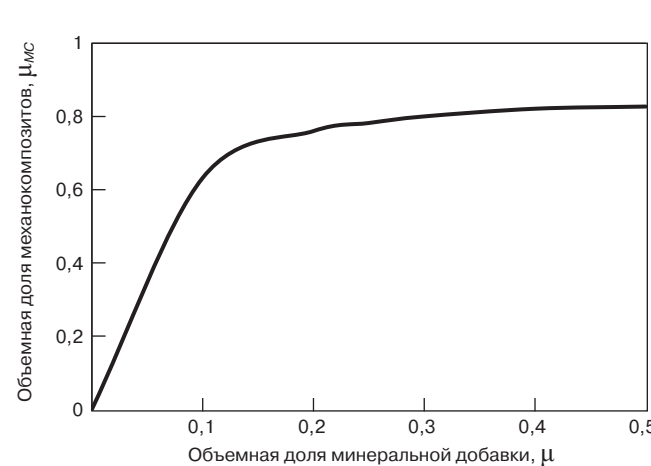


Рис. 4. Влияние состава композиционного цемента на количество механокомпозитов

Fig. 4. Influence of the composition of composite cement on the number of mechanocomposites

нии механокомпозитов. Относительное число частиц механокомпозита монотонно возрастает, что соответствует модели их формирования, рассмотренной в [20]. В соответствии с соотношением (12) с ростом содержания в смеси минеральной добавки увеличивается и доля в ней механокомпозита, причем полнота процесса их образования определяется и величиной константы скорости агломерации. В соответствии с (12) при росте константы скорости агломерации, которая зависит от мощности мельницы, объемная доля механокомпозитов быстро достигает величины, близкой к максимальной. Как показали расчеты, кинетика образования механокомпозитов согласно уравнению (15) практически не зависит от коэффициента β при любых значениях константы агломерации q .

В работах [21, 22] показано, что зависимость прочности композиционного цемента от степени наполнения его минеральным компонентом носит экстремальный характер, причем положение и значение максимума зависят и от способа измельчения компо-

зиционного цемента. На рис. 3 приведено изменение прочности композиционного цемента на основе портландцементного клинкера и доменного отвального шлака, изготовленного двумя способами: совместным измельчением компонентов в центробежно-ударной мельнице и смешением предварительно измельченных составляющих [21].

Использование энергонапряженной центробежно-ударной мельницы для совместного помола компонентов композиционного цемента позволяет получать вяжущее равной с исходным портландцементом прочности при содержании шлака до 50%. Содержание шлака в цементе, соответствующее его максимальной прочности, хорошо коррелирует с параметрами математической модели, приведенной в [20]. Следует отметить, что более высокие показатели прочности композиционного цемента совместно помол обусловлены образованием при его изготовлении механокомпозитов, максимальная доля которых соответствует объемной доле минеральной добавки, равной 0,3 (рис. 4).

Список литературы

1. Классен В.К., Шилова И.А., Текучева Е.В., Степанов В.В. Энерго- и ресурсосбережение при использовании техногенных материалов в технологии цемента // *Строительные материалы*. 2007. № 8. С. 18–19.
2. Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Энерго- и ресурсосбережение в производстве цемента при комплексном использовании техногенных материалов // *ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси*. 2009. № 6. С. 50–58.
3. Madloulab N.A., Saidurab R., Hossainab M.S., Rahimb N.A. A critical review on energy use and savings in the cement industries // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15. Iss. 4, pp. 2042–2060. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.005>
4. Brand A.S., Fanijo E.O. A review of the influence of steel furnace slag type on the properties of cementitious composites // *Applied Sciences*. 2020. No. 10. 8210. <https://doi.org/10.3390/app10228210>
5. Zbigniew Giergiczny. Fly ash and slag // *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 124. 105826. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105826>
6. Прокофьев В.Ю., Гордина Н.Е. Процессы измельчения и механохимической активации в технологии оксидной керамики (обзор) // *Стекло и керамика*. 2012. № 2. С. 29–34.
7. Заднепровский Р.П. Энергетика измельчения материалов различного физического состояния // *Технологии бетонов*. 2014. № 7. С. 11–15.
8. Шевченко А.Ф., Салей А.А., Сигунов А.А., Пескова Н.П. Пути интенсификации процесса помола цемента // *Вопросы химии и химической технологии*. 2008. № 5. С. 129–137.

Получение композиционного цемента такого состава в традиционной шаровой мельнице, как показали проведенные исследования, является проблематичным и сопровождается большими затратами энергии [22].

Заключение

Таким образом на основе макроскопического подхода построена математическая модель структурных преобразований композиционного цемента при его изготовлении из смеси компонентов при их совместном измельчении. Сопоставление аналитических и экспериментальных данных показывает их хорошее соответствие.

При получении композиционного цемента образуются механокомпозиты, количество которых определяются свойствами компонентов, их соотношением в смеси и параметрами измельчения. Образующиеся механокомпозиты способствуют повышению физико-механических характеристик композиционного цемента.

References

1. Klassen V.K., Shilova I.A., Tekucheva E.V., Stepanov V.V. Energy and resource saving when using technogenic materials in cement technology *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 8, pp. 18–19. (In Russian).
2. Borisov I.N., Manuilov V.E. Energy and resource saving in cement production with complex use of technogenic materials. *ALITinform: Tsement. Beton. Sukhie smesi*. 2009. No. 6, pp. 50–58. (In Russian).
3. Madloulab N.A., Saidurab R., Hossainab M.S., Rahimb N.A. A critical review on energy use and savings in the cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15. Iss. 4, pp. 2042–2060. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.005>
4. Brand A.S., Fanijo E.O. A review of the influence of steel furnace slag type on the properties of cementitious composites. *Applied Sciences*. 2020. No. 10. 8210. <https://doi.org/10.3390/app10228210>
5. Zbigniew Giergiczny. Fly ash and slag. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 124. 105826. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105826>
6. Prokofiev V.Yu., Gordin N.E. Processes of grinding and mechanochemical activation in the technology of oxide ceramics (review). *Steklo I keramika*. 2012. No. 2, pp. 29–34. (In Russian).
7. Zadneprovsky R.P. Power engineering of grinding materials of different physical state. *Tekhnologii betonov*. 2014. No. 7, pp. 11–15. (In Russian).
8. Shevchenko A.F., Salei A.A., Sigunov A.A., Peskova N.P. Ways to intensify the process of grinding cement. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2008. No. 5, pp. 129–137. (In Russian).
9. Pirotsky V.Z. Sovremennye sistemy izmel'cheniya tsementnogo klinkera i dobavok: Skhemy. Effektivnost'. Optimiza [Modern systems for grinding

9. Пироцкий В.З. Современные системы измельчения цементного клинкера и добавок: Схемы. Эффективность. Оптимизация. СПб., 2000. 71 с.
10. Ходаков Г.С. Физика измельчения. М.: Наука, 1972. 307 с.
11. Amit Rai, Prabakar J., Raju C.B., Morchalle R.K. Metallurgical slag as a component in blended cement // *Construction and Building Materials*. 2002. Vol. 16. Iss. 8, pp. 489–494. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00046-6](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00046-6)
12. Зиятдинов Н.Н. Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов и систем // *Теоретические основы химической технологии*. 2017. Т. 51. № 6. С. 613–618.
13. Смоляков В.К., Лапшин О.В., Болдырев В.В. Математическая модель механохимического синтеза в макроскопическом приближении // *Теоретические основы химической технологии*. 2008. Т. 42. № 1. С. 57–62.
14. Лапшин О.В., Смоляков В.К. Формирование слоистой структуры механокомпозиатов при измельчении бинарной смеси // *Химическая физика и мезоскопия*. 2013. Т. 15. № 2. С. 278–284.
15. Хрипачева И.С., Гаркави М.С. Смешанные цементы центробежно-ударного измельчения на основе доменного отвального шлака // *Строительные материалы*. 2010. № 8. С. 40–41.
16. Гаркави М.С., Воробьев В.В., Кушка В.Н., Свитов В.С. Современное оборудование для измельчения и классификации материалов // *Вестник БГТУ*. 2003. № 6. С. 280–284.
17. Лапшин О.В., Смоляков В.К. Динамика структурных превращений при измельчении бинарной смеси // *Физическая мезомеханика*. 2011. Т. 14. № 2. С. 77–84.
18. Лапшин О.В., Смоляков В.К. Моделирование синтеза механокомпозиатов в бинарных системах // *Физика горения и взрыва*. 2011. Т. 47. № 5. С. 63–74.
19. Кертон Ф. Перспективы рынка шлаковых цементов в Европе // *Цемент и его применение*. 2006. № 5. С. 12–17.
20. Гаркави М.С., Дергунов С.А., Сериков С.В. Формирование структуры композиционного цемента в процессе измельчения // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 65–68. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-65-68>
21. Артамонов А.В., Хрипачева И.С. Смешанные цементы центробежно-ударного помола. *Материалы 3-й Международной научно-технической конференции «Центробежная техника – высокие технологии»*. Минск. 2008. С. 65–68.
22. Хрипачева И.С., Гаркави М.С. Смешанные цементы центробежно-ударного измельчения на основе доменного отвального шлака // *Строительные материалы*. 2010. № 8. С. 40–41.
23. Garkavi M.S., Hripacheva I.S., Melchaeva O.K. Development of rational compositions of mixed cements. Non-Traditional Cement&Concrete IV. Brno, 2011, pp. 437–441.
- cement clinker and additives: Schemes. Efficiency. Optimization]. Saint Petersburg. 2000. 71 p.
10. Khodakov G.S. Fizika izmel'cheniya [Grinding physics]. Moscow: Nauka. 1972. 307 p.
11. Amit Rai, Prabakar J., Raju C.B., Morchalle R.K. Metallurgical slag as a component in blended cement. *Construction and Building Materials*. 2002. Vol. 16. Iss. 8, pp. 489–494. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00046-6](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00046-6)
12. Ziyatdinov N.N. Modeling and optimization of chemical technological processes and systems. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii*. 2017. Vol. 51. No. 6, pp. 613–618. (In Russian).
13. Smolyakov V.K., Lapshin O.V., Boldyrev V.V. Mathematical model of mechanochemical synthesis in the macroscopic approximation. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii*. 2008. Vol. 42. No. 1, pp. 57–62. (In Russian).
14. Lapshin O.V., Smolyakov V.K. Formation of a layered structure of mechanocomposites during grinding of a binary mixture. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2013. Vol. 15. No. 2, pp. 278–284. (In Russian).
15. Khripacheva I.S., Garkavi M.S. Mixed cements of centrifugal impact grinding based on blast-furnace dump slag. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 8, pp. 40–41. (In Russian).
16. Garkavi M.S., Vorobiev V.V., Kushka V.N., Svitov V.S. Modern equipment for grinding and classification of materials. *Vestnik BGTU*. 2003. No. 6, pp. 280–284.
17. Lapshin O.V., Smolyakov V.K. Dynamics of structural transformations during grinding of a binary mixture. *Fizicheskaya mezomekhanika*. 2011. Vol. 14. No. 2, pp. 77–84. (In Russian).
18. Lapshin O.V., Smolyakov V.K. Simulation of the synthesis of mechanocomposites in binary systems. *Fizika goreniya i vzryva*. 2011. Vol. 47. No. 5, pp. 63–74. (In Russian).
19. Kerton F. Prospects for the market of slag cements in Europe. *Tsement i ego primeneniye*. 2006. No. 5, pp. 12–17. (In Russian).
20. Garkavi M.S., Dergunov S.A., Serikov S.V. Formation of the structure of composite cement in the grinding process. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 10, pp. 65–68. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-65-68>
21. Artamonov A.V., Khripacheva I.S. Mixed cements of centrifugal impact grinding. *Proceedings of the 3rd International scientific and technical conference "Centrifugal technology – high technologies"*. Minsk, 2008, pp. 65–68. (In Russian)
22. Khripacheva I.S., Garkavi M.S. Mixed cements of centrifugal impact grinding based on blast-furnace dump slag. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 8, pp. 40–41. (In Russian).
23. Garkavi M.S., Hripacheva I.S., Melchaeva O.K. Development of rational compositions of mixed cements. Non-Traditional Cement&Concrete IV. Brno, 2011, pp. 437–441.

УДК 621.315.613.4

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-47-51>

Т.Ю. УМАРОВ¹, канд. техн. наук (utulkun@mail.ru), С.З. РАЗЗОКОВ¹, инженер,
У.Н. ХАКБЕРДИЕВ¹, инженер; С.М. НЕЙМАН², канд. техн. наук

¹ ООО «Научно-исследовательский и инжиниринговый центр «УзстройматериалЛТИ» (100047, г. Ташкент, ул. Таффакур, 68а)

² Хризотилевая ассоциация (119048, г. Москва, ул. Усачева, 35)

Окрашивание верхнего слоя шиферных листов на листоформовочной машине

Описан способ окрашивания верхнего слоя асбестоцементных листов непосредственно на листоформовочной машине (ЛФМ) в традиционном процессе их изготовления при посыпке сухого цветного асбестоцементного порошка. Подтверждена индустриальность способа, его высокая производительность и экономичность с получением продукции, соответствующей ГОСТам. Разработанная на АО «Ахангараншифер» технология окраски волнистых листов и составы окрашивающих смесей с местными природными минералами высокой щелочестойкости показали возможность производства в Узбекистане качественного декоративного шифера различной цветовой гаммы по доступной цене.

Ключевые слова: листоформовочная машина, цветной шифер, асбестоцемент, окраска.

Для цитирования: Умаров Т.Ю., Раззоков С.З., Хакбердиев У.Н., Нейман С.М. Окрашивание верхнего слоя шиферных листов на листоформовочной машине // *Строительные материалы*. 2021. № 11. С. 47–51.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-47-51>

T.Yu. UMAROV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (utulkun@mail.ru), S.Z. RAZZOKOV¹, Engineer,
U.N. HAKBERDIEV¹, Engineer; S.M. NEYMAN², Candidate of Sciences (Engineering)

¹ LLC Research and Engineering Center "UzbuildmaterialLTI" (68a, Taffakur Street, Tashkent, 100047, Republic of Uzbekistan)

² Chrysotile Association (35, Usacheva Street, 119048, Moscow, Russian Federation)

Painting of the Top Layer of Slate Sheets on a Sheet Forming Machine

A method of painting the top layer of asbestos cement sheets directly on a sheet forming machine (SFM) in the traditional process of their manufacture by sprinkling dry colored asbestos cement powder is described. The industriality of the method, its high productivity and efficiency with the production of products conforming to GOST standards have been confirmed. The technology of painting wavy sheets developed at JSC "Akhangaranshifer" and the compositions of coloring mixtures with local natural minerals of high alkali resistance showed the principal possibility of producing high-quality decorative slate of various colors in Uzbekistan at an affordable price.

Keywords: sheet forming machine, colored slate, asbestos cement, painting.

For citation: Umarov T.Yu., Razzokov S.Z., Hakberdiev U.N., Neyman S.M. Painting of the top layer of slate sheets on a sheet forming machine. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 11, pp. 47–51. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-47-51>

В Узбекистане до 2000-х гг. работало три крупных шиферных завода и продукцию с этих заводов доставляли по всей республике на расстояния до 1000 км. В последние десятилетия в регионах на малых частных предприятиях было смонтировано около сорока линий для производства в основном шиферных листов, что позволило удовлетворить потребности населения и промышленных предприятий на местах в этом востребованном строительном материале [1, 2]. Но одновременно снизились мощности крупных заводов, ранее поставляющих продукцию в отдаленные точки республики. Это коснулось и флагмана хризотилцементной индустрии Узбекистана АО «Ахангараншифер», где работало шесть шиферных и две трубные линии. Теперь там работает почти втрое меньше линий — две шиферные и одна трубная. В настоящее время экономическое положение предприятия стало критичным и не исключается процедура его банкротства.

Для создания конкурентно-преимуществой продукции руководство «Ахангараншифер» с 1990-х гг. стало ориентироваться на производство цветных шиферных листов. Попытки выпускать окрашенные листы предпринимались на предприятии с учетом

опыта асбестоцементной отрасли других предприятий СССР. Они заключались в покрытии готовых листов различными алкидными и акриловыми красками. На заводе установили конвейер по очистке поверхности затвердевших листов и их сушке, затем по окраске их пульверизатором и окончательной сушке. Готовые листы упаковывали в полиэтиленовую пленку. Из-за больших затрат на подготовку поверхности листов к окраске стоимость продукции повышалась на 20–30%. К тому же опыт показал, что алкидные и акриловые краски неглубоко впитываются в массу затвердевших листов и в целом приемлемый вид окрашенной поверхности сохраняется не более пяти лет. На предприятии поступали рекламации от потребителей, и завод прекратил выпуск цветных листов.

Авторы работы проанализировали и другие способы окраски шифера с учетом использования сырьевых ресурсов Узбекистана и результатов многих работ ВНИИпроектасбестцемента, вузов, отраслевых предприятий СССР и зарубежных предприятий [3–5]. Один из способов связан с засыпкой окрашивающего пигмента в гидروطитель или в ковшовый питатель. В этом варианте краситель ис-

пользуется малоэффективно, так как попадает во всю хризотилцементную водную массу, часть ее выводится с отходами и цвет листов получается блеклым. Известен также метод окраски диэлектрических материалов, к которым относится и асбестоцемент — электростатическое напыление цветных порошков, чувствительных к электрическому полю.

Для повышения интенсивности окраски листов наиболее часто на заводах использовали два способа. Самый простой — окраска на ЛФМ одного верхнего слоя листов. Как правило, цветную суспензию приготавливали в дополнительной четвертой сетчатой ванне ЛФМ. Рядом с ней устанавливали две мешалки, в первой — лопастной мешалке пигмент, просеянный через вибросито, смешивался с водой, во второй выполнялось окончательное смешение пигмента с водой для получения однородной суспензии 10%-й концентрации. После порционной подачи красителя в ванну сетчатого цилиндра в ней готовили цветную асбестоцементную суспензию. Нужную порцию окрашенной суспензии периодически в автоматическом режиме отправляли к форматному барабану для создания первого цветного слоя листа. При втором — пленочном способе покрытия используется пульверизационное оборудование и цветная пленка из смеси цемента и пигмента наносится на верхний слой сформованных листов в виде сплошного пленочного покрытия. Для создания пленочного материала взвешенные порции цемента и пигмента тщательно измельчаются, последовательно перемещаются в лопастной мельнице и в вибромельнице с водой. Готовая к напылению цветная суспензия перекачивается в емкость над ЛФМ для окрашивания листа. При получении более интенсивного цвета смесь напыляется двумя рядами форсунок. Первая нанесенная пленка окрашенной смеси перед созданием второго слоя подсушивается вакуум-коробкой, установленной между рядами форсунок. По этой технологии расход пигмента меньше, чем в предыдущей, и это обуславливает меньшую стоимость конечной продукции. На практике наиболее распространена окраска форсуночным способом.

По литературным данным, с середины прошлого века в ряде стран выполнялась посыпка на сукно ЛФМ сухого слоя цветного цемента, без асбеста [4], или из сухой смеси цемента, пигмента и асбеста, подготавливаемой на асбестоцементном предприятии. Гидратация цемента в этих смесях обеспечивает им лучшую адгезию к свежесформованному листу и больший срок службы, чем с акриловыми и многими другими красками [6]. Аппарат с сухим порошком, оснащенный вибрационным ситом, установленный перед вакуум-коробкой, включается для его посыпки на сукно, освободившееся от предыдущего листа после снятия очередного наката с форматного барабана. В комплекс входят дозирующие устройства для сухих цветных смесей, вибромельница, лопастная мешалка для их размолва и смешивания, сито и транспортные элементы. Сито включается периодически

так, чтобы первый окрашенный слой на сукне подходил к форматному барабану перед началом образования наката. Время посыпки должно равняться времени одного оборота барабана, чтобы сырой накат полностью покрывался сухим цветным слоем. Подобная установка была в свое время разработана и во ВНИИпроектасбестцементе [5]. Подсыпанный на сукно сухой сырьевой слой при дальнейшем формировании влажных слоев листа увлажняется и гидратируется с водой, выделяемой из влажных слоев при их прессовании на барабане и вакуумировании на сукне. Ряд авторов не рекомендуют вводить в цветной слой волокна асбеста, так как, по их заключению, асбест адгезирует на себя окрашивающие частицы и это снижает эффект окраски поверхностного цветного слоя листа. Но поскольку при длительной эксплуатации любых листов с цветным слоем без армирующих волокон их окрашенная поверхность часто шелушится и отслаивается от остальной массы листа, особенно при эксплуатации в кровле, этот слой должен изготавливаться с асбестовыми волокнами [6]. С учетом этих обстоятельств вопрос применения асбеста в окрашивающей смеси для каждого вида листов должен рассматриваться отдельно.

На основании проведенного анализа способов окраски наиболее простым и экономически выгодным авторами была признана окраска шифера непосредственно на ЛФМ с посыпкой на движущееся сукно первого цветного слоя из сухой смеси цемента, пигмента и асбеста.

Следующий рассматриваемый вопрос касался выбора пигмента для окраски с учетом ресурса местных сырьевых возможностей и экономических показателей. С 60–70-х гг. прошлого столетия за рубежом для окраски шиферных листов стали широко применять силикатные краски. Возможности их применения рассматривались и в СССР [7–10]. Установлен значительно больший срок жизни этих покрытий — от 20 до 25 лет по сравнению с акриловыми красками. Отмечены высокая экологичность, огнестойкость, пожаровзрывобезопасность покрытий на их основе, отсутствие выделений токсичных испарений при окраске и пожаре. Установлена также их меньшая стоимость по сравнению с рядом традиционных красок. В Узбекистане есть запасы одной из разновидностей сырья для производства силикатных красок — натриевые минералы. Но технология окраски листов на их основе не получила должного развития, поскольку требовала, подобно работе с акриловыми красками, наличия дополнительной линии по очистке и выравниванию поверхности затвердевших листов. А это, как отмечено выше, существенно повышает стоимость окрашенных листов.

После анализа опыта отрасли авторы статьи совместно с ООО «УзстройматериалЛИТИ» НИИЦ продолжили работу в этом направлении на АО «Ахангараншифер». Внимание было сконцентрировано на окраске первого слоя листов сухими цветными асбестоцементными смесями с использо-

ванием местных пигментов и непосредственно на ЛФМ. Ориентиры были направлены на посыпку сухого цветного порошка на поверхность сукна, освобождающегося от предыдущего наката, и сразу после выхода его из последней ванны сетчатого цилиндра.

Предварительно в лабораторных условиях опробовали применение нескольких местных минеральных красителей, устойчивых к щелочной среде твердеющего цемента. Это оксиды четырех цветов: бордового с железом, зеленого с хромом, желтого с кобальтом и синего с фталоцианином. Для всех пигментов подобрали оптимальные дисперсности, приготовили на их основе цветные трехкомпонентные смеси для верхнего слоя. Подобранные цветные составы должны были стать твердеющими армированными композитами, активно сцепляться с неокрашенной матрицей шифера, работать под нагрузкой, как и все последующие слои, обеспечивая материалу красивый вид и максимальную прочность.

В производственных условиях оптимальные соотношения компонентов цветных смесей сначала отработывали при использовании лабораторной вакуум-прессовой модели ЛФМ. Образцы изготавливали из сухих смесей цемента и асбеста традиционного состава в соотношении 85:15%. Для окрашивающих смесей светлого тона применяли белый цемент, для смесей темного тона – серый, используемый в производстве асбестоцемента. Дозировки пигментов выбирали с учетом их дисперсности и укрывистости. В окрашивающие смеси вводили 5–7% асбеста марки А-6-50. Все сухие смеси через сито насыпали в формы размером 10×15 см. Толщина окрашивающего слоя с добавкой 10–15% пигмента была 1–1,5 мм, на него сверху насыпали слой обычной неокрашенной сырьевой смеси толщиной 4–5 мм. Оба слоя увлажняли теплой (40–50°C) водой, вакуумировали для удаления излишней влаги и прессовали. Пропаривали образцы по заводскому режиму, получая двухслойные цветные с лицевой стороны образцы толщиной 5,9–6,1 мм (рис. 1).

Через 7 сут образцы подвергали пятнадцати циклам замораживания до -15°C и оттаивания в водопроводной воде. Затем по ГОСТ 8747–83 «Изделия асбестоцементные листовые» определяли их физико-механические свойства, а также цветостойкость, истираемость поверхности и прочность сцепления цветного слоя с матрицей. По результатам была доказана принципиальная возможность выхода на данную технологию окраски в заводских условиях.

Сухие цветные асбестоцементные смеси для заводских испытаний готовили во вращающейся бетономешалке с красителем на основе красновато-желтой охры. Режимы загрузки цветного порошка на сукно ЛФМ отработывали с применением нескольких опытных образцов коробов ячейкового питателя и вибросита. Их схемы представлены на (рис. 2).

Изготовленное оборудование было прикреплено к специальной поворотной штанге и в рабочем режиме всегда находилось над ЛФМ в районе выхода сук-

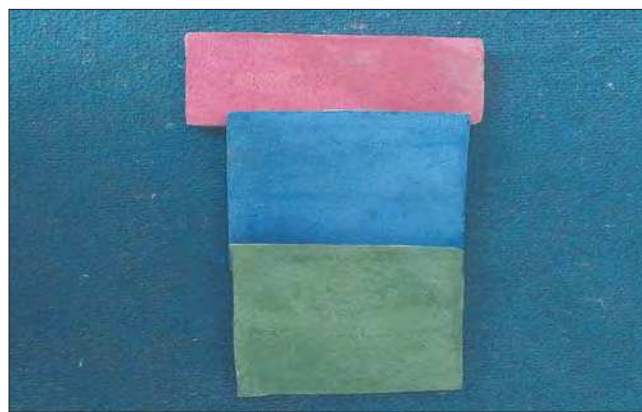


Рис. 1. Образцы опробованных расцветок
Fig. 1. Samples of tested colors

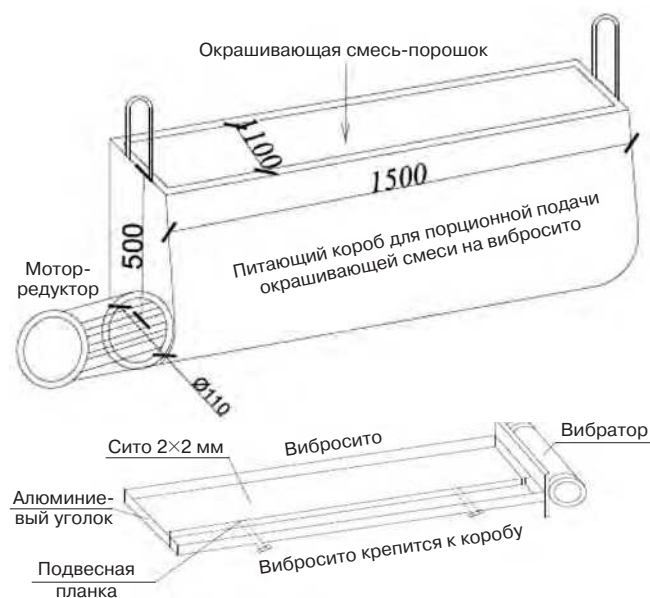


Рис. 2. Схемы ячейкового питателя и вибросита для подачи на сукно сухой смеси
Fig. 2. Schemes of a cell feeder and a vibrating screen for feeding a dry mixture to the cloth

на из зоны последней ванны (рис. 3). При смене сукна штанга легко разворачивалась вместе с красящей установкой.

Подбор оптимальной толщины посыпаемого на сукно цветного слоя вели с помощью передвижной планки. После посыпки цветного слоя вибросито выключалось, и при формовании остальных шести пленок листа окрашенная смесь не подавалась. По результатам работ посыпка окрашенного слоя на сукно начиналась строго после срезания предыдущего готового наката с форматного барабана и выхода из-под него чистого сукна. Так обеспечивалась своевременная и равномерная подача сухого цветного порошка на движущееся сукно, а окрашенная масса всегда становилась первым слоем нового листа. В работе установлено, что использованный пигмент на основе красновато-желтой охры, по природе имеющий неярко-желтый цвет, дал продукции также неярко-желтый цвет, поэтому этот пигмент в последующих работах не применяли. По результатам испытаний была из-

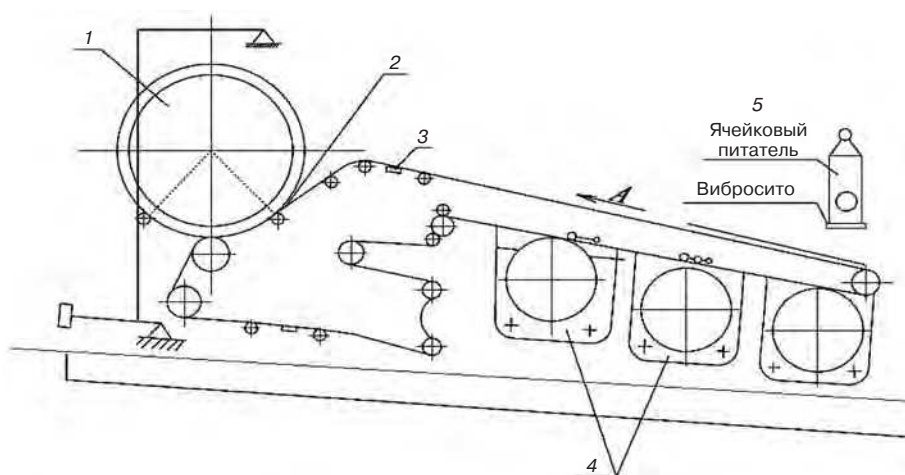


Рис. 3. Расположение ячейкового питателя и вибросита над ЛФМ: 1 – форматный барабан; 2 – пресс-вал; 3 – вакуум-коробка; 4 – сетчатые цилиндры; 5 – ячейковый питатель красящей смеси
Fig. 3. Location of the cell feeder and vibrating screen above the SFM: 1 – format drum; 2 – press shaft; 3 – vacuum box; 4 – mesh cylinders; 5 – cell feeder of the coloring mixture

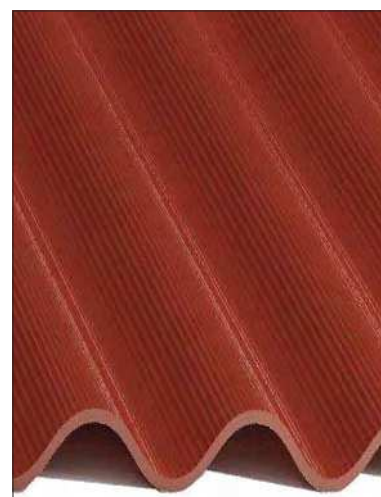


Рис. 4. Образец бордового шифера
Fig. 4. Sample of burgundy slate

готовлена конструкция промышленного вибропитателя с бункером и ситом. Объем бункера рассчитан на изготовление 9–11 цветных шиферных листов с последующим наполнением его новой порцией цветного порошка.

В дальнейшей работе под контролем оператора на этом оборудовании окончательно подобрали нужные дозировки окрашивающей смеси и параметры включения-отключения аппаратуры в автоматическом режиме. Оптимальное время работы вибропитателя для создания одного цветного слоя на сукне оказалось равным 5–6 с. После формования листов иногда, при пониженной влажности наката, на их верхних волнах наблюдались микротрещины. Для повышения пластичности, трещиностойкости полуфабриката, обеспечения готовой продукции должной ударной вязкости в смесях заменяли часть асбеста целлюлозными волокнами. Эта технология была отработана в исследованиях ВНИИпроектасбестцемента. Источником сульфатных волокон в них были крафт-бумажные мешки, в которых поставлялся асбест. Из-за отсутствия в регионе сульфатной целлюлозы использовали имеющиеся там сульфитные волокна из отходов местной бумажной фабрики по производству тетрадей. Ими заменяли в смеси от 1 до 1,5% асбеста.

Первая контрольная опытно-промышленная партия цветного шифера была изготовлена на ЛФМ в количестве ста листов. Для их окраски было приготовлено и упаковано в полиэтиленовые мешки 350 кг цветной смеси бордового цвета. На ее основе были изготовлены бордовые листы толщиной 5,8–6 мм с четким цветным орнаментом от форматного барабана (рис. 4). Цветные листы по конвейеру шли на обрезку, как обычные серые листы, и накат делился пополам. При слаженном ритме всех технологических операций, выполняемых в полном соответствии с заводской технологической инструкцией, выпуск цветных листов на ЛФМ шел с паспортной производительностью 80–85 листов в час. Работа других переделов



Рис. 5. Цветной шифер, выпущенный на АО «Кизилкумцемент»
Fig. 5. Colored slate produced at JSC "Kizilkumcement"

также проходила в штатном режиме. После тепло-влажностной обработки стоп по заводской технологии каждый лист по одному погружался в водный конвейер для растворения возможно появившихся на их поверхности гидроксидов кальция. Этим также минимизировали появление новых известковых высолов при дальнейшей гидратации цемента и высыхании цветных листов. Спустя 28 сут твердения на теплом складе на продукции не было выявлено микротрещин и высолов. Она соответствовала ГОСТ 30340–2012 «Листы хризотилцементные волнистые. Технические условия» по всем физико-механическим свойствам и по показателям цветостойкости, истираемости цветного слоя, сцепления с матрицей. При визуальном осмотре продукции на участке контроля качества листы без дефектов укладывали в стопы и упаковывали в пленку. В 2020 г. партия цветного шифера, изготовленного по данной технологии, была повторно выпущена и в шиферном цехе АО «Кизилкумцемент» (рис. 5). Запланированному внедрению данного метода окраски помешала пандемия COVID-19.

Образцы первых листов, окрашенных по разработанной технологии, уже четвертый год выставлены

на открытых стеллажах, и на сегодня изменений в их цвете не отмечено. По отработанной технологии окраски асбестоцемента подготовлена заявка на изобретение: «Состав краски для шиферных листов, производимых на листоформовочной машине в процессе их производства».

Выводы

1. Разработан способ окрашивания верхнего слоя асбестоцементных листов непосредственно на ЛФМ в традиционном процессе их изготовления при посыпке сухого цветного асбестоцементного порошка. Подтверждены индустриальность способа, его высокая производительность и экономичность с получением продукции, соответствующей ГОСТам.

2. Для создания одного верхнего окрашенного слоя асбестоцементных листов по данному способу непосредственно на ЛФМ разработаны, опробованы и изготовлены:

– барабанный смеситель для приготовления окрашивающей смеси из традиционных сырьевых компонентов цемента и асбеста с добавками местных природных окрашивающих минералов;

– ячеиковый коробчатый питатель с вибростомом под ним для равномерной посыпки цветного сухого слоя окрашивающей смеси на движущееся сукно.

3. Выбранная для производства бордовая краска на основе оксида железа обеспечила продукции должную светостойкость, устойчивость к истиранию и соответствие ее физико-механических свойств требованиям ГОСТов.

4. Разработанная на АО «Ахангараншифер» технология окраски волнистых листов и составы окрашивающих смесей с местными природными минералами высокой щелочестойкости показали возможность производства в Узбекистане качественного декоративного шифера различной цветовой гаммы по доступной цене.

Список литературы

1. Нейман С.М., Везенцев А.И., Кашанский С.В. О безопасности асбестоцементных материалов и изделий. М.: Стройматериалы, 2006. 64 с.
2. Яковлев Г.И., Дрохитка Р., Первушин Г.Н., Грахов В.П., Саидова З.С., Гордина А.Ф., Шайбадулина А.В., Пудов И.А., Эльрефаи А.Э.М.М. Мелкозернистый бетон, модифицированный суспензией хризотилевых нановолокон // *Строительные материалы*. 2019. № 1–2. С. 4–10. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-4-10>
3. Кузьмина В.П. Способ получения декоративных асбестоцементных покрытий // *Строительные материалы*. 2008. № 5. С. 90–91.
4. Тимашев В.В., Гризак Ю.С. Технология асбестоцементных изделий. М.: Стройиздат, 1979. 336 с.
5. Беркович Т.М., Боязны Л.С., Давыдова Ф.Л. Производство асбестоцементных изделий. М.: Гос. изд. литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. 368 с.
6. Домокеев А.Г. Строительные материалы. М.: Высшая школа, 1988. 495 с.
7. Луцкая Л.А. Краски для асбестоцементных строительных материалов. Современные решения // *Строительные материалы*. 2000. № 10. С. 34–36.
8. Нейман С.М., Лукин Е.Г., Рыгаев Д.В., Метелица Р.В., Соболев Л.В. Силикатная краска для хризотилцементных изделий из отечественного сырья // *Строительные материалы*. 2016. № 7. С. 49–53.
9. Лукошкина Л.А., Давыдова Ф.Л. Производство цветного кровельного и облицовочного асбестоцемента. М.: Промстройиздат, 1954. 28 с.
10. Нейман С.М. Исследование ударной вязкости асбестоцемента и пути ее увеличения. Дис. ... канд. техн. наук. Москва. 1976. 178 с.

References

1. Neyman S.M., Vezentsev A.I., Kahsanskiy S.V. On the safety of asbestos cement materials and products. Moscow: Stroymaterialy. 2006. 64 p.
2. Yakovlev G.I., Drohitka P., Pervushin G.N., Grahov V.P., Saidova Z.S., Gordina A.F., Shaibadulina A.V., Pudov I.A., Elrefai A.E.M.M. Fine-grained concrete modified with a suspension of chrysotile nanofibers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 1–2, pp. 4–10. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-4-10>
3. Kuzmina V.P. A method of obtaining decorative asbestos-cement coatings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 5, pp. 90–91. (In Russian).
4. Timashev V.V., Grizak Yu. S. Technology of asbestos-cement products. Moscow: Stroyizdat. 1979. 336 p.
5. Berkovich T.M., Boyazny L.S., Davydova F.L. Proizvodstvo asbestocementnyh izdelij [Production of asbestos-cement products]. Moscow: State publishing house of literature on construction, architecture and building materials. 1962. 368 p.
6. Domokeev A.G. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. Moscow: Vysshaya shkola. 1988. 495 p.
7. Lutskeya L.A. Paints for asbestos-cement building materials. Modern solutions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2000. No. 10, pp. 34–36 (In Russian).
8. Neiman S.M., Lukin E.G., Rygaev D.V., Metelitsa R.V., Sobolev L.V. Silicate paint for chrysotile cement products from domestic raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 7, pp. 49–53. (In Russian)
9. Lukoshkina L.A., Davydova F.L. Proizvodstvo cvetnogo krovel'nogo i oblicovoch'nogo asbestocementa [Production of colored roofing and facing asbestos cement]. Moscow. Promstroyizdat. 1954. 28 p.
10. Neiman S.M. Study of the impact strength of asbestos cement and the way to increase it. Cand. Diss. (Engineering). 1976. 178 p.

Д.А. КАЛАБИНА, инженер (аспирант) (4450539@gmail.com),
А.М. АЛЕКСАНДРОВ, инженер (аспирант) (aleksandrov2332@yandex.ru),
Г.И. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук (gyakov@istu.ru)

Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

Фторангидритогипсовые композиции для изготовления декоративных архитектурных деталей и скульптурных изделий

Исследовано влияние добавки строительного гипса на свойства пластифицированного фторангидритового вяжущего. Показано, что с помощью введения гипса можно целенаправленно влиять на сроки схватывания фторангидритовой композиции, варьируя их в широких пределах от 3 ч до 14 мин. Вяжущие на основе смеси с процентным соотношением фторангидрит/гипс в количестве 94/6 и 95,5/4,5 могут использоваться для изготовления водостойких лепных изделий, в том числе архитектурных деталей, скульптуры и декоративного камня. Проведенная опытная апробация разработанного фторангидритогипсового материала показала его высокую эффективность. Вовлечение фторангидрита в производство строительных материалов и изделий обеспечивает экономический и экологический эффект.

Ключевые слова: фторангидрит, фосфат натрия, гипс, поликарбоксилатный пластификатор, лепнина.

Для цитирования: Калабина Д.А., Александров А.М., Яковлев Г.И. Фторангидритогипсовые композиции для изготовления декоративных архитектурных деталей и скульптурных изделий // *Строительные материалы*. 2021. № 11. С. 52–56.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-52-56>

D.A. KALABINA, Engineer (postgraduate student) (4450539@gmail.com),
A.M. ALEKSANDROV, Engineer (postgraduate student) (aleksandrov2332@yandex.ru),
G.I. YAKOVLEV, Doctor of Sciences (Engineering) (gyakov@istu.ru)
Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya Street, Izhevsk, 426069, Russian Federation)

Fluoroanhydrite-Gypsum Compositions for the Manufacture of Decorative Architectural Details and Sculptural Products

The influence of the addition of gypsum on the properties of the plasticized fluoroanhydrite binder was investigated. It has been shown that by introducing gypsum it is possible to purposefully influence the setting time of the fluoroanhydrite composition, varying them within wide limits from 3 hours to 14 minutes. Binders based on a mixture with a percentage of fluoroanhydrite/gypsum in the amount of 94/6 and 95.5/4.5 can be used for the manufacture of waterproof moldings, including architectural details, sculpture and decorative stone. Experimental testing of the developed fluoroanhydrite-gypsum material has shown its high efficiency. The involvement of fluoroanhydrite in the production of building materials and products provides economic and environmental benefits.

Keywords: fluoroanhydrite, sodium phosphate, gypsum, polycarboxylate plasticizer, stucco molding.

For citation: Kalabina D.A., Aleksandrov A.M., Yakovlev G.I. Fluoroanhydrite-gypsum compositions for the manufacture of decorative architectural details and sculptural products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 11, pp. 52–56. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-52-56>

Основной проблемой гипсовых вяжущих при производстве скульптурных изделий и декоративных архитектурных деталей является низкая водостойкость, ограничивающая область их применения. В целях устранения этого дефекта используются различные модификаторы, в том числе пластификаторы [1–3] и гидрофобизаторы [4, 5].

Для изготовления декоративной гипсовой лепнины [6] предлагается введение в гипсовое вяжущее углерод-латексного наномодификатора, который обеспечивает снижение пористости благодаря переходу от игольчатого строения монокристаллов гипса к форме коротких спаянных параллелограммов с более плотной упаковкой. При введении в гипс водного раствора гидроксида натрия и силикагеля в количестве 5% от массы гипса наблюдается прирост прочности на 10% и коэффициент размягчения возрастает до 1,11 [7]. Существует способ модификации гипсовых смесей парафиновыми эмульсиями, обеспечивающими повышение коэффициента раз-

мягчения с 0,35 до 0,52–0,72 [8]. Определено, что добавка стирол-акрилатной эмульсии полимера повышает прочность, водостойкость и улучшает теплозащитные характеристики гипсовых материалов [9]. Введение в гипсовую смесь метакаолина и гидрофобно-пластифицирующей добавки уплотняет гипсовую матрицу за счет изменений элементного состава в гипсовой системе, увеличения межплоскостных расстояний и размеров кристаллов гипса [10], обеспечивая повышение прочности и водостойкости.

Разработанная автором высокопрочная пластифицированная фторангидритовая композиция ВП является водостойкой благодаря наличию в ее составе фосфата натрия и поликарбоксилатного пластификатора (коэффициент размягчения составляет 0,91). Высокая плотность и прочность камня обеспечивается формированием мелкокристаллической структуры с коагуляцией пор вогнутыми кристаллами, образующимися в результате обволакивания фторангидри-

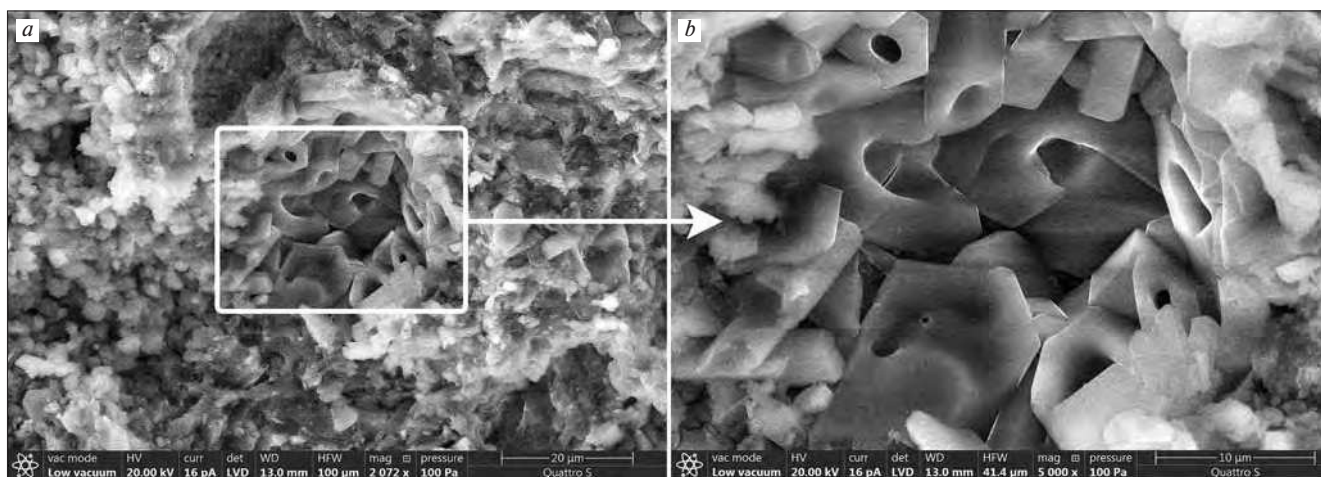


Рис. 1. Микроструктура образца высокопрочной пластифицированной фторангидритовой композиции в возрасте 1 год: *a* – при увеличении в 2000 раз; *b* – поверхность поры при увеличении в 5000 раз
Fig 1. Microstructure of a sample of a high-strength plasticized hydrite fluoride composition at the age of 1 year: *a* – at a magnification of 2000 times; *b* – pore surface at 5000 times magnification

товой матрицей поверхности нанотрубок, входящих в состав пластификатора DC-5 (рис. 1).

Однако данная композиция не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к вяжущим для изготовления тонкостенных строительных изделий и декоративных деталей по срокам схватывания (ГОСТ 125–2018 «Вяжущие гипсовые. Технические условия»).

Как известно, замедленная гидратация фторангидрита обусловлена высоким содержанием в нем нерастворимого сульфата кальция [11]. Частично эта проблема была решена активацией фторангидрита водным раствором фосфата натрия, который позволил сократить сроки схватывания с 23 до 4 ч [12]. Анализ литературных данных [13, 14] показывает, что интенсифицировать процесс гидратации ангидритовых вяжущих можно добавкой строительного гипса, который образует дополнительные центры кристаллизации, инициируя гомогенное зародышеобразование. Согласно исследованиям С.А. Бондаренко [15], добавка гипса позволяет не только сократить сроки схватывания, но также снизить пористость и повысить плотность структуры, что обеспечивает высокую прочность фторангидритогипсового камня. Кроме того, усадочные деформации при твердении фторангидрита нивелируются объемным расширением гипсовой составляющей, что позволяет получить практически безусадочные смеси.

Настоящий эксперимент был направлен на сокращение сроков схватывания высокопрочной пластифицированной фторангидритовой композиции введением строительного гипса для обеспечения возможности ее использования при изготовлении архитектурных и скульптурных изделий.

Материалы и методы исследования

В исследовании использовалось разработанное ранее высокопрочное пластифицированное фторангидритовое вяжущее [16], представляющее собой фторангидрит (отход производства фтороводорода),

затворенный водным раствором, содержащим 2% фосфата натрия и 3% поликарбоксилатного пластификатора DC-5 при водовязущем отношении 0,2. Физико-механические характеристики материала представлены в табл. 1.

Для ускорения твердения во фторангидритовую композицию вводился гипс строительный марки Г-4 производства компании «Гипсополимер», г. Пермь (ГОСТ Р 58279–2018) со сроками схватывания от 6 до 20 мин. Тонкость помола гипсового и фторангидритового вяжущего, нормальная густота, сроки схваты-

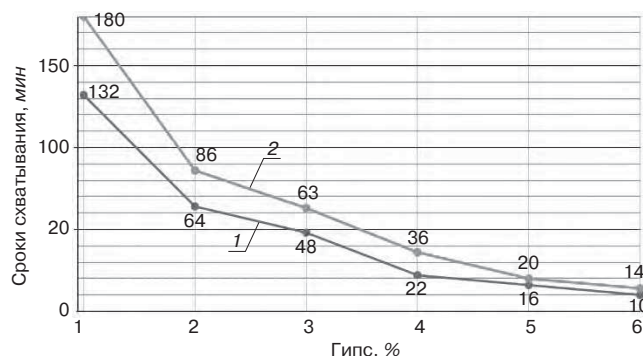


Рис. 2. Зависимость сроков схватывания фторангидритовой композиции от содержания в ней гипса: 1 – начало; 2 – конец
Fig. 2. Dependence of the setting time of the hydrite composition on the gypsum content in it: 1 – start; 2 – end

Таблица 1
Table 1

Физико-механические характеристики исходного пластифицированного фторангидритового состава
Physical and mechanical characteristics of the original plasticized fluoroanhydrite composition

Сроки схватывания, мин		Прочность на 28 сут, МПа		Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент размягчения
Начало	Конец	На растяжение при изгибе	При сжатии		
237	288	11,67	42,5	2190	0,91

Таблица 2
Table 2

Свойства высокопрочной пластифицированной фторангидритовой композиции с добавлением гипса 4,5–6% по массе сухого вещества
Properties of a high-strength plasticized fluoroanhydrite composition with the addition of gypsum 4.5–6% by weight of dry matter

Нормируемая характеристика	Требования ГОСТ 125–2018		Показатели для изделий на фторангидритогипсовом вяжущем	
Марка по прочности Г-2 – Г-7	Предел прочности в возрасте 2 ч, не менее, МПа			
	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе
	1–7	1,2–3,5	12,8	4,1
Тонкость помола, %, не более	Максимальный остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм			
	Тонкий – 2	1,5		
Сроки схватывания, мин	Начало, не ранее	Конец	Начало, не ранее	Конец
Быстротвердеющий	2	15	10	30
Нормальнотвердеющий	6	30		
Объемное расширение	Не более 0,2%		0,04–0,12%	

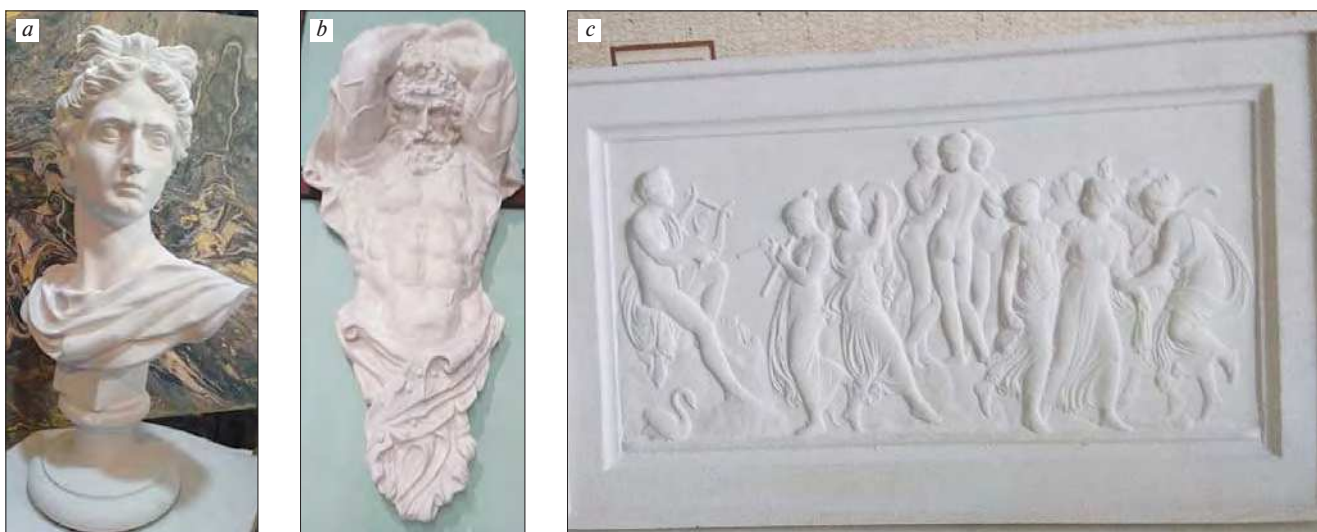


Рис. 3. Архитектурные изделия, изготовленные из фторангидритогипсовой композиции: а – интерьерная скульптура; б – карниз; с – барельеф
Fig. 3. Architectural products made of fluoroanhydrite-gypsum composition: a – interior sculpture; b – cornice; c – bas-relief



Рис. 4. Изготовление декоративного камня из фторангидрито-гипсовой композиции
Fig. 4. Making a decorative stone from a fluoroanhydrite-gypsum composition

вания теста стандартной консистенции, деформации объемного расширения определялись согласно ГОСТ 23789–2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

Для определения оптимального содержания гипса в композиции готовились фторангидритогипсовые составы с содержанием гипса от 1 до 6% по массе сухого вещества с последующим определением сроков схватывания с помощью прибора Вика.

На рис. 2 представлена зависимость свойств материала от содержания в нем гипса. Используя добавку гипса, можно варьировать сроки схватывания состава в широком диапазоне: начало схватывания от 10 до 132 мин, конец схватывания от 14 до 180 мин.

Для производства архитектурных деталей методом литья в формы и скульптурных изделий оптимальной является добавка гипса в количестве 4,5–6% по объему сухого вещества. Дальнейшее увеличение содержания гипса в системе позволит еще сильнее сократить сроки схватывания, однако за счет расширения гипса при твердении приведет к повышению деформативности материала.

Разработанный высокопрочный пластифицированный фторангидритовый состав с включением 4,5–6% гипса (фторангидритогипсовая композиция) удовлетворяет требованиям, предъявляемым к вяжущим для изготовления тонкостенных строительных изделий и декоративных деталей (табл. 2).

Изделия, изготовленные из фторангидритогипсовой композиции, содержащей активатор гидратации фосфат натрия и технологическую добавку поликарбоксилатного пластификатора, представлены на рис. 3.

Список литературы

1. Самигов Н.А., Атакузиев Т.А., Асаматдинов М.О., Ахунджанова С.Р. Физико-химическая структура и свойства водостойких и высокопрочных композиционных гипсовых вяжущих // *Universum: технические науки*. 2015. № 10 (21).
2. Коровяков В.Ф. Повышение водостойкости гипсовых вяжущих веществ и расширение областей их применения // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2005. № 3. С. 28–31.
3. Патент RU2081076C1. Вяжущее / Панченко А.И., Айрапетов Г.А., Несветаев Г.В., Нечушкин А.Ю. Заявл. 10.06.1994. Опубл. 10.06.1997. <https://patentimages.storage.googleapis.com/2d/07/56/e02a208d3e2302/RU2081076C1.pdf>
4. Tesárek P., Rovnaníková P., Kolísko J., Černý R. Properties of hydrophobized FGD gypsum // *Cement-wapno-beton*. 2005. Vol. 5, pp. 255–264.
5. Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Полянских И.С., Керене Я., Фишер Х.-Б., Рахимова Н.Р., Бурьянов А.Ф. Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры // *Строительные материалы*. 2016. № 1–2. С. 90–95.

Помимо архитектурных и интерьерных изделий, разработанный фторангидритогипсовый состав может эффективно применяться при изготовлении отделочных материалов, в том числе декоративного камня. Отливка фторангидритогипсовой композиции в форму для изготовления декоративного камня происходит на вибростоле (рис. 4) с возможностью предварительного нанесения колера на поверхность формы. Короткие сроки схватывания разработанной композиции обеспечивают высокую степень обрабатываемости форм.

Апробация фторангидритогипсового состава при изготовлении опытной партии декоративного камня показала эффективность разработки смеси на техногенном сырье.

Достигнутый экономический эффект в размере 81,3 р. на 10 кг сухой смеси в сравнении с гипсовым составом обеспечивает значительное сокращение расходов при производстве декоративных архитектурных деталей. В то же время вовлечение фторангидрита в промышленность строительных материалов обеспечит снижение экологической нагрузки в местах складирования отходов производства фтороводорода.

Таким образом, с помощью добавки строительного гипса можно эффективно управлять сроками схватывания пластифицированной фторангидритовой композиции. Благодаря высокой водостойкости изделия могут применяться в помещениях с влажными условиями эксплуатации. Фторангидритогипсовая смесь с соотношением сухих компонентов 94/6% и 95,5/4,5% может использоваться для изготовления лепных изделий, в том числе карнизов, розеток, барельефов, скульптуры и декоративного камня.

References

1. Samigov N.A., Atakuziev T.A., Asamatdinov M.O., Akhundzhanova S.R. Physicochemical structure and properties of waterproof and high-strength composite gypsum binders. *Universum: Technical sciences*. 2015. No. 10 (21). (In Russian).
2. Korovyakov V.F. Increasing the water resistance of gypsum binders and expanding their areas of application. *Stroitel'nye Materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2005. No. 3, pp. 28–31. (In Russian).
3. Patent RU2081076C1. Vyazhushchee [Binder]. Panchenko A.I., Airapetov G.A., Nesvetaev G.V., Nechushkin A.Yu. Appl. 06/10/1994; Publ. 10.06.1997. <https://patentimages.storage.googleapis.com/2d/07/56/e02a208d3e2302/RU2081076C1.pdf> (In Russian).
4. Tesárek P., Rovnaníková P., Kolísko J., Černý R. Properties of hydrophobized FGD gypsum. *Cement-wapno-beton*. 2005. Vol. 5, pp. 255–264.
5. Gordina A.F., Yakovlev G.I., Polyanskikh I.S., Kerene Ya., Fisher Kh.-B., Rakhimova N.R., Buryanov A.F. Plaster compositions with complex modifiers of structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 1–2, pp. 90–95. (In Russian).
6. Letenko D.G., Mokrova M.V., Matveeva L.Yu., Tikhonov Yu.M. The influence of the size distribution

6. Летенко Д.Г., Мокрова М.В., Матвеева Л.Ю., Тихонов Ю.М. Влияние размерного распределения наномодифицированных частиц латекса на структуру гипсовых материалов // *Вестник гражданских инженеров*. 2019. № 4 (75). С. 95–101. DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-4-95-101
7. Конушева В.В., Сыркин О.О., Стешенко А.Б., Кудяков А.И. Влияние модифицирующих добавок на водостойкость гипса. *Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении: Сборник Международной научно-технической конференции*. Новосибирск. 14–17 февраля 2017 г. С. 161–163.
8. Соловьев В.Г., Еремин А.В., Елисеев Д.М., Бурьянов А.Ф. Повышение водостойкости гипсового вяжущего парафиновой эмульсией // *Строительные материалы*. 2017. № 1–2. С. 45–49.
9. Колкатаева Н.А., Гаркави М.С. Влияние стирол-акрилатной эмульсии на эксплуатационные свойства гипсовых материалов // *Строительные материалы*. 2007. № 9. С. 50–51.
10. Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Облегченный упрочненный гипсовый камень для реставрации памятников архитектуры // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-68-72>
11. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Черных Т.Н. Свойства и модифицирование ангидритового вяжущего из техногенного сырья. *Сборник докладов V научно-практической конференции «Инновационные материалы и технологии КНАУФ–ГАРАНТ качества и безопасности в современном строительстве»*. Челябинск, 2012 г. С. 30–58.
12. Патент RU 2723788 C1 Высокопрочное фторангидритовое вяжущее, способ получения высокопрочного фторангидритового вяжущего и композиции на его основе (варианты) / Грахов В.П., Первушин Г.Н., Калабина Д.А., Яковлев Г.И. и др. Заявл. 29.03.2019. Опубл. 17.06.2020.
13. Виноградова Л.А. Технологии декоративно-художественных изделий на основе вяжущих веществ. М.: Изд. Юрайт, 2021. 138 с.
14. Виноградова Л.А. Художественное материаловедение вяжущих веществ и технология изготовления декоративно-отделочных материалов на их основе. Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, 2018. 173 с.
15. Бондаренко С.А. Модифицированное фторангидритовое вяжущее и строительные материалы на его основе. Дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2008. 148 с.
16. Kalabina D.A., Yakovlev G.I., Dufek Z., Pervushin G.N., Bazhenov K.A., Troshkova V.V. Fluoroanhydrite compositions plasticized by polycarboxylate esters. *Engineering Structures and Technologies*. 2019. No. 11 (3), pp. 101–105. DOI: <https://doi.org/10.3846/est.2019.11949>
- of nanomodified latex particles on the structure of gypsum materials. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2019. No. 4 (75), pp. 95–101. (In Russian). DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-4-95-101
7. Konusheva V.V., Syrkin O.O., Steshenko A.B., Kudiyakov A.I. Influence of modifying additives on gypsum water resistance. *Effective formulations and technologies in building materials science: collection of the International Scientific and Technical Conference*. Novosibirsk. 2017, pp. 161–163 (In Russian).
8. Solovyev V.G., Eremin A.V., Eliseev D.M., Buryanov A.F. Improvement of water resistance of gypsum binder by paraffin emulsion. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 1–2, pp. 45–49. (In Russian).
9. Kolkataeva N.A., Garkavi M.S. The influence of styrene-acrylate emulsion on the performance properties of gypsum materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 9, pp. 50–51. (In Russian).
10. Haev T.Eh., Tkach E.V., Oreshkin D.V. Lightweight strengthened gypsum stone for restoration of architectural monuments. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-68-72> (In Russian).
11. Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Chernykh T.N. Properties and modification of anhydrite binder from technogenic raw materials. *Collection of reports of the fifth scientific-practical conference “Innovative materials and technologies KNAUF-GARANT quality and safety in modern construction”*. Chelyabinsk. 2012, pp. 30–58. (In Russian).
12. Patent RU 2723788 C1 Vysokoprochnoye ftorangidritovoye vyazhushcheye, sposob polucheniya vysokoprochnogo ftorangidritovogo vyazhushchego i kompozitsii na yego osnove (varianty) [High-strength fluoroanhydrite binder, a method of obtaining high-strength fluoroanhydrite binder and compositions based on it (options)]. Grakhov V.P., Pervushin G.N., Kalabina D.A., Yakovlev G.I. and others. Appl. 03/29/2019. Publ. 06/17/2020. (In Russian).
13. Vinogradova L.A. Tekhnologiya dekorativno-khudozhestvennykh izdelii na osnove vyazhushchikh veshchestv [Technology of decorative and artistic products based on binders]. Moscow: Yurayt Publishing House. 2021. 138 p. (In Russian).
14. Vinogradova L.A. Khudozhestvennoe materialovedenie vyazhushchikh veshchestv i tekhnologiya izgotovleniya dekorativno-otdelochnykh materialov na ikh osnove [Artistic materials science of binders and the technology of making decorative and finishing materials based on them]. Ivanovo: Ivanovo State University of Chemical Technology. 2018. 173 p. (In Russian).
15. Bondarenko S.A. Modified fluoroanhydrite binder and building materials based on it. Diss. Candidate of Sciences (Engineering). Chelyabinsk, 2008. 148 p. (In Russian).
16. Kalabina D.A., Yakovlev G.I., Dufek Z., Pervushin G.N., Bazhenov K.A., Troshkova V.V. Fluoroanhydrite compositions plasticized by polycarboxylate esters. *Engineering Structures and Technologies*. 2019. No. 11 (3), pp. 101–105. DOI: <https://doi.org/10.3846/est.2019.11949>

IV Международный форум «Малоэтажная Россия–2021»

IV International Forum "Low-Rise Russia-2021"

29–30 ноября 2021 года в Торгово-промышленной палате Российской Федерации в смешанном формате состоялся IV Международный форум «Малоэтажная Россия – 2021». Ключевой темой мероприятия стало развитие малоэтажного и индивидуального жилищного строительства в Российской Федерации.

Организаторами форума выступила Торгово-промышленная палата РФ, АО «НИЦ «Строительство», Российский Союз строителей, Национальное объединение строителей, Национальное объединение проектировщиков и изыскателей, Союз проектировщиков России, Союз сельских строителей, Национальное объединение участников строительной индустрии,

Национальное объединение застройщиков жилья, Национальное агентство малоэтажного и коттеджного строительства, Агентство инновационных стратегических технологий, консалтинговое агентство «Строй без потерь» и др.

Форум состоял из шести тематических круглых столов и пленарного заседания. В рамках программы участники обсудили финансовые инструменты для улучшения жилищных условий, региональный опыт застройщиков малоэтажного домостроения, современные технологии, материалы и конструкции для малоэтажного и индивидуального жилищного строительства, а также развитие инфраструктуры и создание комфортной среды при разработке программ комплексного развития территорий.

Большой интерес участников вызвал круглый стол «Современные технологии, материалы и конструкции для малоэтажного и индивидуального жилищного строительства», где были представлены реализованные проекты и новые разработки в области Prefab-технологий, модульного строительства, современного оборудования для малоэтажного индустриального домостроения, инновационные строительные материалы и технологии и др. Следует отметить, что, несмотря на





сильное подорожание, на рынке ИЖС активно продвигаются домокомплекты из деревянных конструкций.

Проект «OPEN VILLAGE» – выставка-продажа домов в поселке со сложившейся инфраструктурой, представленный на круглом столе «Региональный опыт застройщиков малоэтажного домостроения и ИЖС», вызвал немалый интерес собравшихся. В дискуссии участники пришли к выводу, что такие площадки, когда конечный потребитель может приехать и в «натурных условиях» увидеть процесс стройки, выбрать конструктив и материалы, оценить качество, скорость и компетентность подрядчика, необходимо создавать во всех регионах России.

Коллеги из Челябинска представили проект «L-TOWN» – город-спутник мегаполиса, созданный в соответствии с принципами нового урбанизма, основной целью которого ставилось обеспечение жителей Челябинска реальной альтернативой переезду в другие регионы. Этот проект получил награду «Поселок года 2021».

Также были представлены реализованные проекты поселков ИЖС в Подмосковье, Санкт-Петербурге, Иркутске, Кирове, Пензе, Новосибирске и других городах. Это позволяет заключить, что такой формат строительства актуален и востребован.

30 ноября в Конгресс-центре ТПП РФ прошло пленарное заседание. Мероприятие провел председатель Коми-

тета ТПП РФ по предпринимательству в сфере строительства **Е.В. Басин**.

На заседании выступили министр строительства и ЖКХ РФ **И.З. Файзуллин**, президент ТПП РФ **С.Н. Катырин**, первый вице-президент Российского Союза строителей **В.А. Дедюхин** и др.

За последние годы в сфере индивидуального жилищного строительства произошли коренные изменения. Так, за десять месяцев 2021 г. его доля в общем объеме жилищного строительства в стране составила 56%. В настоящее время динамично развивается законодательная база отрасли; недавно был опубликован законопроект о внесении изменений в Градостроительный кодекс, касающихся ИЖС. Ожидается, что его примут до конца 2021 г. Также была подчеркнута острая необходимость принятия федеральной программы по развитию ИЖС, которая во многом станет подзаконным актом для упомянутого законопроекта. Программа призвана решить многие вопросы на региональном уровне, в том числе предоставление земельных участков, обеспечение социальной, коммунальной инфраструктурой малоэтажного домостроения, создание региональных операторов ИЖС и т. д.

По итогам международного форума «Малоэтажная Россия – 2021» будут подготовлены рекомендации по развитию сферы ИЖС как для бизнеса, так и для государства, в том числе в лице Министерства строительства и ЖКХ РФ.



УДК 625.861

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-59-66>

А.А. БЕЗРОДНЫХ, научный сотрудник (andron93@list.ru),
 В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук (vvstrokova@gmail.com),
 И.Ю. МАРКОВА, канд. техн. наук (irishka-31.90@mail.ru),
 Д.Ю. ПОТАПОВ, студент (potapovdaniil420@gmail.com)

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

Битумные эмульсии дорожно-строительного назначения, модифицированные золами-уноса

Среди возможных видов органических вяжущих для получения органоминеральных материалов дорожно-строительного назначения наибольшую популярность приобрели битумные эмульсии. Так как вяжущее несет главную структурообразующую роль и от него напрямую зависят конечные свойства материала, для их регулирования иногда требуется модификация пленок вяжущего. Наиболее эффективным способом повышения качественных характеристик композиционных материалов, содержащих органическое вяжущее, является дисперсное армирование, что предусматривает введение высокодисперсного компонента в состав вяжущего. Однако битумная эмульсия является многокомпонентным термодинамически нестабильным материалом и использование минерального сырья в ее составе может разрушить эмульсионную систему. В связи с этим представленная публикация посвящена изучению влияния высокодисперсного алюмосиликатного техногенного сырья в виде зол-уноса на свойства битумных эмульсий различных классов, широко применяемых в дорожном строительстве. Произведена оценка нормируемых параметров битумных эмульсий в присутствии минеральных модификаторов, установлена взаимосвязь между базовыми характеристиками исходных компонентов и изменением параметров модифицированных составов, определены максимальные концентрации модификаторов, позволяющие получать устойчивые составы.

Ключевые слова: битумная эмульсия, зола-уноса, минеральный модификатор.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для научных школ НШ-2584.2020.8 с использованием оборудования Центра Высоких Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Для цитирования: Безродных А.А., Строкова В.В., Маркова И.Ю., Потапов Д.Ю. Битумные эмульсии дорожно-строительного назначения, модифицированные золами-уноса // *Строительные материалы*. 2021. № 11. С. 59–66.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-59-66>

A.A. BEZRODNYKH, Researcher, (andron93@list.ru), V.V. STROKOVA, Doctor of Sciences (Engineering), (vvstrokova@gmail.com), I.Yu. MARKOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (irishka-31.90@mail.ru), D.Yu. POTAPOV, Student, (potapovdaniil420@gmail.com) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

Bitumen Emulsions for Road Construction Purposes, Modified by Fly Ash

Among the possible types of organic binders for the production of organomineral materials for road construction purposes, bitumen emulsions have gained the greatest popularity. Since the binder has the main structure-forming role and the final properties of the material directly depend on it, their regulation sometimes requires modification of the binder films. The most effective way to improve the quality characteristics of composite materials containing organic binder is dispersed reinforcement, which provides for the introduction of a highly dispersed component into the binder. However, bitumen emulsion is a multicomponent thermodynamically unstable material and the use of mineral raw materials in its composition can destroy the emulsion system. In this regard, the presented publication is devoted to the study of the influence of highly dispersed aluminosilicate technogenic raw materials in the form of fly ash on the properties of bitumen emulsions of various classes, which are widely used in road construction. The assessment of the normalized parameters of bitumen emulsions in the presence of mineral modifiers was made, the relationship between the basic characteristics of the initial components and the change in the parameters of the modified compositions was established, the maximum concentrations of the modifiers were determined, allowing to obtain stable compositions.

Keywords: bitumen emulsion, fly ash, Portland cement, mineral modifier.

This work was supported by the President's Grant for Scientific Schools NSh-2584.2020.8 using the equipment of the Center for High Technologies BSTU named after V.G. Shukhov.

For citation: Bezrodnykh A.A., Strokov V.V., Markova I.Yu., Potapov D.Yu. Bitumen emulsions for road construction purposes, modified by fly ash. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 11, pp. 59–66. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-797-11-59-66>

Эмульсии широко используются в различных отраслях промышленности, в том числе в дорожном строительстве. Применение битумных эмульсий при производстве дорожно-строительных работ в последние годы приобретает большую популярность [1]: приготовление плотных эмульсионно-минеральных смесей (в том числе грунтовых), подгрунтовка, устройство слоев дорожной одежды спо-

собом пропитки, технология холодного ресайклинга и новачип, ямочный ремонт, поверхностная обработка асфальтобетонных покрытий [2–7]. Специфика состава и свойств битумной эмульсии позволяет получать органоминеральные композиты с низким содержанием битума, но обладающие относительно высокими эксплуатационными характеристиками. В зависимости от функционального

назначения дорожно-строительного композита, в составе которого используют эмульсию, может потребоваться ее модификация. При этом главной задачей модификации битумных эмульсий, применяемых в составе дорожно-строительных материалов, является структурирование пленки битума, образуемой после распада эмульсии на поверхности минеральных зерен в составе конечного композита, с целью повышения его физико-механических характеристик. Наиболее эффективным способом повышения качественных характеристик композиционных материалов, содержащих органическое вяжущее, является дисперсное армирование, т. е. использование высокодисперсных минеральных материалов [8]. Так, например, золы-уноса различных типов показали свою эффективность как модификаторы вязкого дорожного битума [9, 10]. Однако ввиду того, что битумная эмульсия является многокомпонентным термодинамически нестабильным материалом, где частички битума стремятся к коагуляции, подбор минерального компонента для ее модификации требует особого подхода.

Согласно теории стабилизации эмульсий твердыми частицами, устойчивость эмульсий определяется устойчивостью межфазного слоя стабилизатора на поверхности капель и устойчивостью эмульсионных прослоек дисперсионной среды между каплями. Согласно [11], нерастворимые порошки представляют собой особый класс стабилизаторов дисперсных систем, в первую очередь эмульсий и пен. Твердыми стабилизаторами могут выступать частицы глины, уголь, кремнезем, стекло, оксиды, гидроксиды и нерастворимые соли многих металлов. Частицы твердого вещества адсорбируются на поверхности вода/масло, образуя межфазный (адсорбционный) слой, защищающий капли эмульсии от коалесценции, что неминуемо ведет к распаду.

Стабилизация эмульсий твердыми частицами обеспечивается несколькими факторами [12–16]:

- 1) прочная адсорбция частиц и образование плотного межфазного слоя частиц на поверхности капель;
- 2) капиллярное давление в эмульсионной пленке, стабилизированной твердыми частицами;
- 3) стерическое или электростатическое отталкивание между адсорбционными слоями;
- 4) механическая прочность и упругость сетки структуры, образуемой твердыми частицами в дисперсионной среде.

Кроме того, чем меньше радиус частицы, тем меньше энергия адсорбции, которая выражает прочность закрепления частицы на межфазной поверхности. Поэтому слишком маленькие частицы не закрепляются на поверхности. Наряду с размерами частиц устойчивое положение твердой сферической частицы на поверхности раздела двух фаз определяется равновесным краевым углом. Так, гидрофильные частицы с краевым углом от 0 до 90°С, такие как оксиды металлов, кремнезем, формируют прямые эмульсии. По совокупности различных характеристик [17–18] уста-

новлено, что топливные золы могут выступать в качестве модифицирующих агентов битумных эмульсий. При этом необходимо определить рецептурно-технологические параметры получения модифицированной эмульсии с учетом сохранения ее свойств до использования в составе композиционных материалов различного функционального назначения.

Таким образом, целью настоящей работы является изучение комплекса свойств битумных эмульсий различных классов, модифицированных золами-уноса преимущественно кислого состава.

В рамках представленной работы исследовались два класса битумных эмульсий производства ООО «Белдорстрой» г. Белгород, наиболее широко используемых в дорожном строительстве, состав которых приведен в табл. 1:

- 1) ЭБДК С – эмульсия битумная дорожная катионная среднераспадающаяся. Используется в качестве вяжущего для устройства слоев дорожной одежды, подгрунтовок, ямочного ремонта;
- 2) ЭБДК М – эмульсия битумная дорожная катионная медленнораспадающаяся. Используется для холодного ресайклинга, приготовления плотных органоминеральных смесей, в том числе на основе грунта.

В качестве модификаторов в работе применялось два вида отходов топливно-энергетических предприятий в виде зол-уноса, выбор которых обусловлен наиболее подходящим набором характеристик (табл. 2–4, рис. 1, 2).

Оба отхода топливно-энергетических предприятий являются продуктами сжигания каменного угля Экибастузского месторождения с применением сухой технологии сжигания и удаления (табл. 2). Они обладают преимущественно кислым составом – суммарное содержание оксидов кремния, алюминия и железа более 90% (табл. 3).

Устойчивая катионная битумная эмульсия, как правило, имеет уровень pH 2–5 [19]. Увеличение водородного показателя приводит к снижению устойчивости эмульсионной системы. Для рассматриваемых минеральных модификаторов значения водородного показателя вытяжки водно-минерального раствора превышают максимальное значение этого показателя на 30 и 44% (табл. 4). Так как водородный показатель рассматриваемых топливных зол выше, чем эмульсии, возникает высокая вероятность неблагоприятного воздействия данных техногенных минеральных материалов на стабильность эмульсии. Однако подбор оптимального количества модификаторов позволит избежать его пагубного влияния на свойства эмульсии.

Кроме того, известно, что частицы катионной битумной эмульсии имеют двойной электрический слой, при этом внешний слой обладает отрицательным зарядом. Соответственно, для того чтобы эмульсия сохраняла стабильность, целесообразно использовать материалы, имеющие такой же заряд. В противном случае использование минеральных

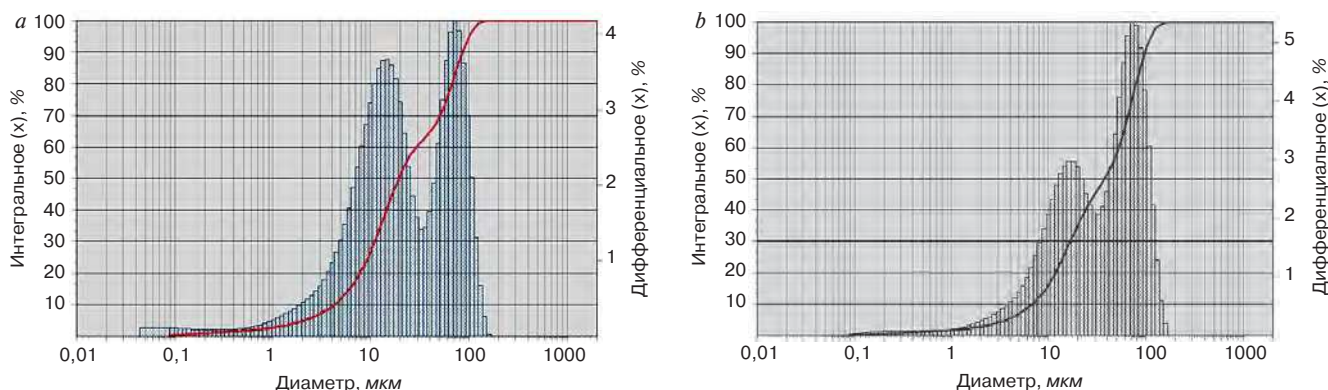


Рис. 1. Дисперсность используемых зол-уноса: а – Троицкой ГРЭС; б – Рефтинской ГРЭС
 Fig. 1. Dispersion of the fly ash used: a – Troitskaya power station; b – Reftinskaya power station

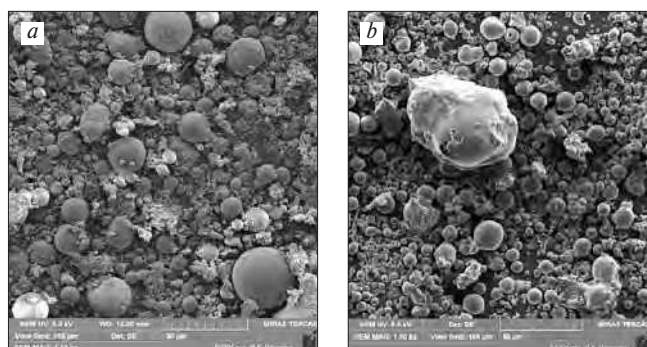


Рис. 2. Морфоструктурные особенности ТЗ при увеличении $\times 5000$: а – Троицкой ГРЭС; б – Рефтинской ГРЭС
 Fig. 2. Morphostructural features of industrial ash with an increase of $\times 5000$: a – Troitskaya power station; b – Reftinskaya power station

Таблица 1
 Table 1

Состав битумных эмульсий
 Composition of bitumen emulsions

Компонент	Вид эмульсии	
	ЭБДК С	ЭБДК М
Битум БНД 70/100, %	60	60
Соляная кислота 30%-я, %	0,22	0,34
Динарам SL, %	0,25	–
Стабирам МС-6, %	–	0,95
Вода, %	39,53	38,71

Таблица 2
 Table 2

Характеристика зол-уноса
 Fly ash characteristics

Источник получения золы	Тип золы	Вид топлива	Зольность, %	Способ сжигания топлива	Способ удаления отходов
Троицкая ГРЭС	Кислая	Каменный уголь	40	Сухой	Сухой
Рефтинская ГРЭС		Экибастузского месторождения			

Таблица 3
 Table 3

Химический состав зол-уноса
 Fly ash chemical composition

Источник получения золы	Содержание, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ППП	пр.
Троицкая ГРЭС	62,53	28,75	0,61	4,1	0,21	1,06	1,05	0,29	4,95	1,4
Рефтинская ГРЭС	60,2	30,92	1,28	3,35	0,15	0,58	0,53	0,75	1,90	2,24

материалов, обладающих положительным зарядом, приведет к конгломерации частиц битума и топливных зол, а соответственно и к распаду эмульсии. Учитывая отрицательные значения электрокинетического потенциала золы-уноса Троицкой и Рефтинской ГРЭС (табл. 4), можно рекомендовать их к использованию.

С термодинамической точки зрения краевой угол смачивания твердых частиц, применяемых в составе прямых эмульсий, должен варьироваться в пределах

0–90°. Так, согласно имеющимся данным (табл. 4), рассматриваемые материалы могут быть применены в составе битумных эмульсий. При этом, вероятно, чем ниже значения краевого угла смачивания, тем дольше эмульсия будет сохранять стабильность.

Данные дисперсионного (рис. 1) и микроструктурного анализов (рис. 2) показывают, что частицы представленных зол-уноса имеют полидисперсное распределение и преимущественно сферическое строение. Размеры частиц колеблются в диапазоне от

Таблица 4
Table 4

Поверхностные свойства зол-уноса
Surface properties of fly ash

Источник получения золы	pH	ζ-потенциал, мВ	Краевой угол смачивания
Троицкая ГРЭС	6,5	-6,6	26,15
Рефтинская ГРЭС	7,2	-4,5	34,71

нескольких микрон до примерно 100 мкм, с преобладанием частиц в диапазоне 10–20 и 60–90 мкм.

Подготовка составов битумных эмульсий с применением минеральных модификаторов проводилась в лабораторных условиях с использованием турбулентного смесителя марки Silverson серии L5, позволяющего равномерно распределить модификаторы в объеме эмульсий с минимальным вовлечением пузырьков воздуха.

Для эмульсии ЭБДК С золы-уноса вводили в диапазоне 2–6% с шагом 2%. Визуальная оценка равномерности распределения зол-уноса обоих типов в составе эмульсий показала, что 6%-я концентрация приводит к конгломерации частиц битума с частицами модификатора. Это вызывает расслоение эмульсии уже на стадии смешения.

Для эмульсии ЭБДК М, так как процесс ее распада заведомо дольше, а, следовательно, и скорость взаимодействия с минеральными материалами ниже, концентрация добавок колебалась в диапазоне 3–9% от количества битума в составе эмульсии с шагом 3%. При этом 9%-я концентрация модификаторов в составе эмульсии является недопустимой в результате конгломерации частиц органического вяжущего с минеральной добавкой.

Таким образом, предельно допустимые концентрации модификаторов, при которых эмульсии равномерно смешиваются, составляют: для среднераспадающейся – 4%, для медленнораспадающейся – 6%.

С использованием нормативной базы был произведен анализ изменения свойств двух классов катионной битумной эмульсии в присутствии модификаторов. На сегодняшний день технические требования к дорожным битумным эмульсиям регламентирует ГОСТ Р 58952.1–2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные. Технические требования». К нормируемым показателям относятся: индекс распада (при использовании песка кварцевого/кварца пылевидного); содержание остаточного вяжущего; остаток на сите № 014; условная вязкость при 40°C; устойчивость при хранении по остатку на сите № 014; устойчивость к расслоению при хранении до 7 сут; адгезия к минеральному материалу. Однако после введения минеральных модификаторов в виде золы-уноса определение некоторых из перечисленных показателей неинформативно (содержание остаточного вяжущего – показатель, характеризующий качество эмульсии, определяется при

проведении входного контроля сырьевых материалов для получения композитов) или не представляется возможным: остаток на сите № 014 – методика определения этого показателя предусматривает проход частиц эмульсии через сито, а присутствие минеральных частиц в составе вяжущего вызывает налипание зол с битумом, что не позволяет дать объективную оценку. Следует также отметить, что данный показатель характеризует качество эмульсии и является необходимым лишь при входном контроле.

Одним из наиболее значимых и информативных показателей, позволяющих установить влияние топливных зол на битумную эмульсию, является индекс распада (табл. 5, 6), который характеризует стабильность эмульсии. Метод определения указанного показателя заключается в установлении максимального количества эмульсии, необходимого для смешения со стандартным минеральным материалом (кварцевым песком), и чем больше величина индекса распада, тем медленнее протекает процесс расслоения.

Анализ результатов испытаний среднераспадающейся эмульсии (табл. 5) показывает, что использование обоих минеральных модификаторов ведет к снижению индекса распада, однако степень влияния отличается. Так, при введении 2% как золы-уноса Троицкой ГРЭС, так и золы-уноса Рефтинской ГРЭС индекс распада незначительно снижается, но в первом случае на 3,5%, а во втором – на 1,8% по сравнению с индексом распада эмульсии без добавки. Повышение концентрации модификаторов до 4% снижает индекс активности на 7,2 в случае с золой-уноса Троицкой ГРЭС и 8,1% в случае с золой-уноса Рефтинской ГРЭС. Следует отметить, что при обеих концентрациях модификаторов значения индекса распада находятся в допустимых пределах.

Согласно данным испытаний модифицированной медленнораспадающейся эмульсии (табл. 6), прослеживается такая же тенденция, как и в случае среднераспадающейся. При использовании модификаторов в виде зол-уноса и повышении их концентрации индекс распада стремится к предельно допустимому значению по ГОСТ 58952.1–2020. Зола-уноса Троицкой ГРЭС также показала себя лучше, чем зола-уноса Рефтинской ГРЭС. Так, использование золы-уноса Троицкой ГРЭС в количестве 3 и 6% снижает индекс распада эмульсии на 1,4 и 2,5% соответственно, а использование золы-уноса Рефтинской ГРЭС – на 1,8 и 3,2%.

Наименьшее влияние модификатора в виде золы-уноса Троицкой ГРЭС на индекс распада как среднераспадающейся эмульсии ЭБДК С, так и медленнораспадающейся эмульсии ЭБДК М объясняется ее поверхностными свойствами (табл. 4): наиболее близким по отношению к эмульсиям значением водородного показателя; наиболее низким значением электрокинетического потенциала; меньшим значением краевого угла смачивания по сравнению с золой-уноса Рефтинской ГРЭС.

Таблица 5
Table 5Индекс распада модифицированной эмульсии ЭБДК С
Decomposition index of modified emulsion EBDK C (cationic bitumen road emulsion medium disintegrating)

Модификатор	–	Зола-уноса Троицкой ГРЭС		Зола-уноса Рефтинской ГРЭС	
Концентрация модификатора, %	0	2	4	2	4
Значение индекса распада	223	215	207	219	205
Норма по ГОСТ Р 58952.1–2020		201–260			

Таблица 6
Table 6Индекс распада модифицированной эмульсии ЭБДК М
Decomposition index of modified emulsion EBDK M (bitumen road cationic emulsion slowly disintegrating)

Модификатор	–	Зола-уноса Троицкой ГРЭС		Зола-уноса Рефтинской ГРЭС	
Концентрация модификатора, %	0	3	6	3	6
Значение индекса распада	276	272	269	271	267
Норма по ГОСТ Р 58952.1–2020		Более 260			

Следующий показатель, характеризующий возможность использования битумных эмульсий после введения минеральных модификаторов, — условная вязкость (табл. 7, 8). Анализ значений условной вязкости среднераспадающейся эмульсии показал, что использование зол-уноса Троицкой ГРЭС и Рефтинской ГРЭС позволяют несколько снизить значения условной вязкости (на 2–14% в зависимости от концентрации и модификатора). При использовании 2%-й концентрации модификаторов в случае с эмульсией ЭБДК С условная вязкость снижается на 5% в присутствии золы-уноса Троицкой ГРЭС и на 2,5% в присутствии золы-уноса Рефтинской ГРЭС по сравнению с исходной немодифицированной эмульсией. Повышение концентрации до 4% приводит к более значительному влиянию модификаторов — условная вязкость снижается на 12,5 и 10% соответственно.

Анализ значений условной вязкости медленно-распадающейся эмульсии в присутствии минеральных модификаторов показал, что наибольшее влияние на изменение данного параметра также оказывает зола-уноса Троицкой ГРЭС. Так, при использовании этого модификатора в количестве 3 и 6% условная вязкость эмульсии снижается на 3,6 и 14,3% соответственно по сравнению с немодифицированной эмульсией. Введение в состав эмульсии золы-уноса Рефтинской ГРЭС в количестве 3 и 6% в первом случае никак не влияет на рассматриваемый параметр, а во втором — снижает его на 7,1%.

Такое влияние золы-уноса на условную вязкость эмульсий двух классов, вероятно, вызвано отрицательными значениями электрокинетического потенциала. Частицы минеральных модификаторов в составе эмульсии, имея одноименный заряд, выступают диспергатором, обеспечивая более равномерное распределение дисперсной фазы в виде капель битума в объеме водной дисперсионной среды, увеличивая таким образом подвижность эмульсии, что и

Таблица 7
Table 7Условная вязкость модифицированной эмульсии ЭБДК С
The relative viscosity of the modified emulsion EBDK C

Модификатор	Условная вязкость, с	
	2%	4%
Зола-уноса Троицкой ГРЭС	38	35
Зола-уноса Рефтинской ГРЭС	39	36
Без добавки	40	
Норма по ГОСТ Р 58952.1–2020	60	

Таблица 8
Table 8Условная вязкость модифицированной эмульсии ЭБДК М
The relative viscosity of the modified emulsion EBDK M

Модификатор	Условная вязкость, с	
	3%	6%
Зола-уноса Троицкой ГРЭС	27	24
Зола-уноса Рефтинской ГРЭС	28	26
Без добавки	28	
Норма по ГОСТ Р 58952.1–2020	30	

приводит к уменьшению времени ее истечения через отверстие вискозиметра (табл. 7).

Целесообразность использования того или иного модификатора в составе битумной эмульсии наравне с рассмотренными показателями дает визуальная оценка адгезии битумной эмульсии и равномерности ее распределения в присутствии топливных зол на поверхности зерен щебня (рис. 3).

Для осуществления визуальной оценки использовались составы и битумных эмульсий, содержащих максимально возможное количество модификаторов (установленное экспериментальным путем): 4% в случае среднераспадающейся и 6% в случае медленно-распадающейся эмульсии. Сравнение адгезии би-



Рис. 3. Адгезия битумных эмульсий, модифицированных золами-уноса, к поверхности крупного заполнителя: *a* – ЭБДК С; *b* – ЭБДК С + зола-уноса Троицкой ГРЭС; *c* – ЭБДК С + зола-уноса Рефтинской ГРЭС; *d* – ЭБДК М; *e* – ЭБДК М + зола-уноса Троицкой ГРЭС; *f* – ЭБДК М + зола-уноса Рефтинской ГРЭС

Fig. 3. Adhesion of bitumen emulsions with modified fly ash to the surface of a coarse aggregate: *a* – EBDK C; *b* – EBDK C + fly ash from Troitskaya power station; *c* – EBDK C + fly ash from Reftinskaya power station; *d* – EBDK M; *e* – EBDK M + fly ash from Troitskaya power station; *f* – EBDK M + fly ash from Reftinskaya power station

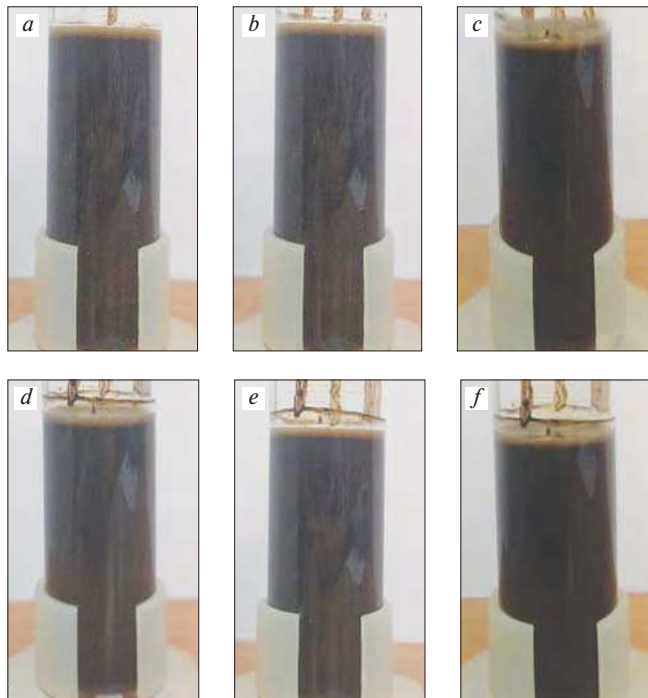


Рис. 4. Устойчивость эмульсий к расслоению при хранении (возраст 7 сут): *a* – ЭБДК С; *b* – ЭБДК С + зола-уноса Троицкой ГРЭС; *c* – ЭБДК С + зола-уноса Рефтинской ГРЭС; *d* – ЭБДК М; *e* – ЭБДК М + зола-уноса Троицкой ГРЭС; *f* – ЭБДК М + зола-уноса Рефтинской ГРЭС

Fig. 4. Stability of emulsions to separation during storage (age 7 days): *a* – EBDK C; *b* – EBDK C + fly ash from Troitskaya power station; *c* – EBDK C + fly ash from Reftinskaya power station; *d* – EBDK M; *e* – EBDK M + fly ash from Troitskaya power station; *f* – EBDK M + fly ash from Reftinskaya power station

тумных эмульсий и равномерности их распределения (рис. 3) по поверхности зерен щебня показывает, что использование модификаторов в виде золы-уноса в составе обоих классов эмульсий не оказывает влияния на равномерность распределения органического вяжущего по поверхности каменного материала, а также на его адгезию. При этом в пленках модифицированного вяжущего, несмотря на невысокую концентрацию модификаторов от количества битума в составе эмульсий, на представленных фотографиях хорошо видно распределение высокодисперсных частиц зол в виде шероховатостей.

Наряду с другими нормируемыми параметрами была произведена оценка устойчивости эмульсий к расслоению при хранении до 7 сут. Это позволит определить возможность использования модифицированных эмульсионных систем не только сразу после подготовки составов, но и после непродолжительного хранения. Так же как и при проведении визуальной оценки распределения органического вяжущего по поверхности каменного материала и его адгезии, в данном случае рассматривались составы с максимально возможным содержанием модификаторов (рис. 4).

Согласно представленным снимкам (рис. 4), можно сделать вывод, что в течение 7 сут все составы (независимо от класса эмульсии и золы-уноса, использованной в качестве модификатора) не подвержены расслоению и сохраняют стабильность.

Выводы

Таким образом, анализ комплекса нормируемых параметров битумных эмульсий различных классов (ЭБДК С, ЭБДК М) в результате модификации алюмосиликатным техногенным сырьем в виде кислой золы-уноса различных производителей (Троицкая ГРЭС, Рефтинская ГРЭС) позволил установить возможность использования минеральных модификаторов, определить их максимально возможную концентрацию, установить взаимосвязь между исходными параметрами топливных и их влиянием на свойства эмульсионных систем. Для среднераспадающейся битумной эмульсии максимально возможное количество золы-уноса Троицкой ГРЭС или Рефтинской ГРЭС составило 4%, а для медленно-распадающейся – 6%. Это в большей степени обусловлено базовым составом эмульсий. В присутствии установленного количества модификаторов эмульсионные системы сохраняют стабильность, вязкость и способны должным образом распределяться по поверхности каменных минеральных материалов. Однако, несмотря на проведенный комплекс испытаний, следует отметить, что при использовании модифицированных эмульсий в составе различных композиционных материалов в зависимости от функционального назначения органического вяжущего (например, придание упругости или гидрофобизация с дополнительным дисперсным упрочнением) может потребоваться ряд дополнительных испытаний, позволяющих определить рациональные составы для достижения необходимого качества.

Список литературы / References

1. Булдаков С.И., Сарафанов К.В. К вопросу применения битумной эмульсии в дорожном хозяйстве. *Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ*. 2014. № 5 (64). С. 72–75.
1. Buldakov S.I., Sarafanov K.V. The question of bitumen emulsion in road construction. *Topical issues of road design. Collection of scientific works of JSC GIPRODORNII*. 2014. No. 5 (64), pp. 72–75. (In Russian).
2. Измаилова Г.Г., Сивохина Е.С., Елшибаев А.О. К вопросу применения битумной эмульсии в составе ресайклированного слоя // *Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева*. 2018. № 2 (105). С. 182–188.
2. Izmailova G.G., Sivokhina E.S., Elshibayev A.O. To the matter of application of bituminous emulsion in content of recycled of layer. *Vestnic of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev*. 2018. No. 2 (105), pp. 182–188.
3. Шахарбаев К.А., Измаилова Г.Г., Сивохина Е.С. Опыт применения шероховатой поверхностной обработки с битумной эмульсией // *Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева*. 2018. № 2 (105). С. 244–251.
3. Shakhbayev K.A., Izmailova G.G., Sivokhina E.S. Experience for the use of rough surface treatment with bitumen emulsion. *Vestnik of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev*. 2018. No. 2 (105), pp. 244–251. (In Russian).
4. Vaitkus A., Gražulytė J., Juknevičiūtė-Žilinskienė L., Andrejevas V. Review of Lithuanian experience in asphalt pavements cold recycling. *10th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2017*. Enviro. 2017. 153. DOI: 10.3846/enviro.2017.153
5. Iwański M., Chomicz-Kowalska A. Application of the foamed bitumen and bitumen emulsion to the road base mixes in the deep cold recycling technology. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. Vol. 11 (4), pp. 291–301. DOI: 10.3846/bjrbe.2016.34
6. Балабанов В.Б., Николаенко В.Л. Укатываемый дорожный золасф бетон // *Архитектура и строительство России*. 2012. № 1. С. 19–24.
6. Nikolaenko V.B., Balabanov V.L. The pavement concrete is compaction by rolling on basis of ash and asphalt. *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2012. No. 1, pp. 19–24. (In Russian).
7. Kukielka J., Bankowski W. The experimental study of mineral-cement-emulsion mixtures with rubber powder addition. *Construction and building materials*. 2019. Vol. 226, pp.759–766. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.276
8. Траутвайн А.И. Анализ влияния качественного состава асфальтобетонной смеси на основные показатели характеристик асфальтобетона в покрытии // *Строительные материалы и изделия*. 2018. Т. 2. № 1. С. 17–23. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2019-2-1-17-23>
8. Trautvain A.I. Analysis of the influence of the qualitative composition of the asphalt-concrete mixture on the main performance characteristics of asphalt concrete pavement. *Stroitel'nyye materialy i izdeliya*. 2019. Vol. 2. No. 1, pp. 17–23. (In Russian).
9. Маркова И.Ю., Строкова В.В., Дмитриева Т.В. Влияние зол-уноса на вязкоупругие характеристики дорожного битума // *Строительные материалы*. 2015. № 11. С. 28–32.
9. Markova I.Yu., Strokova V.V., Dmitrieva T.V. Influence of fly ashes on the viscoelastic characteristics of the bitumen. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 11, pp. 28–32.
10. Лебедев М.С., Чулкова И.Л. Исследование реологических свойств битумных композиций, наполненных золами-уноса различного состава // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 11. С. 45–52.
10. Lebedev M.S., Chulkova I.L. Study of rheological characteristics of bitumen composites with different fly ashes. *Vestnik of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova*. 2016. No. 11, pp. 45–52. (In Russian).
11. Нуштаева А.В., Вилкова Н.Г. Твердые стабилизаторы дисперсных систем: свойства и применение

- // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 3—1. С. 64—67.
11. Nushtaeva A.V., Vilkova N.G. Solid stabilizers of disperse systems: properties and application. *Fundamentalnye Issledovaniya*. 2014. No. 3—1, pp. 64—67. (In Russian).
12. Binks B.P., Murakami R. Phase inversion of particle stabilized materials from foams to dry water. *Nature Materials*. 2006. Vol. 5, pp. 865—869.
13. Horosov T.S., Aveyard R., Clint J., Neumann B. Particle zips vertical emulsion films with particle monolayers at their surfaces. *Langmuir*. 2005. Vol. 21, pp. 2330—2341.
14. Kaptey G. On the equation of the maximum capillary pressure induced by solid particles to stabilize emulsions and foams and on the emulsion stability diagrams. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2006. Vol. 282—283, pp. 387—401.
15. Kruglyakov P.M., Nushtaeva A.V. Effect of stretching a solid particle stabilized emulsion film on its capillary pressure. *Colloid Journal*. 2008. Vol. 70. No. 3, pp. 278—273.
16. Kruglyakov P.M., Nushtaeva A.V. Investigation of the influence of capillary pressure on stability of a thin layer emulsion stabilized by solid particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2005. Vol. 263, pp. 330—335.
17. Марков А.Ю., Строкова В.В., Безродных А.А., Степаненко М.А. Свойства топливных зол различных типов как компонентов битумной эмульсии // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 2 (88). С. 67—76.
17. Markov A.Yu., Strokova V.V., Bezrodnykh A.A., Stepanenko M.A. Properties of fuel ashes of various types as components of bitumen emulsion. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2020. No. 2 (88), pp. 67—76. (In Russian).
18. Markov A.Yu., Strokova V.V., Markova I.Yu., Stepanenko M.A. Physico-chemical properties of fuel ashes as factor of interaction with cationic bitumen emulsion. *In book: Innovations and Technologies in Construction, Selected Papers of BUILDINTECH. BIT 2020*, pp. 294—300. DOI:10.1007/978-3-030-54652-6_44
19. Петленко С.В., Кошкарлов В.Е., Кошкарлов М.А. Аналитические исследования свойств анионо- и катионоактивных битумных эмульсий, анализ развития их производства. *Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: Сборник научных трудов ОАО «ГипродорНИИ»*. 2012. № 3. С. 83—89.
19. Petlenko S.V., Koshkarov V.Ye., Koshkarov M.A. Analytical researches of properties of anion- and cation-active asphalt emulsions, analysis of their production development. *Topical issues of road design. Collection of scientific works of JSC GIPRODORNII*. 2012. No. 3, pp. 83—89. (In Russian).

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

Уважаемые авторы!

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

<https://journal-cm.ru/index.php/ru/avtoram>

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

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

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

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

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

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

Особое внимание библиографическим спискам!

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

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

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

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

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

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

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

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

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

13th International Conference

SUSTAINABLE GREEN CONSTRUCTION AND NANO-TECHNOLOGY



13-я Международная конференция

УСТОЙЧИВОЕ «ЗЕЛЕНОЕ» СТРОИТЕЛЬСТВО И НАНО-ТЕХНОЛОГИИ

18–22 Марта 2022 г.

Шарм Эль Шейх, Египет

Прибытие и регистрация участников 18.03.2022

Отъезд 22.03.2022

NTC-2022

18–22 March, 2022

Sharm El Sheikh, Egypt

Arrival & Registration 18.03.2022

Departure 22.03.2022

Организаторы конференции / Organizers

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



Египетско-российский университет

Egyptian Russian University (ERU)



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



При поддержке / Co-organizers

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



ОБНОВЛЕНА ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ / Conference Themes

«Зеленое» и устойчивое строительство

- Структурные характеристики и механические свойства материалов;
- Огнестойкость и огнезащита;
- Энергоэффективность, качество и устойчивость окружающей среды в помещениях;
- Архитектурные помещения и управление акустикой и шумоизоляцией зданий.
- «Зеленые» здания: тепловой, акустический и визуальный комфорт
- Электрооборудование для зеленого строительства и др.

Нанотехнологии в строительстве

- Синтез и применение наночастиц
- Наноразмерная характеристика материалов.
- Наноструктурированные или нанопористые материалы и нанокompозиты
- Наномодифицированные штукатурки, краски, пленки и наномембраны.
- Огнестойкость.
- Теплоизоляция, энергосбережение и защита окружающей среды.

Основные даты и условия участия / Deadlines and Conference fees

- Представление полной рукописи 31/12/2021
- Принятие полных рукописей 31/01/2022

Регистрационный взнос за полный пакет участника (с проживанием, трансфером и общественными мероприятиями) составляет 550 долл. США/чел и 350 долл. США/чел для студентов.
Оплата производится: Банковским переводом в QNB Qatar National Bank Al Ahli, № счета 20317772206-14, Египетское-Российский университет.

- Submission of full manuscript 31/12/2021
- Acceptance for full manuscripts 31/01/2022

A package for accommodation, internal transportation and social activities is available for Non Egyptian participants for 550 USD/Person and 350 USD/Person for Non Egyptian students.
Payment of fees must be: by Bank transfer to QNB Qatar National Bank Al Ahli, Account No. 20317772206-14, Egyptian-Russian University.

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**

Информационная поддержка – журналы / Information support journals
«Строительные материалы»® «Construction Materials» (Russia)
HBRC Journal (Egypt)

Housing & Building National Research Center Journal
HBRC Journal

К проведению конференции планируется выпуск журнала «Строительные материалы»® № 1–2.2022
Статьи будут публиковаться на двух языках (русский/английский). Срок подачи материала в редакцию до 24.01.2022 /
To holding a conference the issue of the journal «Construction Materials» 1–2.2022 is planned. Articles will be published
in two languages (Russian, English). Deadline for submitting the material to the editorial office before 24.01.2022

Контактная информация в России / Contact information in Russia

Профессор Григорий Иванович Яковлев
ИжГТУ им. М.Т. Калашникова
E-mail: gyakov@istu.ru Тел.: 89128566688
Факс: +7(3412)592555
Prof. G.I. Yakovlev
Kalashnikov Izhevsk State Technical University
Studencheskaya Str., 7, Izhevsk, 426069, Russia
Mob. +79128566688, E-mail: gyakov@istu.ru

Контактная информация в Египте (только на английском языке) / Contact information in Egypt (English only)

Prof. Magdy Helal, Prof. Sayed Shebl
Housing & Building National Research Center
El-Tahrir Street, Dokki, Giza-Egypt
Tel: +20233356853, 37617107
Dr. Mohamed Mahmoud
Mob: +201005463056
info@ntchbrc.com ntc_nano@yahoo.com

Более подробную информацию можно найти на сайте конференции / More information can be found on the website

www.ntchbrc.com

Международная выставка
строительных,
отделочных материалов

и инженерного
оборудования

19|20|21
АПРЕЛЯ
2022

Санкт-Петербург
КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»



Организатор — компания MVK
Офис в Санкт-Петербурге

MVK Международная
Выставочная
Компания

Забронируйте стенд:

interstroyexpo.com

+7 (812) 401 69 55, interstroyexpo@mvk.ru

12+