

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 7

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 ИЮЛЬ 2022 г. (804)

Ураласбокомбинат 1922



2022 УРАЛАСБЕСТ
www.uralasbest.ru



Новый век Асбестовского ГОКа



100+ TECHNO BUILD

IX Международный
строительный форум
и выставка

forum-100.ru

18-21 октября 2022
Екатеринбург



стать экспонентом

13 000
посетителей

235
экспонентов

500
спикеров

120
секций

25
стран

*показатели 2021 года

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

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

Основан в 1955 г.

№ 7

(804) Июль 2022 г.

Тел.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36

mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

Современные бетоны

Т.А. МУХАМЕДИЕВ, С.А. ЗЕНИН

Новое в своде правил по расчету и проектированию бетонных и железобетонных конструкций 4

Институту «ВНИИжелезобетон» 70 лет (Юбилеяры отрасли) 9

С.М. АКБЕРОВА, С.Г. ГАХРАМАНОВ, Р.А. КУРБАНОВА

Самоуплотняющийся бетон на основе материалов Азербайджана 10

Технологии и оборудование

В.Г. КУЗНЕЦОВ, И.П. КУЗНЕЦОВ, П.В. ПУЗАКОВ, Д.В. ВАЩЕНКО, Ю.Н. ОВСЯННИКОВ, В.А. ГАНЖОВ

Решение проблемы борьбы с налипанием железорудного концентрата и сырьевых материалов
на рабочие поверхности технологического оборудования фабрики окомкования

АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева» 17

Н.И. МОТОРНЫЙ, Г.Л. ЛЕВКОВСКИЙ

Разработка экспресс-метода оценки динамической прочности камня

в зависимости от геометрических размеров плит 21

Новый век Асбестовского ГОКа (Юбилеяры отрасли) 29

Материалы и конструкции

О.М. ШАРОНОВА, В.В. ЮМАШЕВ, А.Г. АНШИЦ

Пористость и прочность композитного цемента на основе тонкодисперсной

высококальциевой летучей золы 33

Н.О. КОПАНИЦА, О.В. ДЕМЬЯНЕНКО, А.А. КУЛИКОВА, А.Г. ПЕТРОВ

Прочностные и деформационные свойства строительных растворов,
модифицированных добавкой на основе торфа 40

А.В. ПЧЕЛЬНИКОВ, А.П. ПИЧУГИН, В.Ф. ХРИТАНКОВ, О.Е. СМЕРНОВА

Роль нанодобавок в формировании прочного контактного слоя защитных покрытий 45

Защита зданий от внешних воздействий

Н.Г. КАНЕВ, А.В. ПЕРЕТОКИН, А.С. ФАДЕЕВ, И.Е. ЦУКЕРНИКОВ

Экспериментальная оценка изоляции импульсного шума легкой перегородкой 51

О.А. ЛАРИН, А.Ю. КАШУРКИН, Н.В. МИТРОФАНОВА, Е.В. ФЕДЧЕНКО

Исследования устойчивости к эксплуатационным воздействиям комплектов

для структурного остекления фасадов 57

Результаты научных исследований

В.В. СТРОКОВА, У.Н. ДУХАНИНА, Д.А. БАЛИЦКИЙ, О.И. ДРОЗДОВ,

В.В. НЕЛЮБОВА, О.В. ФРАНК-КАМЕНЕЦКАЯ, Д.Ю. ВЛАСОВ

Влияние состава и дисперсности заполнителя на его цементацию при карбонатной биоминерализации 63

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

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'NYYE MATERIALY®** Founded in 1955

№ 7
(804) July 2022

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

Modern concretes

T.A. MUKHAMEDIEV, S.A. ZENIN

New in the Code of Rules for the Calculation and Design of Concrete and Reinforced Concrete Structures..... 4

Institute «VNIIzhelezobeton»: 70 Years (*Persons of the industry whose jubilees are celebrated*) 9

S.M. AKBEROVA, S.G. GAKHRAMANOV, R.A. KURBANOVA

Self-Compacting Concrete on the Basis of Local Materials of Azerbaijan..... 10

Technologies and equipment

V.G. KUZNETSOV, I.P. KUZNETSOV, P.V. PUZAKOV, D.V. VASHCHENKO, Yu.N. OVSYANNIKOV, V.A. GANZHOV

**Solving the problem of controlling the sticking of iron ore concentrate and raw materials
 on the working surfaces of the technological equipment of the pelletizing plant
 of JSC Mikhailovsky Mining and Processing Plant named after. A.V. Varichev" 17**

N.I. MOTORNY, G.L. LEVKOVSKY

**Development of an Express Method for Assessing the Dynamic Strength of a Stone Depending
 on the Geometric Dimensions of the Slabs 21**

New Century of Asbestovskiy GOK (*Persons of the industry whose jubilees are celebrated*) 29

Materials and structures

O.M. SHARONOVA, V.V. YUMASHEV, A.G. ANSHITS

Porosity and Strength of Composite Cement Based on Fine High-Calcium Fly Ash..... 33

N.O. KOPANITSA, O.V. DEMYANENKO, A.A. KULIKOVA, A.G. PETROV

Strength and Deformation Properties of Building Mortars Modified with a Peat-Based Additive..... 40

A.V. PCHELNIKOV, A.P. PICHUGIN, V.F. KHRITANKOV, O.E. SMIRNOVA

The Role of Nano-Additives in the Formation of a Strong Contact Layer of Protective Coatings 45

Protection of buildings against external impacts

N.G. KANEV, A.V. PERETOKIN, A.S. FADEEV, I.E. TSUKERNIKOV

Experimental Evaluation of Impulse Noise Isolation by a Light Partition 51

O.A. LARIN, A.Yu. KASHURKIN, N.V. MITROFANOVA, E.V. FEDCHENKO

Investigation of the Resistance to Operational Impacts of Sets for Structural Glazing of Facades..... 57

Results of scientific research

V.V. STROKOVA, U.N. DUKHANINA, D.A. BALITSKY, O.I. DROZDOV,

V.V. NELYUBOVA, O.V. FRANK-KAMENETSKAYA, D.Yu. VLASOV

Influence of Aggregate Composition and Dispersion on its Cementation During Carbonate Biomineralization 63

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)

ЛЕОНИЧ 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)

РУДАКОВ О.Б.,

д-р хим. наук, профессор (Воронеж)

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)

RUDAKOV O.B.,

Doctor of Sciences (Chemistry), professor (Voronezh)

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)

Т.А. МУХАМЕДИЕВ, д-р техн. наук (takhir50@rambler.ru);

С.А. ЗЕНИН, канд. техн. наук (lab01@mail.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

Новое в своде правил по расчету и проектированию бетонных и железобетонных конструкций

Представлена информация об изменении № 2 к СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Приведен перечень внесенных в свод правил изменений. Часть изменений принята с целью исключения излишних требований и носит редакционный и уточняющий характер. Другая часть изменений касается уточнения методик расчета железобетонных конструкций. Уточнен перечень железобетонных конструкций, к которым предъявляют требование по отсутствию трещин в сечении. Уточнены и дополнены требования по назначению минимальных классов бетонов конструкций, в том числе конструкций, подверженных воздействию многократно повторяющейся нагрузки. Расширен перечень способов анкеровки поперечной арматуры. Основная часть изменений касается уточнения указаний по расчету железобетонных конструкций. Уточнены положения и включены новые зависимости для расчета наклонных сечений железобетонных конструкций на действие поперечных сил с учетом влияния продольных сжимающих и растягивающих сил. Приведены основные положения и зависимости для расчета на выносливость конструкций, работающих в условиях воздействия многократно повторяющейся нагрузки. Включены правила и порядок определения коэффициентов условий работы для бетона и арматуры при воздействии многократно повторяющейся нагрузки.

Ключевые слова: бетонные и железобетонные конструкции, расчет по прочности, наклонные сечения, расчет на выносливость.

Для цитирования: Мухамедиев Т.А., Зенин С.А. Новое в своде правил по расчету и проектированию бетонных и железобетонных конструкций // *Строительные материалы*. 2022. № 7. С. 4–8. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-4-8>

T.A. MUKHAMEDIEV, Doctor of Sciences (Engineering) (takhir50@rambler.ru);

S.A. ZENIN, Candidate of Sciences (Engineering) (lab01@mail.ru)

Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC “Research Center “Stroitel'stvo” (6, build. 5, 2-nd Institut'skaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

New in the Code of Rules for the Calculation and Design of Concrete and Reinforced Concrete Structures

Information is provided on amendment No. 2 to SP 63.13330.2018 “Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions”. The list of changes made to the set of rules is given. Some of the changes were adopted in order to eliminate unnecessary requirements and are of an editorial and clarifying nature. Another part of the changes concerns the refinement of methods for calculating reinforced concrete structures. The list of reinforced concrete structures to which the requirement for the absence of cracks in the section is clarified. The requirements for the assignment of minimum classes of concrete of structures, including structures exposed to repeated loads, are clarified and supplemented. The list of methods for anchoring transverse reinforcement is expanded. The main part of the changes concerns the clarification of the instructions for the calculation of reinforced concrete structures. The provisions are clarified and new dependencies are included for calculating inclined sections of reinforced concrete structures on the effect of transverse forces, taking into account the influence of longitudinal compressive and tensile forces. The main provisions and dependencies for calculating the endurance of structures operating under the influence of multitime repeated load are given. The rules and procedure for determining the coefficients of working conditions for concrete and reinforcement when exposed to multitime repeated load are included.

Keywords: concrete and reinforced concrete structures, strength calculation, inclined sections, endurance calculation.

For citation: Mukhamediev T.A., Zenin S.A., New in the code of rules for the calculation and design of concrete and reinforced concrete structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 7, pp. 4–8. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-4-8>

В соответствии с утвержденным Минстроем РФ планом разработки сводов правил на 2021 г. специалистами НИИЖБ им. А.А. Гвоздева – АО «НИЦ «Строительство» было разработано Изменение № 2 к своду правил СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

Необходимость разработки изменения вызвана тем, что приведенные в СП 63.13330.2018 положения по расчету железобетонных конструкций на выносливость носили общий характер и не содержали конкретных указаний и методик расчетов, что затрудняло выполнение сформулированных требований к

расчетам. Кроме того, при расчете по действующей редакции СП 63.13330 прочности наклонных сечений железобетонных конструкций с учетом влияния продольной силы у пользователей возникали трудности, обусловленные отсутствием правил определения напряжений в бетоне [1, 2].

Изменения к своду правил были разработаны с учетом результатов выполненных ранее научно-исследовательских работ, а также с учетом накопленного опыта применения СП 63.13330 в практике проектирования бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений [3–6].

Часть изменений внесена в виде редакционных поправок и уточнений отдельных указаний свода правил, а именно:

— в раздел 2 и п. 11.2.4 внесены поправки, связанные с изменением нормативной базы;

— в п. 4.3 уточнен перечень железобетонных конструкций, к которым предъявляют требование по отсутствию трещин в сечении;

— в п. 6.1.6 уточнены требования по назначению класса бетона для предварительно напряженных железобетонных конструкций. Кроме того, в него внесены дополнительные требования по назначению классов бетона по прочности при сжатии для конструкций, рассчитываемых на выносливость. Установлено, что для конструкций без предварительно напряженной арматуры и для предварительно напряженных конструкций, рассчитываемых на воздействие многократно повторяющейся нагрузки, минимальное значение класса бетона следует увеличивать на 5 МПа по сравнению с установленными для конструкций, рассчитываемых на статические нагрузки;

— в п. 10.3.19 расширен перечень способов анкеровки поперечной арматуры, а именно предусмотрено на возможность установки поперечной арматуры с анкерными устройствами на концах, в частности заводских изделий высокой готовности, состоящих из пластин с приваренными к ним ортогонально анкерами с высаженными головками;

— в п. 10.3.24 уточнены правила назначения значения коэффициента η_1 , учитывающего влияние вида поверхности арматуры при расчете базовой длины анкеровки арматуры, необходимой для передачи усилия в арматуре с полным расчетным значением сопротивления R_s на бетон.

Другая часть изменений касалась уточнения указаний по расчету железобетонных конструкций по прочности наклонных сечений и на выносливость.

В п. 8.1.34 свода правил внесены корректировки, касающиеся зависимостей методики расчета наклонных сечений с учетом влияния продольных сил. Установлено, что значение коэффициента φ_n , учитывающего влияние сжимающих и растягивающих напряжений при расчете по полосе между наклонными сечениями и по наклонным сечениям, следует принимать равным:

— при действии сжимающей продольной силы:

$$\varphi_n = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{R_b} \text{ при } \sigma_{cp} \leq 0,25R_b; \quad (1)$$

$$\varphi_n = 1,25 \text{ при } 0,25R_b < \sigma_{cp} \leq 0,5R_b; \quad (2)$$

$$\varphi_n = 2,5 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{cp}}{R_b}\right) \geq 0 \text{ при } \sigma_{cp} > 0,5R_b; \quad (3)$$

— при действии растягивающей продольной силы:

$$\varphi_n = 1 - \frac{\sigma_{cp}}{2R_{bt}} \geq 0, \quad (4)$$

где σ_{cp} — среднее сжимающее или среднее растягивающее напряжение в бетоне от воздействия продольных сил, принимаемое положительным.

Указано, что напряжения σ_{cp} следует определять расчетом на основе нелинейной деформационной модели по формуле:

$$\sigma_{cp} = \frac{N}{A_{red}}, \quad (5)$$

где A_{red} — площадь приведенного поперечного сечения элемента, определяемая с учетом неупругих свойств бетона при сжатии и растяжении:

$$A_{red} = A + \frac{\alpha}{\nu_b} A_s; \quad (6)$$

ν_b — коэффициент упругости бетона при сжатии или растяжении.

Площадь приведенного поперечного сечения элемента A_{red} рекомендовано определять, принимая значение коэффициента ν_b равным:

— при действии сжимающей продольной силы:

$$\nu_b = \frac{R_b}{\varepsilon_{b0} \cdot E_b}; \quad (7)$$

— при действии растягивающей продольной силы:

$$\nu_b = \nu_{bt} = \frac{R_{bt}}{\varepsilon_{bt0} \cdot E_b}, \quad (8)$$

где ε_{b0} и ε_{bt0} принимают по п. 6.1.14 СП 63.13330 для непродолжительного действия нагрузки.

При этом, как и ранее, при расчете по наклонным сечениям элементов изгибаемых конструкций без предварительного напряжения арматуры значение коэффициента φ_n принимают равным 1.

Наибольшему изменению подвергся раздел 13 свода правил, содержащий указания по расчету железобетонных конструкций на выносливость. Изменения в данный раздел внесены на основании результатов ряда выполненных в последние годы научно-исследовательских работ и анализа имеющихся отечественных и зарубежных методик расчета. Основные положения измененной редакции раздела 13 СП 63.13330 состоят в следующем.

В общем случае расчет железобетонных конструкций на выносливость выполняют на действие многократно повторяющейся (подвижной или пульсирующей) нагрузки, вызывающей значительный перепад напряжений в бетоне или растянутой арматуре, если число циклов повторений нагрузки в течение расчетного срока эксплуатации конструкции составляет более 10^5 .

Таблица 1
Table 1

Бетон	Коэффициенты приведения арматуры к бетону α' при классах бетона				
	B20	B25	B30	B35	B40 и выше
Тяжелый	22,5	20	15	12,5	10
Легкий на кварцевом песке	42	36	30,5	28,5	26,5

Таблица 2
Table 2

Бетон	Состояние бетона по влажности	Базовый коэффициент условий работы бетона γ_{b6} при коэффициенте асимметрии цикла ρ_b , равном						
		0–0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Тяжелый	Естественной влажности	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1
	Водонасыщенный	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
Легкий	Естественной влажности	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1
	Водонасыщенный	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1

Таблица 3
Table 3

Класс арматуры	Коэффициенты условий работы прямолинейной арматуры γ_{s1} при коэффициенте асимметрии цикла ρ_s , равном										
	-1	-0,5	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A240	0,5	0,63	0,74	0,84	0,97	1	1	1	1	1	1
A400	0,28	0,34	0,41	0,46	0,53	0,62	0,86	1	1	1	1
A500	0,22	0,28	0,33	0,37	0,43	0,5	0,75	0,9	1	1	1
A600	0,19	0,23	0,27	0,31	0,36	0,42	0,63	0,8	1	1	1
A800						0,31	0,47	0,63	0,8	1	1
A1000						0,25	0,38	0,52	0,73	0,95	1
B500				0,44	0,53	0,67	0,89	1	1	1	1
Bp500				0,4	0,48	0,6	0,81	0,97	1	1	1
Bp1200, Bp1300							0,35	0,48	0,69	0,91	1
Bp1400, Bp1500							0,32	0,44	0,63	0,85	1
K1400... K1550							0,3	0,41	0,59	0,8	1
K1650...K1750							0,27	0,36	0,52	0,74	1
K1850, K1900							0,24	0,32	0,47	0,69	1

Примечания:

$$1. \rho_s = \frac{\sigma_{s,min}}{\sigma_{s,max}},$$

где $\sigma_{s,min}$, $\sigma_{s,max}$ – соответственно наименьшее и наибольшее напряжения в арматуре в пределах цикла изменения нагрузки, определяемые согласно 13.3.

2. При расчете изгибаемых элементов из тяжелого бетона с ненапрягаемой арматурой для продольной арматуры учитывают остаточные напряжения в арматуре вследствие накопления неупругих деформаций в сжатом бетоне, принимая:

$$\text{при } 0 \leq \frac{M_{min}}{M_{max}} \leq 0,2 \quad \rho_s = 0,3;$$

$$\text{при } 0,2 \leq \frac{M_{min}}{M_{max}} \leq 0,75 \quad \rho_s = 0,15 + 0,8 \frac{M_{min}}{M_{max}};$$

$$\text{при } \frac{M_{min}}{M_{max}} > 0,75 \quad \rho_s = \frac{M_{min}}{M_{max}},$$

где M_{min} , M_{max} – соответственно наименьший и наибольший изгибающие моменты в расчетном сечении элемента в пределах цикла изменения нагрузки.

Проверку сопротивления при расчете на выносливость выполняют отдельно для бетона и растянутой арматуры. Сжатую арматуру на выносливость не рассчитывают.

Расчет на выносливость выполняют по упругой стадии с трещинами по приведенным сечениям с учетом неупругих деформаций бетона в сжатой зоне. Неупругие деформации в бетоне сжатой зоны учитывают снижением модуля упругости бетона, принимая

коэффициенты приведения арматуры к бетону по табл. 1. Площадь бетона растянутой зоны учитывают в случае, когда для растянутого бетона соблюдается условие:

$$\sigma_{bt,max} \leq R_{bt} \cdot \gamma_{b6}, \quad (9)$$

где $\sigma_{bt,max}$ – максимальное нормальное напряжение в бетоне растянутой зоны; γ_{b6} – коэффициент условий работы бетона, учитывающий снижение его прочно-

Таблица 4
Table 4

Класс арматуры	Группа сварных соединений	Коэффициент условий работы арматуры γ_{s2} при многократном повторении нагрузки и коэффициенте асимметрии цикла ρ_s , равном						
		0	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1
A240	1	0,65	0,7	0,75	0,9	1	1	1
	2	0,25	0,3	0,35	0,5	0,65	0,85	1
	3	0,2	0,2	0,25	0,3	0,45	0,65	1
A400	1	0,6	0,65	0,65	0,7	0,75	0,85	1
	2	0,2	0,25	0,3	0,45	0,6	0,8	1
	3	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	1
A600	1			0,75	0,75	0,8	0,9	1
	2			0,35	0,4	0,5	0,7	1

Примечания:

1. Группы сварных соединений, приведенные в таблице, включают следующие типы сварных соединений по ГОСТ 14098, допускаемые для конструкций, рассчитываемых на выносливость: 1-я группа – крестообразное типа К1-Кт; стыковые типов С1-Ко, С5-Мф, С7-Рв, С8-Мф, С10-Рв – все соединения при отношении диаметров стержней, равном 1; 2-я группа – стыковые типов С14-Мп, С15-Рс, С17-Мп, С19-Рм, С21-Рн; 3-я группа – нахлесточные типов Н1-Рш, Н2-Кр; тавровые типов Т1-Мф, Т2-Рф и Т12-Рз.

2. В настоящей таблице даны значения γ_{s2} для арматуры диаметром до 20 мм.

3. Значения коэффициента γ_{s2} должны быть снижены на 5% при диаметре стержней 22–32 мм и на 10% при диаметре свыше 32 мм.

сти при многократном приложении нагрузки, определяемый в соответствии с положениями, приведенными ниже.

Расчет на выносливость выполняют по нормальным и наклонным сечениям из условия, что максимальное нормальное напряжение в сжатом бетоне и максимальное напряжение в растянутой арматуре, вычисленные от действия внешних сил и (для предварительно напряженных конструкций) усилия предварительного обжатия, не должны превышать соответственно предела выносливости бетона на сжатие и предела выносливости арматуры на растяжение.

Расчет на выносливость сечений, нормальных к продольной оси элементов, выполняют из условий:

– для сжатого бетона:

$$\sigma_{b,max} \leq R_b \cdot \gamma_{b6}; \quad (10)$$

– для растянутой арматуры:

$$\sigma_{s,max} \leq R_s \cdot \gamma_{s1}, \quad (11)$$

где $\sigma_{b,max}$ – максимальное нормальное напряжение в сжатом бетоне; $\sigma_{s,max}$ – максимальное напряжение в растянутой арматуре; γ_{s1} – коэффициент условий работы арматуры, учитывающий снижение ее прочности при многократном приложении нагрузки, определяемый в соответствии с указаниями, приведенными ниже.

В зоне, проверяемой по сжатому бетону, при действии многократно повторяющейся нагрузки следу-

ет избегать возникновения растягивающих напряжений.

Коэффициенты условий работы бетона γ_{b6} принимают по табл. 2 в зависимости от коэффициента асимметрии цикла ρ_b :

$$\rho_b = \frac{\sigma_{b,min}}{\sigma_{b,max}}, \quad (12)$$

где $\sigma_{b,min}$, $\sigma_{b,max}$ – соответственно наименьшее и наибольшее напряжения в бетоне в пределах цикла изменения нагрузки (см. выше).

Коэффициенты условий работы арматуры γ_s определяют как произведение частных коэффициентов условий работы:

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2} \cdot \gamma_{s3}, \quad (13)$$

где γ_{s1} – коэффициент, учитывающий класс арматуры, профиль и технологию изготовления, определяемый по табл. 3; γ_{s2} – коэффициент, учитывающий влияние сварных соединений арматуры в зоне рассматриваемого расчетного сечения, определяемый по табл. 4; γ_{s3} – коэффициент, учитывающий влияние механических соединений арматуры в зоне рассматриваемого расчетного сечения, принимаемый равным:

$$\gamma_{s3} = 1 - \frac{1450}{R_{sn}} (1 - \rho_s) \geq 0,35. \quad (14)$$

Расчет на выносливость для сечений, наклонных к продольной оси элемента, выполняют по формуле (11) из условия, что равнодействующая главных растягивающих напряжений, действующая

ших на уровне центра тяжести приведенного сечения по длине элемента, должна быть полностью воспринята поперечной арматурой при напряжениях в ней, равных расчетному сопротивлению R_{sw} , умноженному на коэффициент условий работы γ_s (см. выше):

$$\sigma_{s,max} \leq R_{sw} \cdot \gamma_s. \quad (15)$$

Для элементов без поперечной арматуры должно выполняться условие:

$$\sigma_{mt,max} \leq R_{bt} \cdot \gamma_{b6}, \quad (16)$$

где $\sigma_{mt,max}$ — главное растягивающее напряжение в бетоне; γ_{b6} — коэффициенты условий работы бетона принимают по табл. 2 в зависимости от коэффициента асимметрии цикла ρ_b :

$$\rho_b = \frac{\sigma_{mt,min}}{\sigma_{mt,max}}, \quad (17)$$

где $\sigma_{mt,min}$ и $\sigma_{mt,max}$ — соответственно наименьшие и наибольшие главные растягивающие напряжения в бетоне в пределах цикла изменения нагрузки, определяемые по полному приведенному сечению.

Расчет по образованию трещин при действии многократно повторяющейся нагрузки производят из условия:

$$\sigma_{bt,max} \leq R_{bt,ser} \cdot \gamma_{b6}, \quad (18)$$

где $\sigma_{bt,max}$ — максимальное нормальное растягивающее напряжение в бетоне, определяемое по полному приведенному сечению.

В местах расположения механических соединений напрягаемой арматуры образования трещин не допускается.

Список литературы

1. Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. Влияние сжимающих напряжений на прочность наклонных сечений внецентренно сжатых железобетонных элементов // *Бетон и железобетон*. 2021. № 1 (603). С. 44–52.
2. Мухамедиев Т.А., Зенин С.А. Учет влияния продольных сил при расчете железобетонных конструкций по наклонным сечениям. *Сб. докладов Современные проблемы расчета и проектирования железобетонных конструкций многоэтажных зданий: сборник докладов Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения П.Ф. Дроздова*. Москва: МГСУ, ЭБС АСВ, 2013. 328 с.
3. Зенин С.А., Крылов С.Б., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. К актуализации методики расчета железобетонных конструкций по выносливости // *Бетон и железобетон*. 2021. № 1 (603). С. 17–22.
4. Шарипов Р.Ш., Волков Ю.С., Зенин С.А., Крылов С.Б. К вопросу разработки требований к методике расчета железобетонных конструкций при действии многократно повторяющейся нагрузки // *Бюллетень строительной техники*. 2020. № 7. С. 53–56.
5. Шарипов Р.Ш., Зенин С.А., Крылов С.Б., Волков Ю.С. Оценка методов расчета железобетонных конструкций для предельного состояния по усталости // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2020. № 4 (27). С. 148–159.
6. Крылов С.Б., Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Волков Ю.С., Цигулев А.О. Определение напряжений в арматуре железобетонных конструкций для расчета по предельному состоянию по усталости // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2020. № 5 (292). С. 4–11.

References

1. Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V. Influence of compressive stresses on the strength of inclined sections of non-centrally compressed reinforced concrete elements. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 1 (603), pp. 44–52.
2. Mukhamediev T.A., Zenin S.A. Taking into account the influence of longitudinal forces in the calculation of reinforced concrete structures on inclined sections. *Collection of reports Modern problems of calculation and design of reinforced concrete structures of multi-storey buildings: collection of reports of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of P.F. Drozdov*. Moscow: MGSU, EBS DIA, 2013. 328 p. (In Russian).
3. Zenin S.A., Krylov S.B., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V. To update of the methodology for calculating reinforced concrete structures for endurance. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 1 (603), pp. 17–22. (In Russian).
4. Sharipov R.Sh., Volkov Yu.S., Zenin S.A., Krylov S.B. On the issue of developing requirements for the method of calculating reinforced concrete structures under the action of repeatedly repeated loads. *Bulleten stroitelnoy tekhniki*. 2020. No. 7, pp. 53–56. (In Russian).
5. Sharipov R.Sh., Zenin S.A., Krylov S.B., Volkov Yu.S. Evaluation of methods for calculating reinforced concrete structures for the ultimate state of fatigue. *Vestnik NITS "Stroitelstvo"*. 2020. No. 4 (27), pp. 148–159. (In Russian).
6. Krylov S.B., Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Volkov Yu.S., Tsigulev A.O. Determination of stresses in the reinforcement of reinforced concrete structures for calculating the limit state for fatigue. *Stroitel'naya mehanika i raschet sooruzheniy*. 2020 No. 5 (292), pp. 4–11. (In Russian).

Институту «ВНИИжелезобетон» 70 лет

В 2022 г. исполнилось 70 лет с момента образования института «ВНИИжелезобетон» — в настоящее время «Научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института ВНИИжелезобетон».

За период своей деятельности с 1952 г. институтом были созданы и внедрены эффективные технологии производства тяжелых и легких бетонов на цементном и других видах вяжущих, вибрационные методы уплотнения бетона, электротермический метод натяжения арматуры, методы эффективной тепловой обработки бетона, неразрушающего контроля прочности бетона, высокоэффективные комплексные химические добавки, в том числе суперпластификаторы, вяжущие низкой водопотребности (ВНВ) для бетонов высокой прочности и др.

Деятельность института получила широкое отечественное и международное признание. Работы ВНИИжелезобетона были удостоены: *Ленинской премии СССР, трех премий Совета Министров СССР и премии Ленинского комсомола, премии Правительства РФ по науке и технике, Почетных грамот Совета Федерации РФ, Государственной Думы РФ, Минстроя РФ, Минрегиона РФ, Минрегионразвития РФ, Правительства Москвы и Министерства строительства и строительного комплекса Московской области, Российского союза строителей, НОСТРОЯ, нескольких медалей, грамот и дипломов Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), золотых и серебряных медалей ВДНХ, дипломов Международных организаций и выставок.* Институтом получено свыше 560 авторских свидетельств и патентов на изобретения и полезные модели. С 1996 г. ВНИИжелезобетон — ассоциированный член РААСН.

Особо следует отметить деятельность института в новых экономических условиях по ресурсосбережению в строительстве. Институт с середины 1990-х гг. по договору с Правительством г. Москвы создал научно-техническую, нормативную и производственную базу для строительства энергоэффективных жилых и общественных зданий на основе ресурсосберегающих технологий и материалов.

Были созданы особо легкие *полистиролбетоны* с уникальными свойствами; впервые в мировой практике выпущен основополагающий ГОСТ Р 51263–99 «Полистиролбетон. Технические условия» и разработана строительная система энергосберегающих зданий с ограждающими конструкциями «Юникон» для жилых и общественных зданий с применением полистиролбетонов плотностью 150–600 кг/м³.

Построен и введен в эксплуатацию первый отечественный завод ЗАО «ЮНИКОН-ЗСК» по выпуску полистиролбетонных изделий и организовано массовое строительство жилья и соцкультбыта по импортозамещающей технологии «Юникон», которая опередила требования времени по повышению теплозащиты зданий и обеспечила высокую экономичность ограждающих конструкций.

Комплекс работ по созданию, освоению производства и применения технологии «Юникон» при массовом строительстве энергоэффективных зданий удостоен Премии Правительства РФ в области науки и техники в 2010 г.

В последние годы институтом была разработана и успешно реализована концепция строительства нового поколения зданий повышенной энергоэффективности по системе «Юникон-2», основанная на применении полистиролбетона с улучшенными прочностными и теплозащитными свойствами, нормированных в переработанном российском (2012 г.) и новом межгосударственном (2016 г.) стандартах на полистиролбетон.

Москва и Московская область явились лидерами внедрения технологий «Юникон» и «Юникон-2» и с их использованием по всей России к настоящему времени построено более 16 млн м² энергоэффективного жилья и соцкультбыта нового поколения с экономическим эффектом более 46 млрд р.

В 2021 г. институтом запатентована прорывная технология получения особо легкого *негорючего полистиролбетона* — до полутора раз более эффективного, чем ближайший аналог — ячеистый бетон, и разработана новая редакция межгосударственного стандарта на материал для его применения в энергосберегающих ограждающих конструкциях зданий по значительно более эффективной строительной системе «Юникон-3».

В настоящее время институт продолжает занимать ведущие позиции по ресурсосбережению в строительстве, а также по таким важным направлениям как сборные конструкции из спецжелезобетона, санация и реконструкция теплотрасс и др.

Бессменным организатором и научным руководителем работ института с 1982 г. является член-корреспондент РААСН, профессор, Заслуженный строитель РФ, Лауреат премии Правительства РФ по науке и технике **В.А. Рахманов**.

*Генеральный директор
института «ВНИИжелезобетон»
А.В. Юнкевич*

С.М. АКБЕРОВА, канд. техн. наук (sev10@rambler.ru),
С.Г. ГАХРАМАНОВ, инженер (senan876@mail.ru),
Р.А. КУРБАНОВА, канд. техн. наук (jamilahuseynova1999@mail.ru)

Азербайджанский архитектурно-строительный университет (AZ 1073, Азербайджан, г. Баку, ул. А. Султанова, 11)

Самоуплотняющийся бетон на основе материалов Азербайджана

Определены деформационные свойства самоуплотняющихся бетонов, в том числе модуль упругости и усадка. В рамках исследовательской работы в качестве вяжущего был использован СЕМ II/A-P 42,5R (Азербайджан), гранодиоритовый щебень фракции 5–10 мм из Шамкирского района Азербайджана, а также щебень из гравия, добываемого в Кубинском районе. В качестве мелкого заполнителя во всех составах бетона использовался природный песок, отсеиваемый с модулем крупности 3,5, а также микрокремнезем в качестве минеральной добавки и модификатор SF-20 для придания бетону высокой текучести с целью увеличения сопротивления сегрегации и достижения прочности и других строительно-технических свойств бетона. В исследованиях изучались технологические и реологические свойства самоуплотняющихся бетонов с использованием V-воронки, L-короба и J-кольца. На основе самоуплотняющейся смеси соответствующего состава получен бетон высокой прочности. Основная цель исследований – получение самоуплотняющихся бетонных смесей. Прочность при сжатии бетона, полученного на основе велвеличайского и шамкирского гранодиоритового щебня, через 28 сут составила 67,1 и 69,8 МПа соответственно. Показано, что использование суперпластификатора при изготовлении железобетонных конструкций способствует устранению коррозионных проблем за счет снижения водопроницаемости бетона.

Ключевые слова: бетон, местные заполнители, высокая прочность, самоуплотняющиеся бетоны, модуль упругости.

Для цитирования: Акберова С.М., Гахраманов С.Г., Курбанова Р.А. Самоуплотняющийся бетон на основе материалов Азербайджана // *Строительные материалы*. 2022. № 7. С. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-10-15>

S.M. AKBAROVA, Candidate of Sciences (Engineering), (sev10@rambler.ru);
S.G. GAKHRAMANOV, Engineer, (senan876@mail.ru);
R.A. KURBANOVA, Candidate of Sciences (Engineering), (jamilahuseynova1999@mail.ru)
Azerbaijan University of Architecture and Construction (11, Sultanova Street, Baku AZ 1073 Azerbaijan)

Self-Compacting Concrete on the Basis of Local Materials of Azerbaijan

The deformation properties of self-compacting concrete, including the modulus of elasticity and shrinkage, are determined. As part of the research work, CEM II/A-P 42.5R (Azerbaijan), granodiorite crushed stone of 5–10 mm fraction from the Shamkir district of Azerbaijan, as well as crushed stone from gravel mined in the Kubinsky district were used as a binder. As a fine aggregate, natural sand, screening with a size modulus of 3.5, as well as silica as a mineral additive and SF-20 modifier to give the concrete high fluidity to increase segregation resistance and achieve strength and other construction and technical properties of concrete are used in all concrete compositions. The research studied the technological and rheological properties of self-compacting concrete using a V-funnel, L-box and J-ring. High-strength concrete was obtained on the basis of a self-compacting mixture of the appropriate composition. The main purpose of the research is to obtain self-compacting concrete mixtures. The compressive strength of concrete obtained on the basis of Velvelichay and Shamkir granodiorite rubble, after 28 days, was 67.1 and 69.8 MPa, respectively. It is shown that the use of superplasticizer contributes to eliminate corrosion problems in the manufacture of reinforced concrete structures by reducing the water resistance of concrete.

Keywords: concrete, local fillers, high strength, self-compacting concrete, modulus of elasticity.

For citation: Akbarova S.M., Gakhramanov S.G., Kurbanova R.A. Self-compacting concrete on the basis of local materials of Azerbaijan. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 7, pp. 10–15. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-10-15>

Термин «самоуплотняющийся» относится к бетонной смеси, которую можно формовать без вибрации и равномерно распределять по всему объему формы, а также уложить в плотно армированные конструкции, сохраняя при этом однородность. Такие бетоны известны под двумя названиями: «самовыравнивающийся бетон» (self-leveling concrete) и «самоуплотняющийся бетон» (self-compacting concrete) [1–7].

При изготовлении самоуплотняющегося бетона используются водоотталкивающие (антисегрегационные) добавки для обеспечения устойчивости к седиментации и расслоению в смесях высокой по-

движности. Водоотталкивающие добавки по механизму соединения свободной воды можно разделить на два типа:

- *водонерастворимые высокодисперсные наполнители* (микронаполнители), которые поглощают воду из-за большой удельной поверхности и адсорбируют ее;
- *водорастворимые полимеры*, повышающие вязкость жидкой фазы в цементных системах.

К первому типу относятся натуральные и искусственные материалы с высокой удельной поверхностью, например молотые горные породы (известняк, доломит, кварцевый песок и т. д.), а также шлаки, зола-уноса, микрокремнезем и т. д. Такие добавки

обычно вводят в количестве не более чем 10% от массы цемента.

Ко второму типу относятся материалы на основе модифицированной целлюлозы, крахмала и других биополимеров. Такие добавки вводятся в количестве до 1% от веса цемента.

В механизме влияния микронаполнителей на смачиваемость и расслоение цементных систем можно выделить два фактора:

- адсорбция свободной воды, связанная с высокой удельной поверхностью микронаполнителя;
- улучшение гранулометрического состава системы. В этом случае пористость системы уменьшается, а ее водоотталкивающая способность повышается.

Оба фактора тесно связаны с такими параметрами, как удельная поверхность, гранулометрический состав, размер и форма частиц. Стабилизирующий эффект водорастворимых полимеров в цементных системах объясняется тем, что при растворении в воде он образует плотный раствор с повышенной вязкостью. При их добавлении в цементный раствор образуется гелевая структура, предотвращающая свободное движение воды и обеспечивающая связность системы. Известно, что основные принципы выбора состава самоуплотняющихся смесей заключаются в минимизации внутреннего трения и сцепления между частицами для обеспечения оптимальной вязкости.

Поскольку цементное тесто является единственным деформируемым компонентом бетонной смеси, его реологические свойства во многом определяют текучесть бетонной смеси. Она прямо пропорциональна объему и текучести цементного теста. В свою очередь, реологические свойства цементного теста регулируются комплексным действием суперпластификаторов и водоотталкивающих компонентов. Слой, образованный адсорбцией молекул суперпластификатора из водного раствора на поверхности частиц цемента, играет роль смазки, снижает сцепление между частицами и соответственно увеличивает текучесть цементной системы. Присутствие водоотталкивающих компонентов способствует увеличению вязкости и устойчивости цементных систем к сегрегации [1, 2].

На текучесть бетонной смеси влияют следующие свойства заполнителей: размер зерна; форма; гранулометрический состав. Такие формы, как размер зерен, как правило, считаются трудными для урегулирования на практике, но основное предпочтение отдается зернам кубической формы, поскольку они имеют меньшую пустотность и меньшую потребность в воде. Одним из основных условий получения самоуплотняющегося бетона является оптимизированный зерновой состав заполнителей. Непрерывная зернистость создает уплотненную структуру, в которой более крупные частицы окружены более мелкими. Они, в свою очередь, — еще более мелкими, т. е. каждая частица контактирует с несколькими соседними частицами. Поры между ними практически

отсутствуют или минимальны. Это очень хороший фактор, если учесть, что поры обычно заполнены водой.

Известно, что при приготовлении самоуплотняющихся бетонов необходимо использование заполнителей, содержащих до 10 фракций, мм: 0–0,063; 0,063–0,125; 0,125–0,25; 0,25–0,5; 0,5–1; 1–2; 2–4; 4–8; 8–11,2; 11,2–16. Для определения фракций использовались сита разных размеров: 0,13; 0,5; 2; 8; 16. Количество заполнителей, проходящих через каждое сито, определяли и принимали следующим образом, %: 6; 22; 41; 70; 100.

Как отмечают авторы, оптимальная кривая грансостава имеет такую же степень непрерывного распределения. При использовании заполнителей с зернами кубической формы потребность смеси в воде минимальна. Это очень важно для текучести бетонной смеси и прочности бетона. Для приготовления наливных бетонных смесей обычно используются фракции крупных песков.

Отличительными особенностями состава самоуплотняющихся смесей являются изменение соотношения между объемом цементного теста и объемом заполнителей. Увеличенное количество цементного теста важно для уменьшения внутреннего трения между зернами заполнителя.

При приготовлении обычной бетонной смеси оптимальный состав, %: цемент — 10; песок — 30; щебень — 38; вода — 14; воздухововлечение до 8%.

Использование различных типов микронаполнителей является необходимым условием для устранения процесса расслоения самоуплотняющихся бетонных смесей, а также обеспечения плотной структуры бетонов. С учетом этого был предложен следующий состав самоуплотняющихся бетонных смесей, %: цемент — 18,7; микронаполнитель — 7,5% от массы цемента; песок — 26,7; щебень — 45; вода — 7,8; воздухововлечение до 8 %. Самоуплотняющаяся бетонная смесь, приготовленная по данному составу, характеризуется временем вытекания из V-образной формы распылом 700–800 мм и составляет 8–13 с.

Бетоны на основе самоуплотняющихся смесей по основным физико-механическим свойствам не отличаются от обычных вибрированных бетонов.

Кинетика твердения самоуплотняющегося бетона такая же, как у виброуплотненных бетонов той же прочности. Это условие не снижает скорости строительных работ с применением наливного бетона. Бетон на основе самоуплотняющихся смесей имеет такую же прочность при сжатии, как и обычных вибрированных бетонов. Исследования показали, что у стандартных цилиндрических образцов ($d=150$ мм; $h=300$ мм) коэффициент перехода к стандартным кубическим образцам с размерами сторон 150 мм выше, чем у вибрированных бетонов. Это связано с высокой степенью однородности самоуплотняющегося бетона. Одна из основных проблем бетона на основе самоуплотняющихся смесей — это усадка, характерная для любого высокоподвижного бетона. Аутогенная

усадка, которая является частью общей усадки в самоуплотняющихся смесях, в основном происходит из-за недостатка воды внутри цементного камня.

По мнению некоторых исследователей, общая усадка самоуплотняющегося бетона на 50% выше, чем у обычного бетона с тем же классом прочности и таким же водоцементным соотношением.

Отмечено, что нарастающий характер усадочных деформаций резко усиливается в первые сроки твердения. 28-суточные показатели усадки такие же, как и для обычного бетона. Однако общая усадка в самоуплотняющемся бетоне такая же, как и в обычном виброуплотненном бетоне.

Такие условия позволяют различать влияние отдельных видов усадки и их конечный результат. Результаты этих исследований показали, что, как и в случае виброуплотненного бетона, наиболее актуальным для самоуплотняющихся бетонов является пластическая усадка. Пластическая усадка самоуплотняющегося бетона выше, чем в обычном бетоне. Поскольку скорость испарения влаги с поверхности одинакова для обоих типов бетона, удаление влаги варьируется в соответствующих пределах. Для самоуплотняющихся бетонов количество специфической усадки может не приниматься во внимание, так как оно колеблется в пределах 5–15% от общего значения деформаций проседания и находится в пределах допустимых статических отклонений.

При получении высокопрочных бетонов свыше 60 МПа из самоуплотняющихся бетонных смесей происходит аутогенная усадка при изменении водовязущего отношения от 0,22 до 0,3. Было обнаружено, что величина аутогенной усадки выше, когда водовязущее отношение ниже этого предела. Для того чтобы исключить этот фактор, водовязущее отношение должно быть не менее 0,32.

Многочисленные исследования предоставили информацию о несущей способности и долговечности самоуплотняющегося бетона. Результаты таких исследований подтверждают, что увеличение прочности цементной матрицы снижает пористость зоны контакта между цементным камнем и заполнителями. Соответствующим образом увеличивается водонепроницаемость, а также повышается прочность самоуплотняющегося бетона. В то же время ожидается, что модуль упругости СУБ будет низким.

Проведено экспериментальное исследование с использованием двух наполнителей и двух крупных заполнителей разного минералогического происхождения из регионов Азербайджана. Исследованы физико-механические свойства полученного бетона, такие как прочность при сжатии, модуль упругости и коэффициент Пуассона [10, 11].

Большинство заполнителей получают путем дробления природных горных пород на соответствующие размеры. Химический и минералогический состав этих заполнителей, структура, удельный вес, твердость, прочность, физическая и химическая стабильность — важнейшие характеристики полученных за-

полнителей. Опыт показал, что физические свойства заполнителей, такие как геометрическая форма и размер, структура поверхности и водопоглощение, влияют на свойства самоуплотняющегося бетона [11–13].

В рамках исследовательской работы использован СЕМ II/A-P 42,5R («Norm Sement», Азербайджан); шамкирский щебень фракции 5–10 мм (г. Шамкир, Азербайджан) и речной гравий. В качестве мелкого заполнителя во всех составах бетона использовался природный кварцевый песок (удельный вес — 2,61 г/см³; модуль крупности — 2,25; водопоглощение — 1,1%); отсев с модулем крупности 3,5; микрокремнезем в качестве минеральной добавки; модификатор SF-20 для придания бетону высокой текучести с целью увеличения сопротивления сегрегации и достижения прочности, а также для улучшения других строительно-технических свойств бетона.

Для улучшения реологических свойств бетонной смеси из органических добавок введены супер- и гиперпластификаторы, которые снизили содержание воды. В исследовательской работе в качестве высокомолекулярного поверхностно-активного вещества для улучшения текучести бетонной смеси был использован суперпластификатор SF 20 (SiKA).

В бетонной смеси для прохода сквозь плотную арматуру и наполнения смесью формы без механического воздействия обеспечено содержание воздуха в пределах 5%.

В исследованиях изучались технологические и реологические свойства самоуплотняющихся бетонов с использованием V-воронки, L-короба и J-кольца. На основе самоуплотняющейся смеси соответствующего состава получен бетон высокой прочности. В результате экспериментальных исследований время прохождения бетонной смеси через L-короб — 8,5 с. При T₂₀₀ глубина составляла 5,8 см, а при T₄₀₀ — 6,8 см. Время прохождения от V-воронки составило 8,4 с. При прохождении через J-кольцо зафиксировано отсутствие сегрегации. Расплыв самоуплотняющейся смеси при снятии конуса — 68 см.

Вязкость высокопрочного бетона можно определить по измерениям времени рассеивания T₅₀₀ и времени протекания V-воронки. Технологические свойства бетонов изучались в следующем порядке. Текучесть бетонной смеси была протестирована на соответствие с СТБ EN 12350-9, СТБ EN 12350-10, СТБ EN 12350-12.

Для определения вязкости используется V (t_v) воронка. Основной принцип работы V-образной воронки — время прохождения бетонной смеси через конус. Верхняя часть этой воронки имеет форму широкого конуса, сужающегося книзу, который ослабляет поток смеси, разрушая бетонную смесь из-за крупных заполнителей.

Такие методы измерения показывают плотность и расход СУБ. В ходе выполнения тестирования текучести конус V-воронки заполняется бетонной смесью и время, необходимое для полного вытекания смеси, записывается как время текучести.

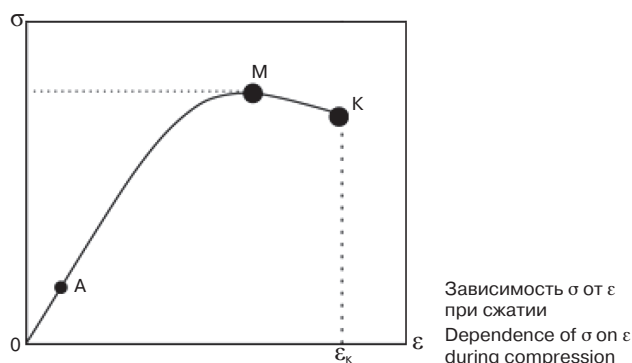
**Состав и свойства бетонной смеси
на местных заполнителях**
**Composition and properties of concrete mix
on local aggregates**

Материал	Речной щебень (Велвеличай, Кубинский район)	Гранодиорит (Шамкир)
Цемент, кг/м ³	460	455
Вода, кг/м ³	190	190
Микрокремнезем 7,5%	34,5	34,1
Мелкий заполнитель, кг/м ³	650	650
Отсев, кг/м ³	380	380
Щебень фр., 5–10 кг/м ³	705	716
В/Ц	0,39	0,39
Воздухововлечение, л/м ³	50	50
Гиперпластификатор, кг/м ³	5,9 (1,2% от массы цемента)	5,7 (1,2% от массы цемента)
Средняя плотность бетона, кг/м ³	2425	2431
Расплав конуса, см	65 ±2,5	65 ±2,5
Прочность при сжатии, МПа	67,1	69,8
Модуль упругости, ГПа	30,5	39,1

С помощью устройства L-короба узнаем возможность прохождения бетонной смеси через арматуру. Как следует из названия, устройство состоит из двух секций, совмещенных по вертикали и горизонтали в форме буквы L. Внизу вертикального сечения размещены арматурные стержни, которые создают препятствие для перемещения смеси.

Испытание, проведенное в L-коробе, показывает способность бетонной смеси проходить через армированные узкие зазоры без сегрегации и потери однородности. При этом испытании соответствующее количество бетонной смеси пропускается горизонтально через зазоры между вертикальными плоскими арматурными профилями. В горизонтальной части короба обозначены расстояние 200 и 400 мм и измеряется время, необходимое для достижения смесью этих точек. Это временные промежутки T_{200} и T_{400} , которые являются показателями заполняемости.

Тестирование J-кольца (t_{500J}). Внутри прибора размещено кольцо диаметром 30 см с окольцованными вокруг него 16 стальными стержнями диаметром 18 мм. После того как конус заполнится бетонной



смесью, он поднимается вертикально вверх и бетон проходит через стальные стержни. Время начального контакта бетонной смеси, максимальный диаметр распределения и диаметр распределения смеси измеряются перпендикулярно с помощью круга диаметром 50 см, нарисованного на стальной пластине, на которой размещается устройство. Концентрация крупного заполнителя в бетоне, остающемся между этими стержнями, оценивается как мера расслоения.

Тестирование J-кольца проводилось в соответствии с EN12350-10. На основе самоуплотняющейся смеси указанного состава получен высокопрочный бетон. Основная цель исследований – получение самоуплотняющихся бетонных смесей, разработанных по методике Окамуры и Одзавы на основе шамкирского (гранодиорита) и кубинского (велвеличайского) щебня из гравия при неизменном составе, и определение модуля упругости бетона, прочности при сжатии.

При средней плотности бетонной смеси 2425–2431 кг/м³ она свободно растекается по всему объему формы под действием собственного веса с получением плотного бетона без использования вибрации. Бетон на основе велвеличайского щебня из гравия через 28 сут имел прочность при сжатии 67,1 МПа, а бетон на основе шамкирского гранодиоритового щебня через 28 сут имел прочность при сжатии 69,8 МПа.

Взятые из бетона образцы в соответствии с ГОСТ 24452–80 «Методы определения начальной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона», СП 63.13330.2018, СНиП 52-01–2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Базовые положения» в основном использовались для определения модуля статической упругости и коэффициента Пуассона в бетоне. Эту простую линейную зависимость между напряжением и относительной деформацией установил английский ученый Роберт Хук [7–10]: упругость материала – состояние, в котором он возвращается в свое предыдущее состояние после приложения нагрузки:

$$\sigma = \epsilon E,$$

где E – модуль упругости; ϵ – относительное удлинение.

Для определения соотношения σ – ϵ изготавливают цилиндры размером 15×30 см, которые размещают в прессе так же, как и при определении показателя прочности при сжатии. Перед началом нагружения на образце размещается механический или электронный Y-тензодатчик деформации. После начала эксперимента это измерение следует продолжать, отмечая постепенно уменьшающиеся и увеличивающиеся деформации, доводя образец до разрушения. На основании вышеизложенного, следует рассчитать напряжения $\sigma = P/A$. Для определения деформации используется формула:

$$\epsilon = \Delta L/L.$$

На кривой напряжение–деформация (см. рисунок) показана зависимость деформации от верти-

кальных напряжений (современные опытные прессы дают такие кривые напряженно-деформированного состояния).

Как видно на рисунке, сначала показатель σ пропорционально возрастает с увеличением значения ϵ . Это условие справедливо для очень малых величин напряжений и является линией раздела кривой между точками О и А. Однако линейная связь между напряжением и деформацией показывает, что кривая σ — ϵ увеличивается до точки М. В верхней части кривой σ — ϵ в интервале между точками М—К наблюдается понижение.

После точки К образование и рост трещин продолжают с огромной скоростью. При напряжении в точке М, определяемом как максимальное значение напряжения, после точки разрыва в образце происходит быстрый рост и прогрессирующее образование трещин.

Выводы

Если прочность заполнителя близка к прочности матрицы, то трещины будут проходить через заполнитель и в этом случае прочность заполнителя будет влиять на прочность бетона.

Определение модуля упругости бетонов подтверждает, что в бетонах нормальной прочности при одинаковом водоцементном соотношении модуль упругости у бетона, изготовленного с использованием гранодиоритового заполнителя, на 8,6 ГПа выше, чем у бетонов, изготовленных с использованием речного щебня.

Список литературы

1. Калашников В.И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Ч. 1. Изменение составов и прочности бетонов // *Строительные материалы*. 2016. № 1—2. С. 96—104.
2. Несветаев Г.В. Технология самоуплотняющихся бетонов // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 24—28.
3. Сапачева Л.В. Актуальные проблемы строительного материаловедения и пути их решения // *Строительные материалы*. 2019. № 1—2. С. 83—85. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-83-85>
4. Теркин Н.Н., Кодыш Э.Н. Перспективы применения высокопрочных бетонов в конструкциях зданий и сооружений // *Вестник МГСУ*. 2011. № 2. С. 39—43.
5. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Новые бетоны и технологии в конструкциях высотных зданий // *Высотные здания*. 2007. № 5. С. 94—101.
6. Таракоглу В., Барадан Б. Механические свойства бетонов повышенной прочности. Стамбул: Kongre Bildiri, 2004. 239 с.
7. Erdoğan T.Y. Beton. Ankara: Middle East Technical University Press, 2003.
8. Коротких Д.Н., Кокосадзе А.Э., Кулинич Ю.И., Паникин Д.А. Технология бетонирования вну-

Бетоны, изготовленные с одинаковым водоцементным соотношением, имеют разную прочность в зависимости от типа заполнителя.

Достигается улучшение пластичности и подвижности смесей при оптимальном водоцементном соотношении за счет комплексного применения химических добавок, обеспечивающих устойчивость к сегрегации.

Установлено, что для обеспечения устойчивости к сегрегации в цементных системах можно использовать щебень фракции 8—16 мм.

Оптимизацией соотношения цементного теста и заполнителей, а также зернового состава заполнителей удастся избежать водоотделения и расслаивания высокопрочных бетонных смесей.

Олигомер SF20 использовался в качестве суперпластификатора для обеспечения пластичности и подвижности цементных систем. SF20 наряду с обеспечением прочности и долговечности бетона за счет получения однородной структуры, изготовленной на основе горных пород, способствует устранению коррозийных проблем при изготовлении железобетонных конструкций за счет снижения водонепроницаемости бетона.

Изучены технологические и прочностные характеристики самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов с применением местных вяжущих и заполнителей, определены деформативные свойства полученных высокопрочных бетонов.

References

1. Kalashnikov V.I. Evolution of the development of compositions and changes in the strength of concrete. Concretes of the present and the future Part 1. Changing the composition and strength of concrete. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 1—2, pp. 96—104. (In Russian).
2. Nesvetaev G.V. Technology of self-compacting concretes. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 24—28. (In Russian).
3. Sapacheva L.V. Actual problems of construction materials science and ways to solve them. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 1—2, pp. 83—85. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-83-85>
4. Terkin N.N., Kodysh E.N. Prospects for the use of high-strength concrete in the structures of buildings and structures. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 2, pp. 39—43. (In Russian).
5. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V. New concretes and technologies in the structures of high-rise buildings. *Vysotnye zdaniya*. 2007. No. 5, pp. 94—101. (In Russian).
6. Tarakoglu V., Baradan B. Mechanical properties of high-strength concrete. Istanbul: Kongre Bildirileri, 2004. 239 p.
7. Erdoğan T.Y. Beton. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları, 2003.

- тренней защитной оболочки реакторного здания Белорусской АЭС // *Строительные материалы*. 2016. № 5. С. 10–16.
9. Баженов Ю.М., Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 6–14.
 10. Нелюбова В.В., Усиков С.А., Строкова В.В., Нецвет Д.Д. Состав и свойства самоуплотняющегося бетона с использованием комплекса модификаторов // *Строительные материалы*. 2021. № 12. С. 48–54. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-48-54>
 11. TS 3502, Betonda E-modül ve poisson Oranının Belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 1981.
 12. ASTM C 469, Sıkıştırmada Betonun Statik Elastisite Modülleri ve Poisson Oranı için Standart Test Yöntemi, Yıllık ASTM Standartları Kitabı, 1994.
 13. TS 500, Betonarme Yapıların Hesaplama ve Tasarım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
 8. Korotkov D.N., Kokosadze A.E., Kulinich Yu.I., Panikin D.A. Technology of concreting the inner protective shell of the reactor building of the Belarusian NPP. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 5, pp. 10–16. (In Russian).
 9. Bazhenov Yu.M., Chernyshov E.M., Korotkov D.N. Designing structures of modern concrete: defining principles and technological platforms. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 6–14. (In Russian).
 10. Nelyubova V.V., Usikov S.A., Strokova V.V., Netsvet D.D. Composition and properties of self-compacting concrete using a complex of modifiers. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 12, pp. 48–54. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-48-54>
 11. TS 3502, Betonda E-modül ve poisson Oranının Belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 1981.
 12. ASTM C 469, Sıkıştırmada Betonun Statik Elastisite Modülleri ve Poisson Oranı için Standart Test Yöntemi, Yıllık ASTM Standartları Kitabı, 1994.
 13. TS 500, Betonarme Yapıların Hesaplama ve Tasarım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.

ИСТОРИЯ ОТРАСЛИ В ФОТОГРАФИЯХ

Тучковский комбинат строительных материалов (Московская обл.) Карьер № 3. Циклично-поточная технология, 1960–1962 гг.

При производстве нерудных строительных материалов доставка горной массы из забоя до промплощадки является самым дорогостоящим и трудоемким процессом. В первой половине XX в. в качестве альтернативного начал применяться конвейерный транспорт.

Ленточные конвейеры получили распространение при разработке месторождений песков и песчано-гравийной смеси. Применялись схемы с торцевым и боковым расположением конвейеров. Поскольку на добычных работах использовались в основном одноковшовые экскаваторы, для преобразования циклического процесса – погрузки горной массы – в непрерывный (поточный) потребовалось дополнительное устройство – бункер-питатель. Из бункера-питателя горная масса непрерывно поступает на конвейер и в период разворотов экскаватора. Такая технология получила название циклично-поточной (ЦПТ).

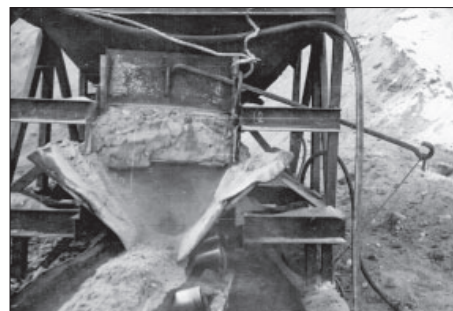
На фото ЦПТ с торцевым расположением забойных конвейеров на песчано-гравийном карьере № 3 Тучковского комбината строительных материалов (Московская обл.). Экскаватор Э-1252 с ковшом емкостью 1,25 м³ грузит песчано-гравийную смесь в приемную воронку бункера-питателя, обходя его по заходке серповидной формы.

В конструкцию бункера-питателя включен хвостовой барабан забойного конвейера, что облегчает операции по удлинению забойного конвейера после отработки каждой серповидной заходки.

Бункеры-питатели, предназначенные для работы с экскаваторами, оснащенными ковшами емкостью до 1,5 м³, монтировались на полозьях и передвигались экскаватором или бульдозером. Чтобы упорядочить процесс передачи (истечения) горной массы из приемной воронки на забойный конвейер, в конструкцию бункеров включали питатель. Наибольшее распространение получили кареточные питатели. Такие бункеры-питатели могли изготавливать в механических цехах предприятия.

Более сложные и массивные бункеры-питатели выполнялись самоходными, на гусеничном ходу. В качестве ходового механизма обычно использовали базу экскаватора. Передвижка бункера-питателя на гусеничном ходу занимала немного времени и не требовала привлечения дополнительной техники. Чтобы увеличить шаг передвижки забойных конвейеров и благодаря этому сократить количество простоев, конструкцию бункеров-питателей дополняли консольным разгрузочным конвейером.

Г.Р. Буткевич, канд. техн. наук
(фото из личного архива)

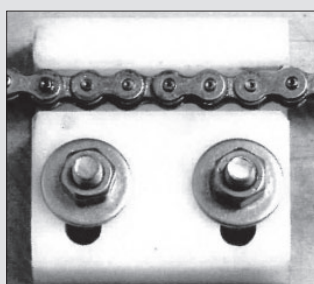
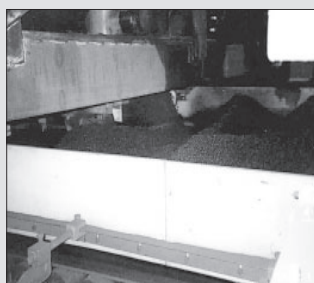
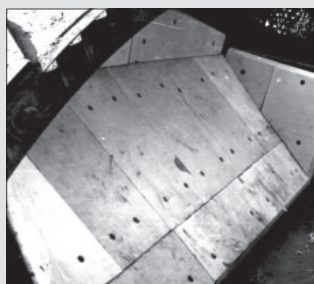
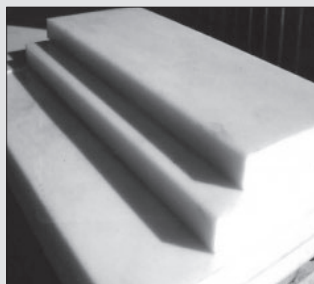




ООО «Ас-Тик КП»



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



Проблема налипания материала на рабочие поверхности оборудования решена!

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

ППФП-Астики обладают:

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

При выпуске марок **ППФП-Астики**, согласно ТУ 2246-001-22711279–2008, применяется внедренная и действующая в компании ООО «Ас-Тик КП» Интегрированная Система Менеджмента по соответствию требованиям международных стандартов, а именно Система Менеджмента Качества – ISO 9001:2015 и Система Экологического Менеджмента – ISO14001:2015.

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

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

ООО «Ас-Тик КП» принимает участие в запросах предложений предприятий по закупке марок **ППФП-Астики** на ЭТП B2B-Center.

Компания ООО «Ас-Тик КП» не имеет дилеров на территории России по реализации марок **ППФП-Астики**.



Реклама

ООО «Ас-Тик КП»

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

УДК 622

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-17-20>

В.Г. КУЗНЕЦОВ¹, президент, директор по экономике и финансам (ppfp_astiki@mail.ru),
 И.П. КУЗНЕЦОВ¹, генеральный директор (astik_kp@mail.ru);
 П.В. ПУЗАКОВ², главный инженер (postfax@mgok.ru),
 Д.В. ВАЩЕНКО², начальник фабрики окомкования (vashenko73@mail.ru),
 Ю.Н. ОВСЯННИКОВ², механик участка цеха по обслуживанию механического оборудования фабрики,
 В.А. ГАНЖОВ², ведущий специалист отдела по обеспечению ремонта фабрики

¹ ООО «Ас-Тик КП» (109004, г. Москва, Тетеринский пер., 16)

² АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева» (307170, Курская обл., г. Железногорск, ул. Ленина, 25)

Решение проблемы борьбы с налипанием железорудного концентрата и сырьевых материалов на рабочие поверхности технологического оборудования фабрики окомкования АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева»

Опыт эксплуатации горнотранспортного и технологического оборудования на предприятиях основных отраслей народного хозяйства России и государств СНГ свидетельствует о том, что при работе на увлажненных липких породах и сырьевых материалах резко падает пропускная способность узлов и производительность оборудования в целом, а также увеличивается количество внеплановых простоев, связанных с необходимостью расчистки рабочих поверхностей от налипших масс материалов. На примере фабрики окомкования АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева» показано решение проблемы борьбы с налипанием железорудного концентрата и сырьевых материалов на рабочие поверхности технологического оборудования путем длительного (более 20 лет) использования высокоэффективного способа по применению полимерных противоналипающих футеровочных пластин марок ППФП-Астики. Отмечается, что вся продукция ППФП-Астики, выпускаемая компанией ООО «Ас-Тик КП», сертифицирована и соответствует требованиям нормативного документа ТУ 2246-001-22711279-2008. Положительный опыт фабрики окомкования комбината по борьбе с налипанием увлажненных сырьевых материалов на рабочие поверхности технологического оборудования рекомендуется к широкому внедрению как на родственных предприятиях, так и на других горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях.

Ключевые слова: налипание, железорудный концентрат, сырьевые материалы, полимерные противоналипающие футеровочные пластины марок ППФП-Астики, интегрированная система менеджмента.

Для цитирования: Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Пузаков П.В., Ващенко Д.В., Овсянников Ю.Н., Ганжов В.А. Решение проблемы борьбы с налипанием железорудного концентрата и сырьевых материалов на рабочие поверхности технологического оборудования фабрики окомкования АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева» // *Строительные материалы*. 2022. № 7. С. 17–20. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-17-20>

V.G. KUZNETSOV¹, President, Director for Economics and Finance (ppfp_astiki@mail.ru), I.P. KUZNETSOV¹, General Director (astik_kp@mail.ru);
 P.V. PUZAKOV², Chief Engineer (postfax@mgok.ru), D.V. VASHCHENKO², Head of the Pelletizing Plant (vashenko73@mail.ru),
 Yu.N. OVSYANNIKOV², Mechanic of the Shop for the maintenance of the mechanical equipment of the factory,
 V.A. GANZHOV², Leading Specialist of the Factory Repair Department

¹ LLC «As-Tik KP» (16, Teterinsky pereulok, 109004, Moscow, Russian Federation)

² JSC «Mikhailovsky GOK imeni A.V. Varicheva» (25 Lenina Street, Zheleznogorsk 307170, Kursk region, Russian Federation)

Solving the problem of controlling the sticking of iron ore concentrate and raw materials on the working surfaces of the technological equipment of the pelletizing plant of JSC Mikhailovsky Mining and Processing Plant named after. A.V. Varichev

The experience of operating mining and technological equipment at enterprises of the main branches of the national economy of Russia and the CIS states indicates that when working on moistened sticky rocks and raw materials, the throughput of units and the productivity of the equipment as a whole drops sharply and as well as the number of unscheduled downtime associated with the need to clear work surfaces from adhering masses of materials is increasing. Using the example of the pelletizing factory of JSC Mikhailovsky GOK named after A.V. Varichev, the solution to the problem of controlling the sticking of iron ore concentrate and raw materials on the working surfaces of technological equipment is shown by using a long-term (more than 20 years) highly effective method for the use of polymer anti-sticking lining plates of PPFP-Astika brands. It is noted that all PPFP-Astiki products manufactured by As-Tik KP LLC are certified and comply with the requirements of the regulatory document TU 2246-001-22711279-2008. The positive experience of the pelletizing plant of the combine in controlling the sticking of moistened raw materials on the working surfaces of technological equipment is recommended for wide implementation both at related enterprises and at other mining and processing enterprises.

Keywords: sticking, iron ore concentrate, raw materials, polymeric anti-stick lining plates of PPFP-Astiki grades, integrated management system.

For citation: Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Puzakov P.V., Vashchenko D.V., Ovsyannikov Yu.N., Ganzhov V.A. Solving the problem of controlling the sticking of iron ore concentrate and raw materials on the working surfaces of the technological equipment of the pelletizing plant of JSC «Mikhailovsky Mining and Processing Plant named after. A.V. Varichev». *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 7, pp. 17–20. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-17-20>

Опыт эксплуатации горнотранспортного и технологического оборудования на предприятиях черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов, угольной промышленности, производства горно-химического сырья, минеральных удобрений и других отраслей народного хозяйства России и государств СНГ свидетельствует, что при работе на увлажненных липких породах и сырьевых материалах резко падает пропускная способность узлов и производительность оборудования в целом, а также увеличивается количество внеплановых простоев, связанных с необходимостью расчистки рабочих поверхностей от налипших масс материалов. Следует отметить, что в большинстве случаев расчистка осуществляется, как правило, при помощи небезопасного тяжелого физического труда.

Отечественный и зарубежный опыт по борьбе с налипанием увлажненных липких пород и сырьевых материалов на рабочие поверхности оборудования, используемого в различных горно-геологических, горнотехнических и температурно-климатических условиях, наглядно и убедительно показывает, что наиболее эффективным средством устранения (уменьшения) налипания увлажненных материалов являются полимерные противоналипающие футеровочные пластины (ППФП), изготавливаемые из полиолефинов следующих марок: ППФП-Астики (Россия), Супрален и Трогамид (Германия), Тивар (США), Треллеборг (Швеция) и аналогичные им [1].

На основании широкого внедрения и длительной эксплуатации полимерных противоналипающих пластин марок ППФП-Астики на предприятиях основных горнодобывающих и перерабатывающих отраслей промышленности специалистами ООО «Ас-Тик КП» рекомендуются следующие области их применения (рис. 1).

На фабрике окомкования (ФОК) АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева», отметившей свое 45-летие, на протяжении 20 лет успешно используют на технологическом оборудовании ППФП, которые выпускались до 2008 г. компанией ООО «Ас-Тик КП» под марками ППФП ВД ОИ, ППФП ПИУ и ППФП ВИУ, а с 2008 г. и по настоящее время выпускаются по ТУ 2246-001-22711279–2008 под марками ППФП ВД ОИ-Астики, ППФП ПИУ-Астики и ППФП ВИУ-Астики.

Эффективность их использования достигается путем правильного подбора сырьевого полимера в зависимости от коэффициента крепости материала по шкале проф. М.М. Протодыконова и требуемой толщины пластины, которую определяют с учетом различных условий эксплуатации [2]. Так, ППФП ВД ОИ (обычного исполнения) толщиной 8 мм используют в качестве футеровки рабочих поверхностей приемных бункеров, пересыпных устройств, перегрузочных устройств конвейеров, транспортирующих железорудный концентрат и сырьевые материалы, а также бункеров цеха готовой продукции (рис. 2, а).

ППФП ВД ОИ с толщиной пластины 4 мм используют в качестве футеровки разгрузочных карманов вакуумных фильтров.

ППФП ПИУ (повышенной износостойкости и ударопрочности) и ППФП ВИУ (высокой износостойкости и ударопрочности) с толщиной пластины 20 мм используют в качестве подложки под конвейерную ленту в местах разделения транспортируемого потока железорудного концентрата (рис. 2, б); для рабочей части разделителя плужкового сбрасывателя, контактирующего с движущейся лентой конвейера (рис. 2, с); на роликовом укладчике сырых окатышей на обжиговой тележке (рис. 2, d) и направляющей для цепи роликового укладчика (рис. 2, e).

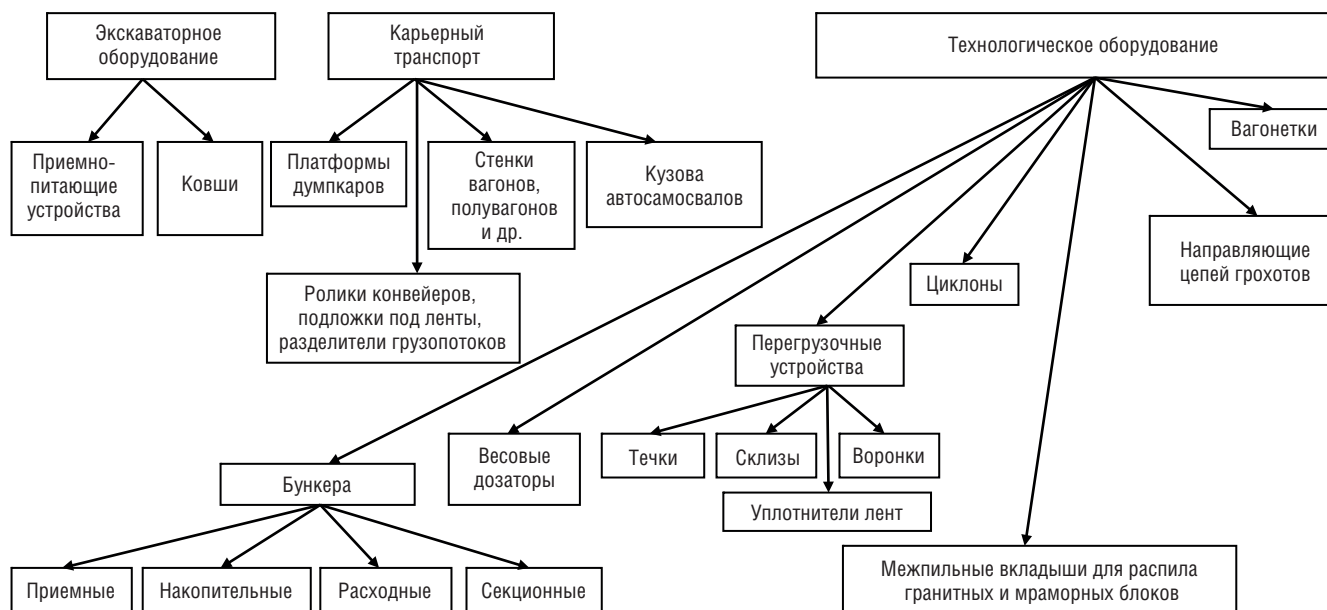


Рис. 1. Схема рекомендуемых областей применения полимерных противоналипающих пластин марок ППФП-АСТИКИ
Fig. 1. Scheme of recommended areas of application of polymeric anti-adhesion plates of PPFP-ASTIKI grades



Рис. 2. Места эффективного применения полимерных противоналипающих пластин марок ППФП-Астики на производстве: *a* – перегрузочный приемный бункер железорудного концентрата, оборудованный пластинами марки ППФП ВД ОИ-Астики; *b* – подложка из пластины марки ППФП ОИ-Астики под конвейерную ленту в месте установки плужкового сбрасывателя; *c* – плужковый сбрасыватель с разделителями из пластин марки ППФП ПИУ-Астики; *d* – роликовый укладчик сырых окатышей с бортами из пластин марки ППФП ПИУ-Астики; *e* – направляющая из пластины марки ППФП ВИУ-Астики для перемещения по ней цепи роликового укладчика

Fig. 2. Places of effective application of polymeric anti-adhesion plates of PPFP-Astiki grades in production: *a* – reloading receiving hopper of iron ore concentrate, equipped with plates of PPFP VD OI-Astiki grade; *b* – a substrate made of a plate of the brand PPFP OI-Astiki under the conveyor belt at the place where the plow ejector is installed; *c* – plow ejector with separators made of PPFP PIU-Astiki plates; *d* – roller stacker of raw pellets with boards made of PPFP PIU-Astiki plates; *e* – a guide made of a PPFP VIU-Astiki plate for moving the roller stacker chain along it

Использование полимерных противоналипающих пластин различных марок ППФП-Астики позволило исключить на рабочих поверхностях технологического оборудования ФОК налипание тонкоизмельченного железорудного концентрата, известняка, бентонитовой глины и шихты, уменьшить в среднем на 30% неплановые остановки конвейерного транспорта, повысить стабильность нагрузки на технологических линиях, увеличить в среднем в 1,4 раза пропускную способность узлов, а также существенно уменьшить тяжелый ручной труд, применявшийся ранее при расчистке узлов, подверженных

налипанию. Все это способствовало поднятию производственных мощностей до проектных значений, которые существенно уменьшались (более чем в 1,5 раза) при работе на увлажненных сырьевых материалах [3–6].

Следует отметить, что для нового комплекса обжиговой машины № 3 технологической линии ФОК было запроектировано и изготовлено в заводских условиях 20 новых металлических бункеров, оборудованных полимерными противоналипающими пластинами марки ППФП ВД ОИ-Астики с общим весом порядка 18 т [7].

Вся продукция полимерных пластин марок ППФП-Астики сертифицирована ПРОСС.RU.C.04. ФАЛ.ПР.0041 и соответствует требованиям нормативного документа ТУ 2246-001-22711279-2008.

Для надежного, долговечного и эффективного использования полимерных противоналипающих пластин марок ППФП-Астики в компании ООО «Ас-Тик КП», отметившей свое 30-летие, внедрена и действует на всех этапах выпуска готовой продукции Интегрированная Система Менеджмента в соответствии с требованиями международных стандартов, а именно:

– система Менеджмента Качества сертифицирована применительно к предоставлению услуг в области производства прочих пластмассовых изделий и соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ISO 9001:2015) с ежегодным инспекционным контролем;

– система Экологического Менеджмента сертифицирована применительно к предоставлению услуг в области производства прочих пластмассовых изделий и соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 14001-2016 (ISO 14001:2015) с ежегодным инспекционным контролем.

Таким образом, положительный опыт по борьбе с налипанием увлажненного железорудного концентрата и сырьевых материалов на рабочие поверхности технологического оборудования ФОК АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева» рекомендуется к широкому использованию как на родственных предприятиях железорудной промышленности черной металлургии, так и на аналогичных предприятиях других отраслей горнодобывающей и перерабатывающей промышленности.

Список литературы

1. Кузнецов В.Г., Киселев Н.Н., Кочетов Е.В., Кузнецов И.П. Снижение влияния липкости горных пород и сырьевых материалов на работоспособность оборудования за счет применения ППФП-Астики // *Строительные материалы*. 2017. № 1–2. С. 99–103.
2. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. К вопросу надежного и эффективного использования ППФП-Астики на оборудовании, работающем на увлажненных материалах // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 45–48.
3. Пазынич Г.П., Кучин А.Н., Кривonos М.В., Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. Применение полимерных противоналипающих пластин для футеровки стенок бункеров перегрузочных устройств // *Горный журнал*. 2003. № 9. С. 59–60.
4. Кузнецов В.Г., Затковецкий В.М., Кузнецов И.П., Кривonos М.В., Тарасов С.Н. Полимерные противоналипающие футеровочные пластины – эффективное средство борьбы с налипанием горных пород на рабочие поверхности экскаваторного и технологического оборудования // *Горный журнал*. 2006. № 4. С. 56–57.

5. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Копылов С.В., Ситников С.Н., Племяшов А.В., Пазынич Г.П., Кривonos М.В. Правильный подбор полимерных противоналипающих футеровочных пластин – залог эффективной эксплуатации технологического оборудования // *Горный журнал*. 2008. № 4. С. 80–81.
6. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кузнецов И.П., Кочетов Е.В. и др. Эффективная эксплуатация технологического оборудования на фабрике окомкования ОАО «Михайловский ГОК» при работе на увлажненных сырьевых материалах // *Горный журнал*. 2013. № 12. С. 71–73.
7. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Бородин А.А., Иванников Д.И., Заостровский П.В., Ануфриев Д.А., Мокроусов Н.С. Заводской выпуск бункеров, оборудованных эффективным средством борьбы с налипанием материалов ППФП-Астики // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 55–56.

References

1. Kuznetsov V.G., Kiselev N.N., Kochetov E.V., Kuznetsov I.P. Reducing the influence of stickiness of rocks and raw materials on working efficiency of equipment due to application of PPFP-Astiki. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 1–2, pp. 99–103. (In Russian).
2. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. To the issue of reliable and efficient application of PPFP-Astiki at equipment operating with damp materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 45–48. (In Russian).
3. Pazynich G.P., Kuchin A.N., Krivonos M.V., Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. The use of polymeric anti-adhering plates for lining the walls of bunkers of reloading devices. *Gornyy zhurnal*. 2003. No. 9, pp. 59–60. (In Russian).
4. Kuznetsov V.G., Zatkovetsky V.M., Kuznetsov I.P., Krivonos M.V., Tarasov S.N. Polymeric anti-adhesive lining plates – an effective means of combating the sticking of rocks on the working surfaces of excavator and technological equipment. *Gornyy zhurnal*. 2006. No. 4, pp. 56–57. (In Russian).
5. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Kopylov S.V., Sitnikov S.N., Plemyashov A.V., Pazynich G.P., Krivonos M.V. Proper selection of polymeric anti-adhesive lining plates is the key to efficient operation of technological equipment. *Gornyy zhurnal*. 2008. No. 4, pp. 80–81. (In Russian).
6. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kuznetsov I.P., Kochetov E.V. Efficient operation of process equipment in the factory pelletizing JSC «Mikhailovsky GOK» when working on moist raw materials. *Gornyy zhurnal*. 2013. No. 12, pp. 71–73. (In Russian).
7. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Borodin A.A. i dr. Factory production of bunkers equipped with efficient means of struggle with adhering of materials – PPFP-Astiki. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 54–56. (In Russian).

УДК 691.32

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-21-28>

Н.И. МОТОРНЫЙ, канд. геол.-минер. наук (lab@stroms.ru), Г.Л. ЛЕВКОВСКИЙ, канд. техн. наук

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

Разработка экспресс-метода оценки динамической прочности камня в зависимости от геометрических размеров плит

При устройстве облицовки полов, лестниц, эстакад необходимо определение значений стойкости к ударным воздействиям камня. Определение этого параметра при поступлении материала на объект не всегда возможно оперативно вследствие несоответствия толщины плит требуемой толщине образцов для испытаний. Предложен экспресс-метод определения динамической прочности облицовочных плит из природного камня, учитывающий их геометрические размеры. На основе пропорционального соотношения сил динамического и статического воздействия рассчитаны и приводятся поправочные коэффициенты к значениям ударной прочности камня в зависимости от толщины и длины образцов. В случаях отсутствия лабораторных данных об ударной прочности камня приводится аналитический метод определения этого параметра, основанный на функциональных зависимостях динамической прочности камня от скорости распространения по камню ультразвукового импульса, предела прочности при сжатии и средней плотности. На основе аппроксимации точечных значений функций по методу наименьших квадратов рассчитаны полиномы, описывающие функцию зависимости ударной прочности от скорости УЗИ, средней плотности и прочности при сжатии для известняков, мраморизованных известняков и гранитоидов. По таким полиномам приведенные значения ударной прочности плит из природного камня могут быть определены расчетным путем как среднее приведенное с учетом значимости показателей, полученных по каждому из полиномов для одного и того же вида камня. В заключение расчетные значения ударной прочности определяются с учетом поправочных коэффициентов, вводимых на основе отклонений расчетных значений от лабораторных. Проверка расчетных данных проведена путем лабораторных испытаний и сопоставления данных, полученных расчетным путем, с данными лабораторных испытаний. Такое сопоставление показывает близкую сходимость результатов. Приводимые авторами математические зависимости по мере поступления новых лабораторных данных могут быть усовершенствованы. Изложенные в статье сведения будут полезны организациям, проектирующим каменную облицовку; строительным организациям, проводящим работы по установке каменной облицовки; специалистам, проводящим исследования в области оценки качества каменных материалов.

Ключевые слова: стойкость к ударным воздействиям, динамическая прочность камня, экспресс-метод, скорость ультразвукового импульса, полином, известняк, мраморизованный известняк, гранит.

Авторы выражают благодарность ООО «РЕАЛПРОФ» (г. Ногинск) и лично начальнику участка ООО «Алкон-Строй» Евгению Ивановичу Уткину за качественное изготовление образцов плит для проведения исследований.

Для цитирования: Моторный Н.И., Левковский Г.Л. Разработка экспресс-метода оценки динамической прочности камня в зависимости от геометрических размеров плит // *Строительные материалы*. 2022. № 7. С. 21–28. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-21-28>

N.I. MOTORNY, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy) (lab@stroms.ru), G.L. LEVKOVSKY, Candidate of Sciences (Engineering) Research and Design and Survey Institute for Problems of Extraction, Transportation and Processing of Mineral Raw Materials in the Industry of Building Materials (VNIPIIstromsyre) (1, building 1, Volokolamskoe Highway, Moscow, 125080, Russian Federation)

Development of an Express Method for Assessing the Dynamic Strength of a Stone Depending on the Geometric Dimensions of the Slabs

When installing floors, stairs, overpasses, it is necessary to determine the values of resistance to stone impact. Determining this parameter when the material arrives at the object is not always possible promptly, due to the discrepancy between the thickness of the plates and the required thickness of the test specimens. An express method for determining the dynamic strength of facing slabs made of natural stone, taking into account their geometric dimensions, is proposed. Based on the proportional ratio of the forces of dynamic and static impact, correction factors are calculated and given to the values of the impact strength of the stone, depending on the thickness and length of the samples. In cases where there are no laboratory data on the impact strength of the stone, an analytical method for determining this parameter is given, based on the functional dependences of the dynamic strength of the stone on the speed of propagation of the ultrasonic pulse through the stone, compressive strength and average density. Based on the approximation of the point values of the functions by the least squares method, the polynomials describing the function of the dependence of the impact strength on the ultrasound velocity, average density and compressive strength for limestones, marmorized limestones and granitoids are calculated. According to such polynomials, the reduced values of the impact strength of natural stone slabs can be determined by calculation as the average given, taking into account the significance of the indicators obtained for each of the polynomials for the same type of stone. In conclusion, the calculated values of impact strength are determined taking into account the correction coefficients introduced on the basis of deviations of the calculated values from the laboratory ones. Verification of the calculated data was carried out by laboratory tests and comparison of the data obtained by calculation with the data of laboratory tests. Such a comparison shows a close convergence of the results. The mathematical dependences given by the authors, as new laboratory data become available, can be improved. The information presented in the article will be

useful to organizations designing stone cladding, construction organizations carrying out work on the installation of stone cladding, specialists conducting research in the field of quality assessment of stone materials.

Keywords: impact resistance, dynamic strength of stone, express method, speed of ultrasonic pulse, polynomial, limestone, marmorized limestone, granite.

The authors express their gratitude to REALPROF LLC (Noginsk city) and personally to the Head of the site of Alkon-Stroy LLC Evgeny Ivanovich Utkin for the high-quality production of plate samples for research.

For citation: Motorny N.I., Levkovsky G.L. Development of an express method for assessing the dynamic strength of a stone depending on the geometric dimensions of the slabs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 7, pp. 21–28. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-21-28>

В современном градостроительстве при отделке зданий и сооружений в больших количествах используется природный камень [1–4 и др.]. В процессе эксплуатации каменной облицовки полов, лестниц, эстакад и других горизонтальных поверхностей изделия из камня могут подвергаться воздействию падающих предметов. В связи с этим в документах, нормирующих физико-механические свойства используемого камня, предусматривается специальный вид испытаний на динамическое воздействие — стойкость к ударным воздействиям [5]. Стойкость к ударным воздействиям, или, по сути, динамическую прочность камня, определяют на плитах размером 200×200 мм и толщиной 30 мм, и значение этого показателя не должно быть менее 20 см [5, пп. 5.1.6, табл. 5].

Довольно часто в последнее время камень на стройки поступает в виде плит-заготовок, или слэбов, имеющих толщину 18–25 мм, и толстомеров толщиной 40–50 мм, что затрудняет изготовление из таких заготовок образцов для лабораторных испытаний или делает это невозможным, поскольку склейка плит для испытаний недопустима. Дополнительное изготовление образцов для лабораторных исследований необходимой толщины сопряжено с целым рядом организационных, технических, методических и временных факторов, преодолеть которые не всегда оказывается возможным.

В ФГУП ВНИПИИстромсырье разработан экспресс-метод определения динамической прочности облицовочных плит из природного камня.

Данный метод предусматривает определение прочности при ударном воздействии плит из природного камня с геометрическими параметрами, отличающимися от стандартных размеров лабораторных образцов. Кроме того, в предлагаемом экспресс-методе предусматривается определение расчетных значений прочностных свойств камня на основе функциональной зависимости динамической прочности от скорости распространения ультразвукового импульса (УЗИ), предела прочности при сжатии горной породы в сухом состоянии, средней плотности.

Решение задач соударения твердых деформируемых тел сопровождается многими трудностями математического порядка при их решении, которые не всегда могут быть преодолены простыми инженерными способами. Исходя из этого в инженерной практике применяют так называемый приближенный метод расчета на удар, базирующийся на следующих основных допущениях [6]:

а) в элементе конструкции, воспринимающей удар, возникают напряжения, не превосходящие

предела пропорциональности; таким образом, закон Гука сохраняет свою силу при ударе;

б) удар является абсолютно неупругим, т. е. тела после удара не отталкиваются друг от друга;

в) тело, наносящее удар, является абсолютно жестким, а значит, не деформируется;

г) местные деформации в зоне удара и рассеяние энергии при ударе не учитываются.

Установлено [7–9], что практически во всех случаях силы динамического воздействия пропорциональны статическим, в связи с чем расчеты на прочность и жесткость при динамических нагрузках выполняются по методам, разработанным для статических, но с введением соответствующих значений динамических коэффициентов. Таким образом, учитывая это, имеем:

$$F_d = F_{st} \cdot K_d; \quad (1)$$

$$\sigma_d = \sigma_{st} \cdot K_d, \quad (2)$$

где F_{st} — сосредоточенная сила, нагрузка, в нашем случае F_d — продольное динамическое усилие (внешняя сила) воздействия падающего шарика на плиту; K_d — динамический коэффициент; σ_{st} — нормальное статическое напряжение; σ_d — нормальное динамическое напряжение.

Исходя из изложенного для решения задач по определению разрушающей нагрузки, возникающей при падении стального шарика на плиту (динамическая нагрузка), в зависимости от размеров плиты может использоваться метод определения предела прочности при растяжении при изгибе образца (статическая нагрузка, $R_{изг}$), который вычисляется по формуле:

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (3)$$

где P — максимальная нагрузка при разрушении образца, Н; l — расстояние между опорами, мм; b — ширина образца, мм; h — высота образца, мм.

В случаях изменения высоты образца изменяется и значения разрушающей нагрузки в соответствии с формулой (3). Для определения истинного значения стойкости к ударным воздействиям исследуемого камня (F_d) необходимо установить поправочный коэффициент на нестандартные размеры исследуемого образца.

В рассматриваемом случае исследуется один и тот же камень, в аналогичных условиях изменяется только высота образца (толщина плиты), поправочный коэффициент K_h может быть рассчитан по формуле:

Таблица 1
Table 1

Поправки к значениям ударной прочности камня в зависимости от толщины образца
Corrections to the values of the impact strength of the stone depending on the thickness of the sample

$h, \text{ мм}$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
K_h	36	25	18,37	14,06	11,11	9	7,44	6,25	5,33	4,59	4	3,52	3,11	2,78	2,49	2,25	2,04	1,86	1,7	1,56	1,44	1,33	1,23	1,15	1,07

Продолжение табл. 1
Continuation of table 1

$h, \text{ мм}$	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	52	53	54	55
K_h	1	0,94	0,88	0,83	0,78	0,73	0,69	0,66	0,62	0,59	0,56	0,54	0,51	0,49	0,46	0,44	0,43	0,41	0,39	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	0,3

Таблица 2
Table 2

Поправки к значениям ударной прочности камня в зависимости от длины образца
Corrections to the values of the impact strength of the stone depending on the length of the sample

$l, \text{ мм}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
K_l	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5

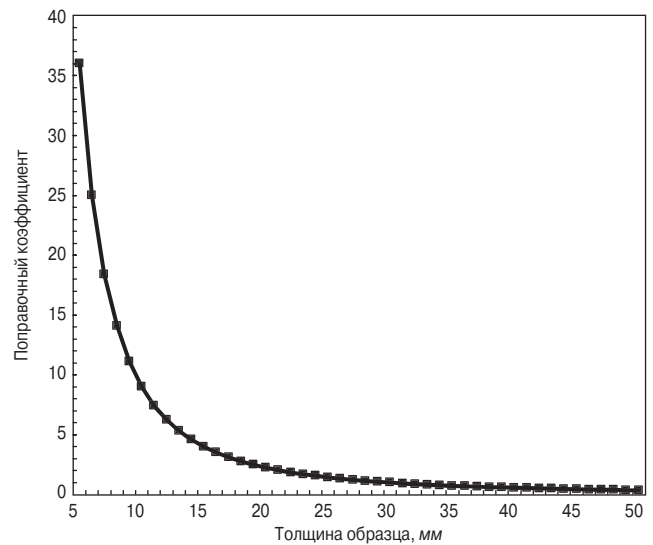


Рис. 1. Зависимость поправочного коэффициента от толщины (высоты) испытываемого образца

Fig. 1. Graph of the dependence of the correction factor on the thickness (height) of the test sample

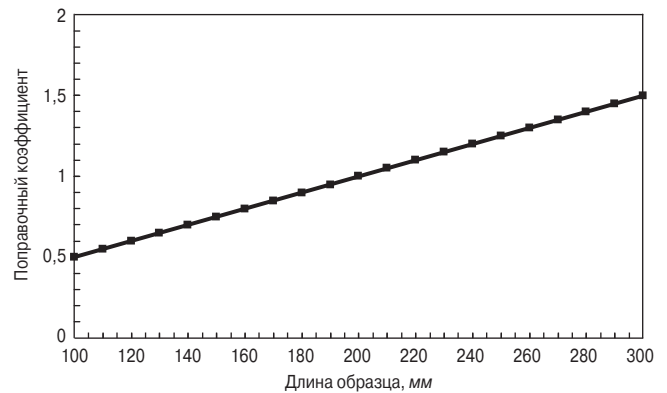


Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента от длины образца

Fig. 2. Graph of the dependence of the correction factor on the length of the sample

$$K_h = \frac{R_{\text{изг}}^1}{R_{\text{изг}}^0} = \frac{3Pl_1}{2b(h_1)^2} : \frac{3Pl_0}{2b(h_0)^2} = \frac{(h_0)^2}{(h_1)^2}, \quad (4)$$

где $R_{\text{изг}}^1$ – предел прочности при изгибе образца с новой высотой (толщиной); $R_{\text{изг}}^0$ – предел прочности при изгибе образца со стандартной высотой (толщиной); h_0 – стандартная высота образца (30 мм, эталон); h_1 – новая высота образца, мм.

На основании формулы (4) построен график зависимости поправочного коэффициента от толщины образца (рис. 1) и составлена таблица для удобства введения поправок (табл. 1).

Аналогичным методом могут быть установлены поправки к ударной прочности камня при отличии длины испытываемого образца от стандартных размеров. В этом случае после преобразований получим:

$$K_l = \frac{R_{\text{изг}}^1}{R_{\text{изг}}^0} = \frac{3Pl_1}{2b_1(h_1)^2} : \frac{3Pl_0}{2b_0(h_0)^2} = \frac{(h_0)^2}{(h_1)^2} = \frac{l_1}{l_0}, \quad (5)$$

где: $R_{\text{изг}}^1$ – предел прочности при изгибе образца с новой длиной; $R_{\text{изг}}^0$ – предел прочности при изгибе

Таблица 3
Table 3Физико-механические свойства месторождений облицовочного камня
Physical and mechanical properties of facing stone deposits

№ п/п	Месторождение	Динамическая прочность камня F_d , см	Скорость распространения по камню ультразвукового импульса $V_{узи}$, м/с	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	Средняя плотность $\rho_{ср}$, кг/м ³
Известняк					
1	Известняк Сары-Таш (Киргизия) 1-й слой	53	3626	51	2178
2	Известняк Вратза (Болгария)	45	5095	112,3	2290
3	Известняк Сары-Таш (Киргизия) 2-й слой	38	4354	49,6	2339
4	Известняк Количи-2 (Дагестан)	55	5798	53,6	2542
Мраморизованный известняк					
1	VeroStone Jura Travertin	25	5140	117	2440
2	VeroStone Jura Gold	26	5619	157	2610
3	«NERO OROBICO» (Италия)	35	6422	157	2740
4	Перевальное (Дагестан)	40	5633	152,3	2840
5	Черногория В	45	5475	111,1	2630
6	«Pietra Limestone» (Италия, слой В)	53	5348	117,7	2530
Гранитоиды					
1	BAINBROOK BROWN	50	5146	200,34	2620
2	гранит Nero Angola (Ангола)	52	4295	203,96	2918
3	Red lushan (GR 063, Китай)	55	4608	176,2	2580
4	Империял Уайт (Индия)	63	3931	192	2610
5	SESAME WHITE (Китай)	64	4078	148,7	2650
6	Сансет Голд (Китай)	71	4060	147,1	2610
7	JIANGUO BLACK QUYANG (GBK 029)	75	5645	185,6	2880
8	«Черный леопард» (Республика Хакасия)	80	6611	154,3	3092

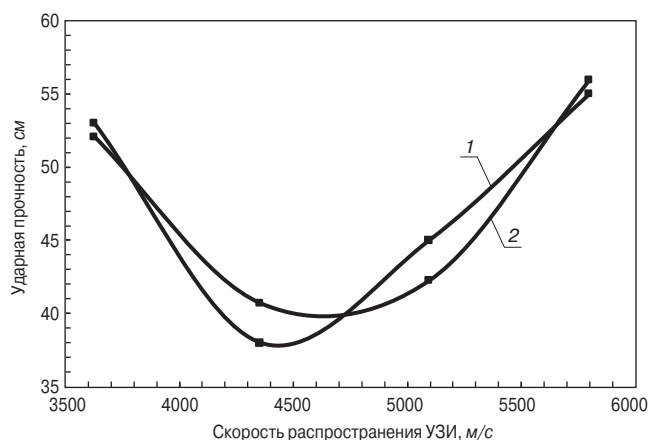


Рис. 3. Зависимость ударной прочности от скорости распространения УЗИ: 1 – лабораторные данные; 2 – расчетные данные.

Fig. 3. Graph of the dependence of impact strength on the velocity of ultrasound propagation: 1 – laboratory data; 2 – calculated data

образца со стандартной длиной; l_0 – стандартная длина образца (расстояние между опорами 200 мм); l_1 – новая длина образца, мм.

На основании формулы (5) построен график зависимости поправочного коэффициента от длины

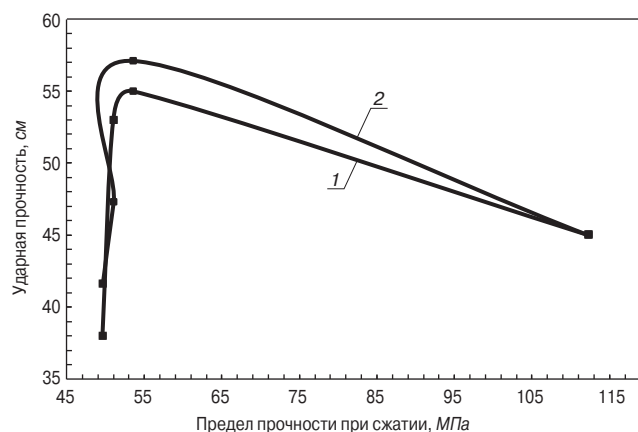


Рис. 4. Зависимость ударной прочности от предела прочности при сжатии: 1 – лабораторные данные; 2 – расчетные данные

Fig. 4. Graph of the dependence of the impact strength on the compressive strength: 1 – laboratory data; 2 – calculated data

образца (рис. 2) и составлена таблица для удобства введения поправок (табл. 2).

При отсутствии данных об ударной прочности камня и отсутствии возможности проведения лабораторных испытаний, но при необходимости сроч-

Таблица 4
Table 4Расчет данных для вычисления полинома
Calculation of data for calculating the polynomial

№ п/п	X_i	Y_i	X^4	X^3	X^2	$X^2 Y$	XY	$Y_{расч}$
1	3626	53	172866643311376	47674198376	13147876	696837428	192178	52
2	4354	38	359379829923856	82540153864	18957316	720378008	165452	41
3	5095	45	673870978950625	132261232375	25959025	1168156125	229275	42
4	5798	55	1130089511174420	194910229592	33616804	1848924220	318890	56
Σ	18873	191	2336206963360270	457385814207	91681021	4434295781	905795	

Таблица 5
Table 5Расчет значений ударной прочности известняков с учетом поправочных коэффициентов
Calculation of limestone impact strength values taking into account correction coefficients

№ п/п	Лабораторные значения F_d , см	Расчетные значения F_d^1 на основе полиномов, см			Средние значения F_d^1 , см	Средние приведенные значения F_d^1 , см	Отклонения расчетных значений от лабораторных, Δ , см	Коэффициент отклонений	Средний коэффициент для (+) и (-)	Расчетные значения F_d^k с учетом коэффициентов, см
		$Y_{узи}$	$Y_{сж}$	$Y_{пл}$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	38	41	42	38	40	40	2	0,959	0,972	39
2	45	42	45	45	44	44	-1	1,017	1,025	45
3	53	52	47	53	51	51	-2	1,033	1,025	53
4	55	56	57	55	56	56	1	0,986	0,972	54

Таблица 6
Table 6Расчет значимости расчетных значений ударной прочности при вычислениях приведенных значений для известняков
Calculation of the significance of the calculated values of impact strength, when calculating the given values for limestones

Параметры	Корреляция	Значимость
Скорость распространения УЗИ V	0,21	0,27
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$	0,19	0,25
Средняя плотность ρ	0,37	0,48
Σ	0,77	1

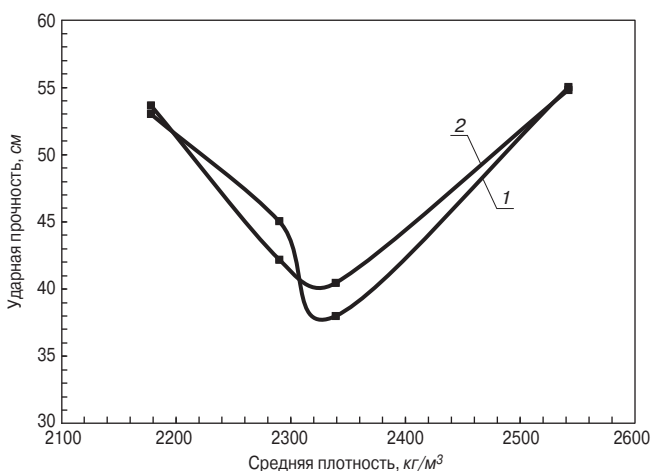


Рис. 5. Зависимость ударной прочности от средней плотности: 1 – лабораторные данные; 2 – расчетные данные

Fig. 5. Graph of the dependence of impact strength on average density: 1 – laboratory data; 2 – calculated data

ного принятия решения по использованию камня, что бывает нередко, в ФГУП ВНИПИИстромсырье разработан аналитический метод определения ударной прочности камня. Метод основан на функциональных зависимостях динамической прочности камня (F_d) от скорости распространения по камню ультразвукового импульса ($V_{узи}$), предела прочности при сжатии ($R_{сж}$) и средней плотности ($\rho_{ср}$).

По данным лабораторных испытаний (табл. 3) авторами построены графики таких зависимостей. На рис. 3–5 приведены графики зависимостей по имеющимся данным для месторождений известняков. Для аппроксимации точечных значений функций использовался метод наименьших квадра-

тов [9–12]. Расчет данных для вычисления полинома функции ударной прочности от скорости УЗИ приводится в табл. 4.

На основании данных табл. 3 получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 4a + 18873b + 91681021c = 191; \\ 18873a + 91681021b + 457385814207c = 905795; \\ 91681021a + 457385814207b + 2336206963360270c = 4434295781. \end{cases} \quad (6)$$

Решение этой системы дает нам необходимые коэффициенты полинома:

$$a = 1,21E-05$$

$$b = -0,112$$

$$c = 299,28$$

Полином, описывающий функцию ударной прочности от скорости УЗИ известняков, в этом случае будет иметь вид:

Таблица 7
Table 7

**Расчет значений ударной прочности мраморизованных известняков и гранитов
с учетом поправочных коэффициентов**
Calculation of impact strength values of marbled limestones and granites taking into account correction factors

№ п/п	Лабораторные значения F_d , см	Расчетные значения F_d^1 на основе полиномов, см			Средние значения F_d^1 , см	Средние приведенные значения F_d^1 , см	Отклонения расчетных значений от лабораторных, Δ , см	Коэффициент отклонений	Средний коэффициент для (+) и (-)	Расчетные значения F_d^k с учетом коэффициентов, см
		$Y_{узи}$	$Y_{сж}$	$Y_{пл}$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мраморизованный известняк										
1	25	34	42	28	35	38	13	0,665	0,665	25
2	26	40	32	38	37	34	8	0,759	0,759	26
3	35	34	32	40	35	34	-1	1,02	1,151	39
4	40	40	35	37	37	36	-4	1,113	1,151	41
5	45	39	40	39	39	40	-5	1,135	1,151	46
6	53	37	42	35	38	40	-13	1,335	1,335	53
Гранит										
1	50	58	54	50	54	54	4	0,925	0,956	52
2	52	60	51	52	54	54	2	0,955	0,956	52
3	55	58	68	55	60	60	5	0,916	0,956	57
4	63	64	61	63	63	63	0	1,005	0,956	60
5	64	62	70	64	65	65	1	0,98	0,956	62
6	71	62	70	71	68	68	-3	1,048	1,061	72
7	75	62	64	75	67	67	-8	1,113	1,061	71
8	80	83	71	80	78	78	-2	1,021	1,061	83

$$Y_{узи} = 0,0000121x^2 - 0,112x + 299,28. \quad (7)$$

Аналогично авторами рассчитаны полиномы и других функций.

Полином, описывающий функцию ударной прочности от предела прочности при сжатии известняков, имеет вид:

$$Y_{сж} = -0,065x^2 + 10,56x - 322,59. \quad (8)$$

Полином, описывающий функцию ударной прочности от средней плотности известняков, имеет вид:

$$Y_{пл} = 0,00042x^2 - 1,97x + 2362,41. \quad (9)$$

Определение средних расчетных значений ударной прочности F_d по составленным полиномам дает значения F_d^1 , несколько отличающиеся от истинных, полученных лабораторным путем (табл. 5, стб. 3–5). Расчет приведенных значений ударной прочности по полученным полиномам (табл. 5, стб. 7) целесообразно вести с учетом значимости каждого отдельного значения. Значимость определяется на основе корреляционных зависимостей ударной прочности с участвующими в расчетах параметрами (табл. 6).

Анализируя средние приведенные значения, можно вычислить отклонение этих значений от лабораторных (табл. 5, стб. 8). На основе таких отклонений рассчитывается поправочный коэффициент к значениям ударной прочности (табл. 5, стб. 9). Для упрощения расчетов целесообразно вычислить

средний поправочный коэффициент для положительных и отрицательных отклонений (табл. 5, стб. 10). Вводя в расчеты поправочные коэффициенты получаем расчетные значения ударной прочности с учетом поправочных коэффициентов на отклонения (табл. 5, стб. 11). Средний поправочный коэффициент рассчитывается отдельно для плюсовых (+) и минусовых (–) отклонений, а также отклонений до десяти и свыше десяти значений. Полученные в итоге значения ударной прочности F_d^k для известняков довольно близки к лабораторным значениям (рис. 3–5), что позволяет использовать такие расчетные значения при решении инженерных и маркетинговых задач устройства каменной облицовки.

Аналогичные исследования проведены и для месторождений облицовочного камня других типов. По данным лабораторных испытаний авторами построены графики зависимостей динамической прочности камня (F_d) от скорости распространения по камню ультразвукового импульса ($Y_{узи}$), предела прочности при сжатии ($R_{сж}$) и средней плотности (ρ), а также и для месторождений мраморизованных известняков и изверженных горных пород (граниты). Для аппроксимации точечных значений функций также использовался метод наименьших квадратов.

Полином, описывающий функцию зависимости ударной прочности от скорости УЗИ мраморизованных известняков $Y_{узи}^{ми}$, имеет вид:

Таблица 8
Table 8

Данные определения ударной прочности базальта в лабораторных условиях по плитам разных геометрических размеров
Data for determining the impact strength of basalt in laboratory conditions on slabs of different geometric sizes

Толщина плиты, мм	№ плиты	Размер плиты, мм		Ударная прочность, см		
		Длина	Ширина	По формуле (13) с учетом K_f	По формуле (4) с учетом K_f	По формуле (5) с учетом K_f
12	2	Стандарт		10,9	12	
	4	Стандарт		11	12	
	5	Стандарт		10,9	13	
20	1	Стандарт		29	30	
	2	Стандарт		31	32	
30	1	Стандарт		73	65	
		Нестандарт				58
	2	Стандарт		70	70	
		Нестандарт				69
41	2	Стандарт		137		
		Нестандарт				116
	3	Стандарт		131	120	
		Нестандарт				119
	4	Стандарт		127	135	
		Нестандарт				
	5	Стандарт		132	100	
		Нестандарт				116

$$Y_{\text{узи}}^{\text{ми}} = -0,0000161x^2 + 0,187x - 499,32. \quad (10)$$

Полином, описывающий функцию зависимости ударной прочности от средней плотности мраморизованных известняков $Y_{\rho}^{\text{ми}}$, имеет вид:

$$Y_{\rho}^{\text{ми}} = -0,0001412x^2 + 0,759x - 979,55. \quad (11)$$

Полином, описывающий функцию зависимости ударной прочности от предела прочности при сжатии мраморизованных известняков $Y_{\text{сж}}^{\text{ми}}$, имеет вид:

$$Y_{\text{сж}}^{\text{ми}} = -0,00979x^2 + 2,450x - 110,82. \quad (12)$$

Полином, описывающий функцию зависимости ударной прочности от скорости УЗИ гранита $Y_{\text{узи}}^{\text{гр}}$, имеет вид:

$$Y_{\text{узи}}^{\text{гр}} = 0,00000842x^2 - 0,082x + 255,33. \quad (13)$$

Полином, описывающий функцию зависимости ударной прочности от средней плотности гранита $Y_{\rho}^{\text{гр}}$, имеет вид:

$$Y_{\rho}^{\text{гр}} = -0,0001068x^2 - 0,573x + 828,51. \quad (14)$$

Полином, описывающий функцию зависимости ударной прочности от предела прочности при сжатии гранита $Y_{\text{сж}}^{\text{гр}}$, имеет вид:

$$Y_{\text{сж}}^{\text{гр}} = -0,00979x^2 + 3,108x - 175,51. \quad (15)$$

По приведенным полиномам определены расчетные значения ударной прочности (F_d^k) мраморизованных известняков и гранитов. Значения ударной прочности для таких камней вычислялись по приведенным значениям с учетом поправочных коэффициентов. Результаты расчетов приводятся в табл. 7.

Для проверки формул (4) и (5) были проведены натурные лабораторные исследования по определению ударной прочности камня. Из базальта Ивано-Долинского месторождения были изготовлены плиты размером 200×200 мм, толщиной 10, 20, 30 и 40 мм, по пять плит в каждом комплекте. На плитах были проведены определения ударной прочности в соответствии с ГОСТ 30629–2011 «Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний». Из остатков плит после таких испытаний были изготовлены плиты меньших размеров, которые также были подвергнуты испытаниям. По каждой из плит были проведены определения скорости распространения ультразвукового импульса, что позволило определить по таким плитам и теоретические значения показателя ударной прочности по формуле (13). Полученные данные сведены в табл. 8.

Приводимый авторами аналитический способ оценки ударной (динамической) прочности природного облицовочного камня не следует считать окончательным. Авторы в данной статье обозначили путь решения конкретной задачи и других проблем сходного характера. Приводимые авторами математические зависимости по мере поступления новых лабораторных данных могут быть усовершенствованы. При достаточном количестве поступления новых данных гранитоиды, например, могут быть дифференцированы на гранодиориты, граносиениты, гнейсограниты и т. д. Мраморизованные известняки соответственно — на органогенно-обломочные, обломочные, низкой степени мраморизации, высокой степени мраморизации и т. п. Такое деление несомненно позволит значительно снизить разброс исследуемых горных пород по минеральному составу, структуре, текстуре и соответственно по пористости, плотности, прочностным свойствам, скорости распространения УЗИ. Это позволит повысить точность определяемых параметров.

Полученные в итоге значения ударной прочности F_d^k аналитическим способом для известняков, мраморизованных известняков и гранита близки к лабораторным значениям, что позволяет использовать такие расчетные значения при решении инженерных и маркетинговых задач устройства каменной облицовки и в значительной мере ускорить строительные работы при отсутствии лабораторных данных.

Список литературы

1. Давиденко А.Ю., Литова К.В. Облицовочные работы из каменных материалов и их актуальность в современном строительстве. *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство*. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2016. С. 302–304.
2. Алигаджиев Ш.Л. Натуральный камень в отделке фасада здания. *Инструменты современной научной деятельности: Сборник статей Международной научно-практической конференции* / Отв. ред.: А.А. Сукиасян. 2015. С. 124–126.
3. Гришина Н.А. Определение причин возникновения дефектов при облицовке фасадов натуральным камнем. *Дни студенческой науки: Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов Института экономики, управления и информационных систем в строительстве и недвижимости*. 2019. С. 714–717.
4. Костенок М.А., Коновалова О.Н. Фасадный камень как актуальный материал для облицовки фасада. *В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки. Материалы Всероссийской конференции с международным участием* / Под общ. ред. Т.В. Шепитько. 2020. С. 89–91.
5. ГОСТ 9479–2011. Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий. Технические условия. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ».
6. Сопротивление материалов: Электронный учебный курс для студентов очной и заочной формы обучения / Сост.: канд. техн. наук, доцент кафедры механики и конструирования машин И. Каримов. 2021.
7. Котляров А.А. Теоретическая механика и сопротивление материалов: компьютерный практикум. Ростов н/Д: Феникс, 2017. 384 с.
8. Сидорин С.Г., Хайруллин Ф.С. Сопротивление материалов. Теория, тестовые задания, примеры решения / Учебное пособие. М.: Риор, 2017. 352 с.
9. Сотников В.В., Комаров П.И., Уланов В.Н. Графоаналитическое представление экспериментальной информации: Методические указания. Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1987.
10. Крылов В.И., Бобков В.В., Монастырный П.И. Вычислительные методы: В 2 т. М.: Наука, 1976–1977.
11. Бахвалов Н.С. Численные методы. М.: Наука, 1975.
12. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высшая школа, 1988.

References

1. Davidenko A.Yu., Litova K.V. Facing works from stone materials and their relevance in modern construction. *Traditions and innovations in construction and architecture. Construction*. Samara State University of Architecture and Civil Engineering. Samara, 2016, pp. 302–304. (In Russian).
2. Aligadzhiev Sh.L. Natural stone in the decoration of the facade of the building. *Tools of modern scientific activity. Collection of articles of the International scientific-practical conference*. Managing editor Sukiasyan A.A. 2015, pp. 124–126. (In Russian).
3. Grishina N.A. Determination of the causes of defects in the cladding of facades with natural stone. *Days of Student Science. Collection of reports of the scientific and technical conference on the results of research work of students of the Institute of Economics, Management and Information Systems in Construction and Real Estate*. Moscow. 2019, pp. 714–717. (In Russian).
4. Kostenok M.A., Konovalova O.N. Facade stone as an actual material for facade cladding. *In the collection: Current state, problems and prospects for the development of branch science. Materials of the All-Russian conference with international participation*. Under the general editorship of T.V. Shepitko. 2020, pp. 89–91. (In Russian).
5. GOST 9479–2011. Rock blocks for the production of facing, architectural, construction, memorial and other products. Specifications. FSUE STANDARTINFORM. (In Russian).
6. Strength of materials. Electronic training course for full-time and part-time students. Compiled by: Ph.D., Associate Professor of the Department of Mechanics and Design of Machines Karimov Ildar. 2021. (In Russian).
7. Kotlyarov A.A. Teoreticheskaya mekhanika i soprotivleniye materialov: komp'yuternyy praktikum [Theoretical mechanics and strength of materials: computer workshop]. Rostov-on-Don: Phoenix, 2017. 384 p.
8. Sidorin S.G., Khairullin F.S. Soprotivleniye materialov. Teoriya, testovyye zadaniya, primery resheniya. Uchebnoye posobiye [Strength of materials. Theory, test tasks, examples of solutions. Tutorial]. Moscow: Rior. 2017. 352 p.
9. Sotnikov V.V., Komarov P.I., Ulanov V.N. Grafoanaliticheskoye predstavleniye eksperimental'noy informatsii: Metodicheskiye ukazaniya [Graph-analytical representation of experimental information: Guidelines]. Leningrad: LTI im. Lensoвета, 1987.
10. Krylov V.I., Bobkov V.V., Monastyrny P.I. Vychislitel'nyye metody [Computational methods]. Moscow: Nauka. 1976–1977. In 2 vol.
11. Bakhvalov N.S. Chislennyye metody [Numerical methods]. Moscow: Nauka, 1975.
12. Lvovsky E.N. Statisticheskiye metody postroyeniya empiricheskikh formul [Statistical methods for constructing empirical formulas]. Moscow: Vysshaya shkola. 1988.

Стройка — опора жизни

Уважаемые работники и ветераны строительного комплекса, коллективы предприятий-партнеров, поздравляю вас с профессиональным праздником!

Мы трудимся в отрасли, имеющей огромное значение для каждого жителя России. Уверен, что совместная работа, ответственное отношение к общему делу приведут к успеху. Труд строителей дарит людям радость новоселий, делает жизнь благоустроенной, комфортной, счастливой.

Строительство — это коллективный труд: один на строительном поле не воин. Только там, где приложены труд, мастерство, талант многих сотен людей, вырастают новые объекты.

Испокон веку строительные профессии почетны и востребованы. Ведь многое в нашей жизни начинается со строительного фундамента, а с надежным фундаментом и жизнь будет основательной.

Сегодня стройиндустрия вносит значительный вклад в экономику регионов, создавая реальные возможности для воплощения прорывных проектов, для социального оптимизма. Действуют предприятия промышленности стройматериалов, продукция которых востребована не только в России, но и за рубежом. Крепкие деловые отношения предприятий-партнеров позволяют развивать программы импортозамещения, выпуская из местного сырья высококачественную, конкурентоспособную продукцию.

100 лет в этом году исполняется горно-обогатительному комбинату «Ураласбест». Предприятие было и остается одним из крупнейших производителей хризотила в мире и нерудных строительных материалов в Российской Федерации. В настоящее время мы изыскиваем дополнительные резервы, выстраиваем новые логистические маршруты, чтобы наша продукция была представлена потребителям в срок. Не будет преувеличением сказать, что сделанное коллективом комбината за трудовую историю служит народам и эпохам.

Высокий профессионализм, надежность, постоянное стремление к совершенствованию давно стали фирменной маркой «Ураласбеста». Несмотря на кризисные явления, жесткие санкции антиасбестовой войны, которая не стихает многие десятилетия, комбинат продолжает развитие и движение вперед.

Сегодня перед строителями стоят важные задачи — поиск новых инженерных решений, внедрение прогрессивных технологий, модернизация строительного комплекса, обновление и повышение квалификации кадров. Но наш общий труд был и остается востребованным, заметным, благородным. И общими усилиями мы непременно добьемся успеха в улучшении качества жизни земляков.

С Днем строителя, коллеги! Желаю всем крепкого здоровья, достижения профессиональных высот, стабильности. Пусть результаты вашего труда станут предметом гордости для жителей России. Семейного счастья и благополучия!



Юрий Алексеевич КОЗЛОВ,
генеральный директор ПАО «Ураласбест»,
заслуженный строитель России

Новый век Асбестовского ГОКа New Century of Asbestovsky GOK

Монопроизводства в России могут существовать только при условии полной уникальности технологии или производимого продукта. Уральский асбестовый горно-обогатительный комбинат много лет являлся монопроизводителем хризотилового асбеста. Строительный бум XX в. и новейшие технологии позволили предприятию к своему 100-летию масштабно диверсифицировать бизнес и укрепить позиции сразу на четырех строительных направлениях России. Уникальность такого развития в том, что сырьевая база предприятия на все четыре стройнаправления за век не изменилась.

Mono-productions in Russia can exist only if the technology or the manufactured product is completely unique. The Ural Asbestos Mining and Processing Plant has been a mono-producer of chrysotile asbestos for many years. The construction boom of the XX century and the latest technologies made it possible to diversify its business on a large scale by its 100th anniversary and strengthen its position in four construction areas of Russia at once. The uniqueness of this development is that the raw material base of the enterprise for all four construction areas has not changed over the century.

Природа щедро наделила Уральский край. Завидное богатство в ее кладовой — крупнейшее в мире Баженовское месторождение хризотил-асбеста в городе Асбесте Свердловской области. В 2022 г. исполняется 100 лет с начала работы крупнейшего в стране асбестового горно-обогатительного комбината — «Ураласбест».

Баженовское месторождение было открыто в 1885 г. землемером-топографом А.П. Ладыженским при выполнении отвода площадей для разработки рассыпного золота. 20 июня 1889 г. Горный департамент Екатеринбурга дал разрешение на начало горных работ. В том же году добыты первые 900 пудов сортового асбеста.





Систематическое изучение месторождения началось в 1922 г. с организацией треста «Ураласбокомбинат». Была составлена первая детальная геологическая карта района с описанием геологического строения и петрографического состава горных пород. В дальнейшем еще несколько раз проводился перерасчет запасов, которых, по заключениям ученых и специалистов, хватит более чем на сто лет.

Уникальность Баженовского месторождения не только в его колоссальных запасах, но и в широком наборе волокон «горного льна» по длине, без вредных для здоровья волокон крокодолита и тремолита. Уникальное сочетание физико-механических свойств и природной чистоты минерала обеспечивают качественные характеристики продукции с его применением. Огнестойкость, механическая прочность, высокий коэффициент трения, упругость, устойчивость к загниванию и другие полезные свойства уральского хризотила используются при изготовлении более трехсот наименований изделий в различных отраслях промышленности. Профилирующими являются проверенные временем и жизнью хризотилсодержащие строительные материалы и новая продукция, защищающая объекты от огня.

Карьер, который видно из космоса

Рудные залежи Баженовского месторождения проходят близко к поверхности, поэтому разработка ведется открытым способом. Масштабы карьера поражают: его ширина 2,5 км, длина более 11 км, глубина 350 м. Карьер «Ураласбеста» признан самым большим в России, его видно из космоса (<https://zen.yandex.ru/media/rosmining/krupneishie-karery-rossii-iz-kosmosa-5d9269d123bf4800ae3aae01>).

ПАО «Ураласбест» — одно из самых мощных высоко-механизированных горно-обогатительных предприятий Уральского региона. В структуру ПАО «Ураласбест» входят 11 дирекций и 20 дочерних предприятий, которые предлагают различные услуги и дополнительные виды продукции. Численность персонала, работающего в корпоративной структуре «Ураласбест», — около 8 тыс. человек.

Ежегодно из недр Баженовского месторождения добывается порядка 30 млн т горной массы, из которой вырабатывается 300 тыс. т хризотила и более 5 млн т щебня и щебеночно-песчаных смесей. На горных работах задействованы 17 экскаваторов ЭКГ, 25 большегрузных самосвалов, 45 электровозов, буровые станки и другая вспомогательная техника.

Эффективное использование транспортной техники позволяет решать своими силами все технические проблемы по добыче и доставке руды, а также текущему ремонту тяжелого горного оборудования.

Управление производством ПАО «Ураласбест» осуществляет добычу, транспортировку и переработку хризотил-асбеста. Специалисты Рудоуправления добывают руду и скальную породу и проводят горно-подготовительные работы. Транспортировка руды на расположенные в карьере промежуточные склады для погрузки на железнодорожный транспорт осуществляется большегрузными самосвалами автотранспортного предприятия комбината.

Кстати, давним партнером комбината в части поставки техники является компания БЕЛАЗ. Так, в начале нынешнего года в рамках пятого заседания Совета делового сотрудничества между Республикой Беларусь и Свердловской областью был подписан контракт на поставку нескольких машин: один 130-тонный БелАЗ уже пришел на предприятие и получил имя Алексея Павловича Ладыженского.

«Это проверенные годами машины, прекрасно зарекомендовавшие себя на перевозке горной массы в непростых условиях нашей выработки. Пополнение парка техники позволит ускорить решение задач, закрепленных в Миссии», — комментируют на предприятии.

В конце прошлого года белорусский производитель уже отгрузил на комбинат 130-тонный самосвал. Он получил имя легендарного первого генерального директора «Ураласбеста» Александра Королёва. А в начале 2022 г. в карьере Баженовского месторождения заработал фронтальный погрузчик Caterpillar-988K.

Несколько лет в карьере работает дробильно-сортировочная установка. Производственная мощность уникального объекта составляет 500 т скальной породы в час, или 3 млн т породы в год! Главный плюс «дробилки» в карьере — экономия значительных средств при производстве продукции.

Все взрывные работы в карьере ПАО «Ураласбест» выполняет его подразделение — предприятие «Промтехвзрыв», включающее завод по производству эмульсионного взрывчатого вещества. «Промтехвзрыв» имеет лицензии на проведение взрывных работ, зарядное оборудование, специализированный автотранспорт, полигон для испытания взрывчатых материалов.

Добытая руда поступает на крупнейшую в мире асбесто-обогатительную фабрику, которой в 2019 г. исполнилось 50 лет. Это уникальное производство. В фабричных цехах работает более 6 тыс. единиц различного оборудования. Режимы обработки асбестовой руды выбраны из условий максимально возможного сохранения природной длины и прочности волокон хризотила. При этом на объекте огромное внимание уделяется вопросам охраны труда: высоко-



эффективные рукавные фильтры вместе с системой аспирации воздуха на 99,9% очищают воздух от примесей в цехах фабрики.

В условиях напряженности и санкций

С конца XIX в. большая часть уральского хризотила продавалась за границу. Сегодня комбинат производит 21% хризотил-асбеста в мире, 40% – в Российской Федерации. 80% хризотила поставляется на экспорт в более чем 20 стран мира, где проживает почти половина населения Земли.

Несмотря на осложнение обстановки с отгрузками продукции за рубеж в феврале–марте 2022 г., комбинат оперативно выстроил логистические цепочки и наладил ритмичную отправку хризотилового асбеста своим потребителям.

К слову, наиболее широкое применение хризотил-асбест находит в строительной отрасли в составе кровельного материала – волнистого шифера, плоского листа, труб для инженерных сетей, обеспечивая тем самым надежную крышу над головой для многих миллионов людей, живущих в небогатых и развивающихся странах.

Лживой заботой о здоровье народа прикрывают свою агрессивную антиасбестовую кампанию лоббисты из Евросоюза и США, требующие тотального запрета минерала. Более сорока лет идет война против асбеста: экологические экстремисты, преследуя коррупционные интересы, продвигают на рынок заменители, более дорогие по цене, менее изученные по влиянию на здоровье человека и подтвержденно менее эффективные в эксплуатации.

Тревожная ситуация в стране и мире заставляет мобилизовать силы для принятия неординарных решений. Международное движение «За хризотил!», где лидируют асбестовцы, вместе с учеными, медиками, специалистами на всех уровнях доказывает и отстаивает позицию контролируемого безопасного использования хризотил-асбеста.

Так и в нынешнем году трудящиеся градообразующего предприятия Асбеста следили за развитием ситуации в Женеве, где на заседании Сторон Роттердамской конвенции в очередной раз должен был рассматриваться вопрос включения хризотила в запретительный список. Противодействие было очень серьезным – вся Европа, США, Австралия... Между тем защитники минерала со знанием дела подключили все средства: одних только информационных материалов было подготовлено и доставлено в Женеву сотни: фотографии работников отрасли, хризотил-содержащей продукции, спецвыпуск Международного альянса профсоюзов «Народ за хризотил» на русском и английском языках.

Доходчиво, настойчиво и аргументированно в ходе пленарного заседания асбестовские представители доводили до делегатов разных стран позицию по безопасности использования природного минерала под контролем, объясняя сущность антиасбестовой войны нечистоплотной конкуренцией производителей заменителей, неизвестно как воздействующих на человека и окружающую среду.

Значительный вклад в отстаивание интересов отрасли, сохранение рабочих мест и непосредственно защиту «горного льна» внесли представители Международной хризотиловой ассоциации. В рамках официальной программы конференции Сторон МХА провела параллельное мероприятие под названием «Вклад хризотилового асбеста». На нем выступили представители Сальвадора, Индии, Вьетнама, России, Пакистана. Представители отрасли со всех континентов поделились опытом безопасного использования хризотила и его защиты, а также его важности для людей в развивающихся странах.

На защиту хризотила очно встали и работники комбината «Ураласбест». Так, накануне выступления лоббистов антиасбестовой кампании свою четкую позицию выразили работники Асбестообогатительной фабрики комбината. Рабочие выступили инициаторами создания выдающегося по масштабам воззвания ко всем противникам хризотилового асбеста. Слова NO и BAN выложили из сотни паллет с «горным льном», а в слово CHRYSOTYLE выстроились более 90 специалистов асбогиганта.

16 июня 2022 г. рассмотрение данного вопроса вновь отложили на год в связи с отсутствием консенсуса. Примечательно, что в этот же день представители Казахстана выступили с предложением о снятии данного вопроса с повестки дня будущих заседаний. Инициативу поддержали делегации Российской Федерации, Сирии, Зимбабве, однако жесткое сопротивление прозвучало со стороны Евросоюза, Австралии, Канады и ряда других стран.



Диверсификация. Это естественно...

Еще недавно доля хризотила в товарной продукции «Ураласбеста» составляла 80%. Но сегодняшний комбинат уже не монопредприятие. Ведется эффективное выполнение программы диверсификации производства.

Особенностью добычи хризотила является высвобождение при обогащении миллионов тонн горной массы, которую комбинат перерабатывает в разные, в том числе самые новые и востребованные дорожниками, фракции щебня, песка и песчано-щебеночных смесей. Нерудные строительные материалы сегодня высоко востребованы.

Только за апрель 2022 г. «Ураласбест» отправил в разные регионы страны более 7 тыс. вагонов нерудных строительных материалов. В общей сложности объем отгруженного железнодорожным транспортом щебня, песка и щебеночно-песчаной смеси за один месяц составил 470 тыс. т. Поезд длиной в 101 км можно было бы составить из этих вагонов.

Такие масштабные показатели связаны с началом строительного сезона, а также продолжающейся реализацией глобальных федеральныхстроек, в которых участвует комбинат. В частности, почти 2 тыс. вагонов в апреле направлено на строительство федеральной трассы М-12 Москва–Казань.

В рамках принятой предприятием Миссии в среднесрочной перспективе объем выпускаемой «Ураласбестом» продукции для дорожного строительства должен возрасти с 5 до 10 млн т в год. Комбинат «Ураласбест» стабильно входит в тройку крупнейших производителей нерудных стройматериалов в России.

Добываемые из недр Баженовского месторождения волокна хризотила используются дочерней компанией комбината ПК «Стилобит» для изготовления одноименной стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичных асфальтобетонов. Сегодня производственные площадки предприятия расположены в Асбесте и Белгороде.

Гранулы добавки состоят из уникального комбинированного хризотилового и базальтового волокна: химическая устойчивость волокна повышает прочность асфальтобетона, базальтовое волокно обладает эффектом микроармирования и препятствует образованию колеи. Стабилизатор выдерживает сильный перегрев, не взаимодействует с водой, что существенно увеличивает полезный срок его использования.

Качество продукции на протяжении многих лет было неоднократно подтверждено ведущими дорожно-строительными организациями и научно-исследовательскими институтами, среди которых РосдорНИИ, СоюздорНИИ, УралдорНИИ (Россия), КаздорНИИ (Казахстан), БелдорНИИ (Беларусь). Ежегодно дочерняя компания комбината ПК «Стилобит» выпускает 20 тыс. т стабилизирующей добавки.

Свою жизнеспособность, высокие конкурентные качества, негорючесть вот уже 12 лет подтверждает фирменная продукция комбината – тепло- и звукоизоляционные материалы под торговой маркой «Эковер». Кстати, не многие до сих пор знают, что завод по изготовлению экологичного зеленого утеплителя расположен в небольшом уральском городе.

Сам завод был запущен комбинатом в рамках диверсификации производства в 2010 г. Сегодня здесь работают две производственные линии, выпускающие в год более

80 тыс. т продукции – всего более 50 видов высококачественных продуктов.

Завод использует габбро – вскрышные породы, что позволяет еще более эффективно осваивать кладовую Баженовского месторождения. Союз предприятий строительной индустрии Свердловской области выдал заводу Сертификат о соответствии продукции «Эковер» категории экологически чистых зеленых строительных материалов, который указывает на их исключительную безопасность для человека и окружающей среды.

Эффективно работают четыре хризотилцементных завода, влившиеся в структуру комбината к 2022 г. По названию понятно, что для производства продукции данные предприятия используют хризотил, добываемый в недрах Баженовского месторождения. А производят они всем известный шифер – плоский и волнистый, цветной и серый; сайдинг и черепицу; трубы, ограждения для грядок и еще много-много всего.

Производственные площадки, расположенные в Белгороде, Брянске, Стерлитамаке, Крымске, сегодня работают под единым брендом «BF Tech». Этот большой холдинг, который сосредоточил функции управления заводами, занимается также организацией продаж шифера, его продвижения.

Ежегодно эти предприятия выпускают 25 млн м² плоского и волнистого хризотилцементного листа.

В рамках программы диверсификации уже несколько лет работает горно-химическая компания «Ультра Си», выпускающая продукт высокой степени чистоты – оксид магния, используемый в изготовлении покрытий для трансформаторной стали. Его производят во Франции и Израиле. Новейшие разработки предприятия: английская соль для ванн и спортивная магнезия – продаются в крупнейших интернет-магазинах страны. В планах проектирование нового завода для расширения номенклатуры и наращивания производственных мощностей.

По труду и честь

За годы существования комбинат «Ураласбест» прошел серьезную трудовую закалку. Высокий профессионализм, преданность делу, сохранение лучших традиций предшественников – это основа твердого, закаленного характера современного коллектива. За безупречный труд свыше 2,5 тыс. передовиков производства отмечены орденами и медалями. 22 ведущих специалиста являются лауреатами региональной премии имени изобретателей Черепановых – фамилии талантливых новаторов вписаны в энциклопедию «Инженеры Урала».

В год своего 100-летия комбинат «Ураласбест» официально презентовал в Екатеринбурге на крупнейшей международной промышленной выставке ИННОПРОМ свою программу промышленного туризма. И не просто презентовал, а сразу получил Сертификат участника первого акселератора промтуризма, созданного Агентством стратегических инициатив. Это не только укрепляет имидж градообразующего предприятия Асбеста, но и гарантирует его дальнейшее развитие в новом столетии.

Л. Сиялова,
член Союза журналистов России

УДК 666.9

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-33-39>

О.М. ШАРОНОВА¹, канд. хим. наук, (shar@icct.ru),
 В.В. ЮМАСHEV¹, ведущий инженер (yumashev_vlad@mail.ru);
 А.Г. АНШИЦ^{1,2}, д-р хим. наук, профессор (anshits@icct.ru)

¹ Институт химии и химической технологии СО РАН, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/24)

² Сибирский федеральный университет (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79)

Пористость и прочность композитного цемента на основе тонкодисперсной высококальцевой летучей золы

Изучены вяжущие свойства высокопрочных и ультравысокопрочных композитных золо-цементных материалов с замещением портландцемента (ПЦ) на 80–90% тонкодисперсной высококальцевой летучей золой (ВКЛЗ), отобранной с 4-го поля электрофильтров установки золоулавливания. Для эффективного диспергирования использовалась добавка поликарбоксилатного суперпластификатора Melflux 5581F. Выполнены определения общей пористости, распределения по размерам пор и прочности композитных материалов в процессе долговременного твердения. Установлено, что для высокопрочных композитных материалов с содержанием ВКЛЗ 90%, ПЦ 10% и 0,12% суперпластификатора Melflux 5581F прочность при сжатии возрастает от 35 до 78 МПа в процессе твердения от 4 до 67 сут, что сопровождается увеличением объема мезопор в интервале 20–500 Å и смещением максимума распределения размера пор от 41 до 29 Å. Для ультравысокопрочных композитных материалов состава 80% ВКЛЗ, 20% ПЦ, 0,3% Melflux 5581F и 5% микрокремнезема величина прочности возрастает от 108 до 137 МПа при твердении от 28 до 50 сут. Они отличаются меньшей величиной общей пористости за счет снижения вклада макропор с размером более 500 Å. В распределении по размерам пор кроме максимума при 45–48 Å при длительном твердении развивается дополнительный максимум при 32 Å.

Ключевые слова: композитный цемент, высококальцевая летучая зола, суперпластификатор, пористость, прочность.

Авторы выражают благодарность сотруднику ИХХТ СО РАН Е.В. Мазуровой за получение SEM-снимков. Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (проект 0287-2021-0013) с использованием оборудования Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

Для цитирования: Шаронова О.М., Юмашев В.В., Аншиц А.Г. Пористость и прочность композитного цемента на основе тонкодисперсной высококальцевой летучей золы // *Строительные материалы*. 2022. № 7. С. 33–39.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-33-39>

O.M. SHARONOVA¹, Candidate of Sciences (Chemistry) (shar@icct.ru), V.V. YUMASHEV¹, Leading engineer (yumashev_vlad@mail.ru);

A.G. ANSHITS^{1,2}, Doctor of Sciences (Chemistry), Professor (anshits@icct.ru)

¹ Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" (50/24, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation)

² Siberian Federal University (79, Svobodny Avenue, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation)

Porosity and Strength of Composite Cement Based on Fine High-Calcium Fly Ash

The binding properties of high-strength and ultra-high-strength composite ash-cement materials were studied with the replacement of Portland cement (PC) by 80–90% with fine high-calcium fly ash (HCFA), selected from the 4th field of the electrostatic precipitators of the ash collection unit. For effective dispersion, the addition of polycarboxylate superplasticizer Melflux 5581F was used. The total porosity, pore size distribution and strength of composite materials were determined in the process of long-term hardening. It has been established that for high-strength composite materials containing 90% HCFA, 10% PC and 0.12% Melflux 5581F superplasticizer, the compressive strength increases from 35 to 78 MPa during hardening from 4 to 67 days, which is accompanied by an increase in mesopore volume in the range of 20–500 Å and a shift of the maximum of the pore size distribution from 41 to 29 Å. For ultrahigh-strength composite materials of the composition 80% HCFA, 20% PC, 0.3% Melflux 5581F, and 5% microsilica, the strength increases from 108 to 137 MPa upon hardening from 28 to 50 days. They are characterized by a lower total porosity due to a decrease in the contribution of macropores larger than 500 Å. In the pore size distribution, in addition to the maximum at 45–48 Å, an additional maximum at 32 Å develops during long-term hardening.

Keywords: composite cement, high calcium fly ash, superplasticizer, porosity, strength.

The authors are grateful to E.V. Mazurova for obtaining SEM images. The work was carried out within the framework of the state task of the Institute of Chemistry and Chemical Technology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (project 0287-2021-0013) using the equipment of the Krasnoyarsk Regional Center for Collective Use of the Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences".

For citation: Sharonova O.M., Yumashev V.V., Anshits A.G. Porosity and strength of composite cement based on fine high-calcium fly ash. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 7, pp. 33–39. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-33-39>

В теплоэнергетике РФ ежегодно образуется около 22 млн т золошлаковых отходов [1], из которых утилизируется не более 4 млн т (18%), что значительно ниже уровня утилизации в развитых странах мира (50–90%) [2]. В то же время в силу экологических и

экономических преимуществ летучие золы теплоэнергетики становятся наиболее широко используемыми добавками и заместителями портландцемента (ПЦ) в строительной индустрии [3–6], включая традиционные, легкие, геополимерные, самоуплотняю-

шие бетоны, в которых 15–45% цемента может быть замещено на высококальциевую летучую золу (ВКЛЗ). Дополнительным преимуществом применения летучих зол (ЛЗ) является улучшение технических свойств цементов и бетонов, таких как удобоукладываемость [7], прочность при сжатии и изгибе в поздние сроки [8, 9], долговечность [10].

В процессе твердения вяжущих веществ протекают физико-химические превращения с образованием гидратных продуктов, создающих прочностной каркас и влияющих на структуру порового пространства. По мере набора прочности снижается общая пористость ($R_{\text{общ}}$) и радикальным образом меняется распределение по размерам пор [11, 12]. Например, для ПЦ паст при водоцементном отношении 0,44 и времени твердения от 3 до 28 сут величина $R_{\text{общ}}$ уменьшается от 38 до 22% за счет снижения вклада пор размером более 500 Å от 47 до 5%, а возрастает вклад пор размером 33–100 Å — от 20 до 65%, что сопровождается увеличением прочности при сжатии с 36 до 55 МПа [12].

При добавлении низкокальциевых алюмосиликатных ЛЗ (класс F) от 10 до 40% общая пористость зольно-цементных композитов возрастает относительно цементных образцов и отличается повышенным вкладом пор размером выше 500 Å, что оказывает влияние на снижение прочности при сроках твердения до 28 сут [12]. В ходе дальнейшего твердения (90–180 сут) композиты с ЛЗ 10–30%, при более высокой общей пористости, имеют повышенный вклад пор размером 33–100 Å и более высокую прочность по сравнению с ПЦ. Повышение прочности на поздних сроках связано с образованием дополнительного количества гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция за счет взаимодействия $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и алюмосиликатного зольного стекла. Исходя из того, что прочность композита с 40% ЛЗ значительно уступала композитам с ЛЗ 10–30%, можно предположить, что количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующегося при гидратации ПЦ, было недостаточным для активирования и связывания растворяющихся силикатов и алюмосиликатов зольного стекла в соответствующие гидратированные продукты.

В летучих золах с высоким содержанием кальция (CaO 20–40%) имеются гидравлически активные фазы, такие как известь CaO , ангидрит CaSO_4 , алюминат $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, алюмоферрит $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$, двухкальциевый силикат $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$, при гидратации которых образуется $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и ряд других гидратных фаз, обеспечивающих увеличение прочности [13–16]. В разной мере на создание структуры могут влиять и такие кристаллические фазы золы, как кальцит CaCO_3 , кварц $\alpha\text{-SiO}_2$, периклаз MgO , гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, феррошпинель, разнообразные алюмосиликаты кальция [17–19]. Преобладающей фазой ВКЛЗ, так же как и низкокальциевых зол, является стекло, в данном случае кальций-алюмосиликатного состава. При этом трудно оценить вклад зольных стекол разного состава в активность процесса гидратации [20]. По данным [13] известно, что активность таких стекол увеличивается с повышением в них отношения

CaO/SiO_2 . Таким образом, из состава ВКЛЗ следует, что они способны проявлять не только пуццолановую, но и самостоятельную гидравлическую активность и повышать прочность цементно-зольных композиций. Например, композитные цементы, в которых 36% цемента замещено на высококальциевую золу (CaO 36,6%), по прочности на 7-е и 28-е сут (41,1 и 56,5 МПа) превышают цементные образцы — 39 и 43,8 МПа соответственно [6]. Полученные в аналогичных условиях композиты с алюмосиликатной золой (CaO 3,2%) уступают им по прочности — 25,6 и 37,6 МПа на 7-е и 28-е сут. Авторами [21] установлено, что при замещении 50% ПЦ на ВКЛЗ с содержанием CaO 41,7% снижалась прочность на 7-е сут, но увеличивалась на 28-е сут относительно цементных образцов.

Кроме состава зол на свойства цементно-зольных композитных материалов значительно влияет размер зольных частиц, который очень сильно отличается для зол разных ТЭС и особенно для разных полей электрофильтров [13]. С увеличением дисперсности зол процесс образования гидратных продуктов протекает более активно, увеличивается их масса, заполнения пространства между частицами, снижая пористость и повышая прочность. Применение тонкодисперсных минеральных компонентов в совокупности с водопонижающими химическими добавками (суперпластификаторами) является самым эффективным направлением повышения прочности современных композитных бетонов [16, 22]. Например, вяжущий материал с прочностью при сжатии 43 МПа на 28-е сут твердения получен на основе 100% тонкодисперсной ВКЛЗ с 4-го поля электрофильтров с добавкой поликарбоксилатного суперпластификатора при отношении вода/связующее 0,25, что сопоставимо по прочности с образцами на основе 100% ПЦ 42,5Н при $V/C=0,4$ без добавки суперпластификатора [15].

Несмотря на увеличивающиеся ежегодно количество и ряд преимуществ практического использования ВКЛЗ для замены портландцемента, влияние их состава и дисперсности на параметры пористой структуры и характеристики прочности изучено слабо. Целью данной работы было исследование изменения пористости, распределения по размерам пор и прочности композитного зольно-цементного вяжущего материала на основе тонкодисперсной высококальциевой летучей золы с добавкой поликарбоксилатного суперпластификатора в процессе долговременного твердения.

Объекты и методы

В работе исследовались зольно-цементные образцы, в качестве исходных компонентов для них использовали высококальциевую летучую золу (ВКЛЗ), отобранную с 4-го поля электрофильтров установки золоулавливания Красноярской ТЭЦ-2, и портландцемент ПЦ 42,5Н Красноярского цементного завода. В качестве добавок применялись поликарбоксилатный суперпластификатор Melflux 5581F (BASF Construction Solutions, Германия) и микрокремнезем MKY-95 (ООО «Стромэкс», г. Москва).

Таблица 1

Table 1

Химический состав (мас. %) исходной высококальцевой летучей золы (ВКЛЗ) и портландцемента ПЦ 42,5Н (ПЦ)
Chemical composition (wt. %) of the initial high-calcium fly ash (HCFA) and Portland cement PC 42.5N (PC)

Образец	Компоненты									
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	ППП
ВКЛЗ	39,6	24,6	7,3	14,29	8,24	2,29	0,71	0,2	0,25	1,96
ПЦ	63,9	20,41	4,87	4,18	—	2,46	—	—	—	—

Таблица 2

Table 2

Фазовый состав (мас. %) исходной ВКЛЗ и портландцемента ПЦ 42,5Н (ПЦ)
Phase composition (wt. %) of the initial high-calcium fly ash (HCFA) and Portland cement PC 42.5N (PC)

Образец	Фазы													
	Ca ₃ Al ₂ O ₆	Ca ₂ Fe _x Al _y O ₅	CaO	MgO	α-SiO ₂	CaCO ₃	CaSO ₄	Ca(OH) ₂	Ca ₃ SiO ₅	Ca ₂ SiO ₄	Ферро-шпинель	CaSO ₄ ·0,5H ₂ O	CaSO ₄ ·2H ₂ O	Аморфная фаза
ВКЛЗ	9,9	16,9	4,2	5,7	5,3	4,9	6,5	2,1	—	—	2,4	—	—	42,1
ПЦ	5,8	13,2	—	—	0,5	2,4	—	—	64,5	9,2	—	3,9	0,5	—

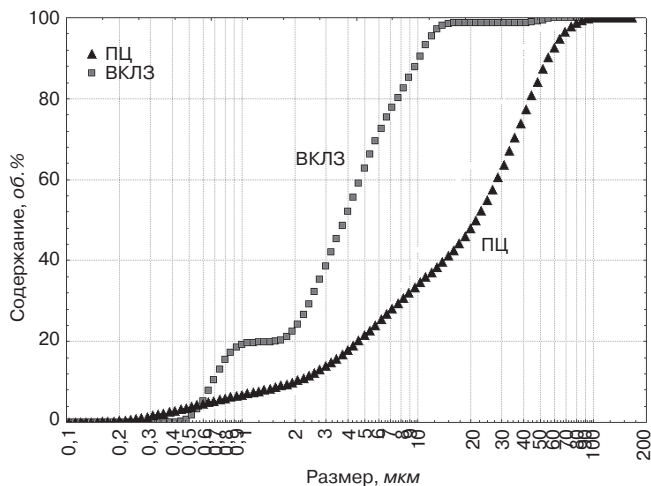


Рис. 1. Распределение по размерам частиц исходной ВКЛЗ и портландцемента ПЦ 42,5Н

Fig. 1. Particle size distribution of the initial HCFA and Portland cement PC 42.5N

Методы исследования ВКЛЗ, химический и фазовый состав, распределение по размерам частиц и морфология детально описаны ранее [16]. Данные по химическому составу ВКЛЗ и ПЦ (компоненты SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, SO₃, Na₂O, K₂O, TiO₂) и потери при прокаливании (ППП), определенные методами химического анализа по ГОСТ 5382–91, приведены в табл. 1. Данные количественного фазового состава ВКЛЗ и ПЦ, полученные методом порошкового рентгенофазового анализа с использованием подхода Ритвельда и минимизации производной разности, представлены в табл. 2. Распределение по размерам частиц, полученное при помощи лазерного анализатора частиц «Analysette 22» MicroTec (Fritsch, Германия) с использованием сухой ячейки, показано на рис. 1. Снимки исходной фракции ВКЛЗ (рис. 2) получены с применением

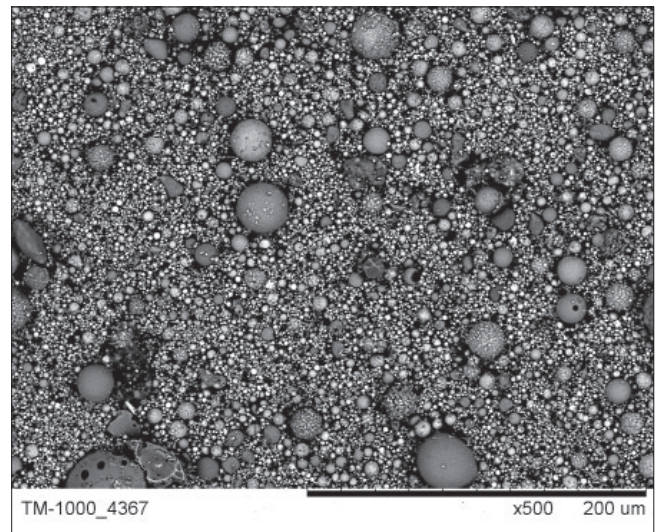


Рис. 2. Электронно-микроскопический снимок исходной ВКЛЗ

Fig. 2. Electron microscopic image of the initial HCFA

сканирующего электронного микроскопа ТМ-1000 (Hitachi, Япония).

Композитные зольно-цементные образцы были приготовлены в виде отвержденных кубиков 20×20×20 мм при отношении В/С=0,25 с добавкой суперпластификатора Melflux 5581F в количестве 0,12 и 0,3%; составы и характеристики образцов приведены в табл. 3. Все образцы хранились во влажной среде в течение 4–67 сут. Испытания прочности образцов выполнены с помощью настольной двухколонной испытательной машины Instron, модель 3360 (Instron, США) со скоростью движения траверса 5 мм/мин. Прочность при сжатии определяли для четырех кубов каждого срока твердения и рассчитывали как среднее значение трех ближайших значений прочности.

Определение удельной площади поверхности ($S_{уд}$) образцов выполнено с помощью сорбционного анали-

Таблица 3
Table 3Характеристики композитных образцов
Characteristics of composite specimens

Образец	ВКЛЗ:ПЦ	В/С	МФ, мас. %	МК, мас. %	Время твердения, сут	Прочность при сжатии, МПа
56с	90:10	0,25	0,12	–	4	35
49с	90:10	0,25	0,12	–	67	78
Н-4	80:20	0,25	0,3	5	28	108
Н-4_3	80:20	0,25	0,3	5	50	137

Примечания: В/С – отношение вода/связующее; МФ – Melflux 5581F; МК – микрокремнезем.

затора NOVA 3200e («Quantachrome Instruments», США) в режиме низкотемпературной адсорбции/десорбции азота при $-195,8^{\circ}\text{C}$ ($77,35\text{ K}$) в области относительных значений давления $P/P_0=0,01-0,995$. Предварительно осуществляли дегазацию образца при 60°C в течение 4 ч до остаточного давления $P<0,01$ мм рт. ст. Расчет $S_{\text{уд}}$ производился по модифицированному методу БЭТ в соответствии с международным стандартом ISO 9277:2010-09 (Е). Распределение пор по размеру рассчитывали с использованием метода ВЈН (Barret–Joyner–Halenda) по адсорбционной ветви. Значение общего объема пор рассчитывали при $P/P_0=0,99$.

Синхронный термический анализ гидратированных композитных образцов после сушки в течение 2 ч при 60°C выполнен на приборе Jupiter STA 449C («Netzsch», Германия) с масс-спектральным анализатором Aeolos QMS 403C («Netzsch», Германия) в Pt-Rh тиглях с крышечкой с использованием навески $20\pm 0,1$ мг. Регистрация изменения массы (ТГ, ДТГ), теплового потока (ДСК) и состава газообразных продуктов (по молекулярным ионам Ag^+ , O_2^+ , CO_2^+ , CO^+ , H_2O^+ и SO_2^+) проводилась в режиме линейного подъема температуры со скоростью $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ в диапазоне температуры $40-1000^{\circ}\text{C}$ с подачей газовой смеси $20\%\text{ O}_2+80\%\text{ Ag}$ (общий поток – $50\text{ см}^3\text{ НТД}/\text{мин}$). Коэффициент чувствительности сенсора ДСК-ТГ определялся из теплоемкости стандартного сапфирового диска, относительная ошибка определения ΔH не превышала 4%.

Результаты и обсуждение

Исходные компоненты

Физические характеристики исходной ВКЛЗ и ПЦ: насыпная плотность 1,18 и $1,3\text{ см}^3/\text{г}$; удельная поверхность 2,36 и $0,3\text{ м}^2/\text{г}$; размер частиц (рис. 1) – величина d_{90} составляет 10 и 55 мкм, d_{50} – 4 и 20 мкм соответственно. По этим данным ВКЛЗ имеет значительно меньший размер частиц по сравнению с ПЦ. Из электронно-микроскопических снимков ВКЛЗ (рис. 2) следует, что она состоит преимущественно из микросфер разного размера и морфологии.

В химическом составе ВКЛЗ (табл. 1) преобладает CaO (39,6 мас. %), при этом содержится достаточно много SiO_2 (24,6 мас. %) и Fe_2O_3 (14,3 мас. %). Основными отличиями от состава ПЦ 42,5Н является меньшее содержание CaO и более высокое содержание Al_2O_3 , MgO и особенно Fe_2O_3 . В фазовом составе ВКЛЗ (табл. 2) отсутствуют силикаты кальция Ca_3SiO_5

и Ca_2SiO_4 , которые в ПЦ 42,5Н составляют 73,7 мас. %, а преобладающим компонентом является аморфная фаза (42 мас. %); содержание клинкерных фаз – $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ и $\text{Ca}_2\text{Fe}_x\text{Al}_y\text{O}_5$ несколько выше, чем в ПЦ, и, наконец, в составе ВКЛЗ содержится значительное количество фаз несвязанных оксидов CaO, MgO, SiO_2 . Известно, что как химический, так и фазово-минеральный составы ВКЛЗ значительно отличаются для разных источников, и в первую очередь по содержанию стекла – от 23 до 82% и его составу [13, 17, 18]. Исследуемая в данной работе ВКЛЗ имеет более высокое содержанием общего CaO (39,6%) по сравнению с большинством высококальциевых зол класса С от пылевидного сжигания углей [4, 8, 20, 21, 24], что обуславливает более высокий вклад в ней кальций-содержащих фаз и кальцийсиликатного стекла.

Композитные зольно-цементные образцы

Прочность при сжатии. Тестирование прочности композитных образцов 56с и 49с с содержанием ВКЛЗ 90%, ПЦ 10% и добавкой 0,12% суперпластификатора Melflux 5581F при В/С=0,25 показало, что величина прочности при сжатии ($\sigma_{\text{сж}}$) увеличилась с 35 до 78 МПа со временем твердения от 4 до 67 сут (табл. 3). Эти образцы имеют более высокую прочность по сравнению с образцами на основе 100% ВКЛЗ, полученными в аналогичных условиях, для которых величина $\sigma_{\text{сж}}$ составляет от 26 до 57 МПа при твердении от 4 до 67 сут [15]. Установлено, что прочность полученных образцов обусловлена образованием тонкой смеси гидратных фаз: эттрингит $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$; гидраты карбоалюминатов кальция $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{13}(\text{CO}_3)_{0,5}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12}\text{CO}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ с низкой степенью кристалличности; гидросиликаты кальция скрытокристаллической структуры [15]. По прочности они близки к образцам на основе 100% ПЦ при отношении В/Ц=0,4 без добавки суперпластификатора. Ведущая роль в создании прочности при этом принадлежит гидросиликатам кальция типа $\text{Ca}_x\text{Si}(\text{OH})_y\cdot n\text{H}_2\text{O}$ (имеют переменный состав и обозначаются как С–S–Н [25]), образующимися при гидратации силикатов Ca_3SiO_5 и Ca_2SiO_4 , которые составляют 73,7% состава ПЦ. Поэтому с добавкой цемента к ВКЛЗ при его гидратации увеличивается количество образующегося С–S–Н и одновременно $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который взаимодействуя с зольным стеклом образует дополнительное количество С–S–Н, что способствует повышению прочности.

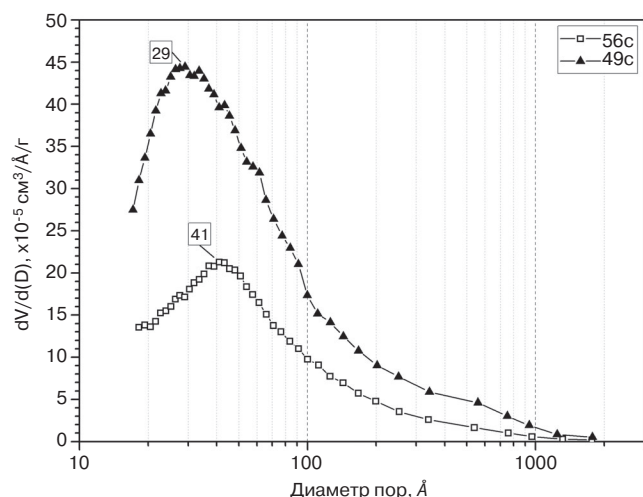


Рис. 3. Распределение пор по размерам для композитных образцов 56с и 49с

Fig. 3. Pore size distribution for composite specimens 56c and 49c

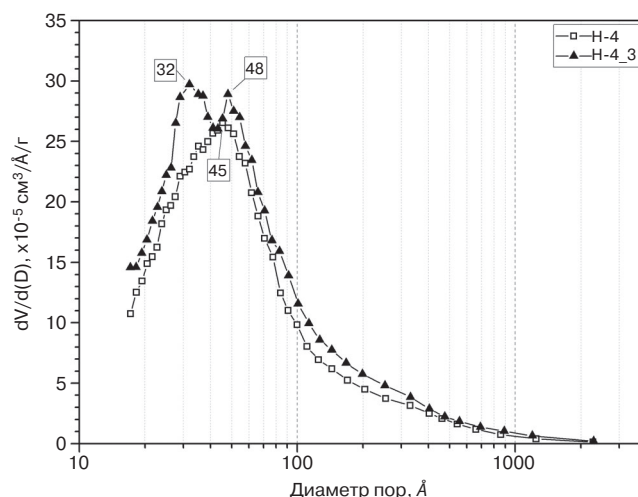


Рис. 4. Распределение пор по размерам для композитных образцов H-4 и H-4_3

Fig. 4. Pore size distribution for composite specimens H-4 and H-4_3

Увеличение содержания ПЦ до 20% в композитных образцах Н-4 и Н-4_3 (состав ВКЛЗ 80 мас. %, ПЦ 20%) с добавками 0,3% Melflux 5581F и 5% микрокремнезема позволило получить ультравысокую прочность: величина $\sigma_{сж}$ увеличилась от 108 до 137 МПа со временем твердения от 28 до 50 сут (табл. 3). Повышению прочности в данном случае способствовало образование дополнительного количества С–С–Н от гидратации 20% ПЦ и от взаимодействия 5% микрокремнезема с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующимся при гидратации ПЦ.

Пористость и распределение по размерам пор. Одновременно с увеличением прочности происходят значительные изменения в пористой структуре композитных вяжущих материалов. Например, для высоконаполненных зольно-цементных паст (20–60% ЛЗ класса F) установлена линейная корреляция повышения величины $S_{уд}$ от 9 до 50 $\text{м}^2/\text{г}$ и общей пористости V_{total} от 0,02 до 0,16 $\text{см}^3/\text{г}$ с увеличением степени гидратации при твердении до 90 сут [11]. Отмечена двойная роль летучей золы в процессах гидратации и формирования поровой структуры. Физическая роль заключается в обеспечении большего количества центров зародышеобразования для осаждения продуктов гидратации цемента, таким образом ускоряя процесс гидратации цемента. В дальнейшем при гидратации ЛЗ образуются продукты, заполняя уже сформировавшуюся пористую структуру.

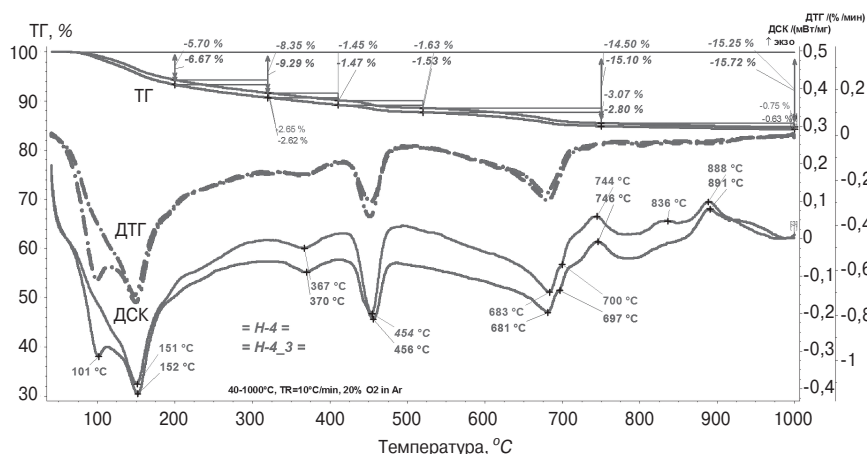


Рис. 5. Кривые ТГ, ДТГ и ДСК для композитных образцов Н-4 и Н-4_3

Fig. 5. TG, DTG, and DSC curves for composite specimens H-4 and H-4_3

Таблица 4
Table 4

Удельная поверхность ($S_{уд}$), распределение по размерам пор и общая пористость (V_{total}) композитных образцов
Specific surface area (S_{SA}), pore size distribution and total porosity (V_{total}) of composite specimens

Образец	$S_{уд}$, $\text{м}^2/\text{г}$	Распределение пор по размеру				$V_{total}(P/P_0=0.99) \cdot 10^{-2}$, $\text{см}^3/\text{г}$
		$V_{(20-100 \text{ Å})} \cdot 10^{-2}$, $\text{см}^3/\text{г}$	$V_{(100-500 \text{ Å})} \cdot 10^{-2}$, $\text{см}^3/\text{г}$	$V_{(500-1000 \text{ Å})} \cdot 10^{-2}$, $\text{см}^3/\text{г}$	$V_{(>1000 \text{ Å})} \cdot 10^{-2}$, $\text{см}^3/\text{г}$	
56с	14,3	1,31	1,41	0,41	0,28	3,46
49с	29,2	2,65	2,83	1,17	1,15	7,87
Н-4	16,3	1,53	1,5	0,47	0,3	3,87
Н-4_3	19,4	1,8	1,81	0,64	0,46	4,78

Авторами [12] установлено, что прочность зольно-цементных композитов (10–30% ЛЗ) становится значительно выше по сравнению с ПЦ-образцами при

сроках твердения 90 сут и в большей мере 180 сут, несмотря на их более высокую общую пористость. При этом доля пор размером 33–100 Å в них становится преобладающей (65,1–80,6%), тогда как для обычного цементного теста она несколько ниже – 64,3%, что указывает на увеличение количества гелиевых пор за счет дополнительных продуктов гидратации ЛЗ при длительных сроках твердения.

В исследованных образцах 56с и 49с удельная поверхность ($S_{уд}$) возрастает от 14,3 до 29,2 м²/г, а объем пор (величина V_{total}) – от $3,46 \cdot 10^{-2}$ до $7,87 \cdot 10^{-2}$ см³/г при увеличении времени твердения от 4 до 67 сут (табл. 4). Преобладающими в пористой структуре являются мезопоры (20–500 Å), объем которых составляет около 79% для образца 56с. В процессе твердения общий объем пор (V_{total}) увеличивается в 2,3 раза в образце 49с, доля мезопор составляет около 70%, наблюдается увеличение прочности при сжатии от 35 до 78 МПа. Характер изменения пористости свидетельствует об активном образовании гидратных продуктов, заполняющих поровое пространство. Из данных распределения пор по размерам (рис. 3) следует, что для образца 49с по сравнению с образцом 56с происходит значительное увеличение пористости за счет объема мезопор, при этом максимум распределения по размерам пор смещается от 41 до 29 Å. Уменьшение размера пор в этой области может быть обусловлено образованием геля С–S–Н высокой плотности за счет меньшей доступности воды [11]; более того, в процессе твердения С–S–Н низкой плотности может постепенно превращаться в С–S–Н высокой плотности.

При твердении ультравысокопрочных композитных образцов Н-4 и Н-4_3 от 28 до 50 сут возрастает величина $S_{уд}$ – с 16,3 до 19,4 м²/г и V_{total} – от $3,87 \cdot 10^{-2}$ до $4,78 \cdot 10^{-2}$ см³/г, что сопровождается увеличением прочности от 108 до 137 МПа (табл. 3 и 4). Их общая пористость и доля макропор больше 500 Å существенно ниже, а доля мезопор (20–500 Å) выше (76–78%) по сравнению с образцом длительного твердения 49с. На формирование пористой структуры в данном случае существенно влияет добавка микрокремнезема, имеющего субмикронный размер частиц и образующего дополнительное количество геля С–S–Н по реакции с $Ca(OH)_2$.

Как следует из рис. 4, увеличение пористости для образца Н-4_3 происходит за счет появления нового максимума при 32 Å с сохранением максимума при 45–48 Å, наблюдаемого в образце Н-4 (рис. 4). Анализ данных синхронно-термического анализа (рис. 5) показывает, что количество воды, десорбируемой при температуре менее 200°C, в образце Н-4_3 по сравнению с образцом Н-4 увеличивается за счет новой формы связанной воды с характерным пиком удаления при 101°C, что сопровождается снижением количества удаленной воды из $Ca(OH)_2$ при температуре около 450°C от 1,63 до 1,53%. Наблюдаемые изменения свидетельствуют об образовании дополнительно количества гидросиликатов кальция (С–S–Н)

возможно более плотной структуры, что способствует увеличению прочности образцов от 108 до 137 МПа.

Выводы

Изучено изменение общей пористости, распределения по размерам пор и прочности композитных зольно-цементных материалов на основе тонкодисперсной высококальцевой летучей золы (ВКЛЗ) в процессе долговременного твердения. Установлено, что для высокопрочных композитных материалов с содержанием ВКЛЗ 90%, ПЦ 10% и 0,12% суперпластификатора Melflux 5581F в процессе твердения от 4 до 67 сут происходит увеличение объема пор за счет вклада мезопор в интервале 20–500 Å и смещение максимума распределения от 41 до 29 Å, что сопровождается увеличением прочности при сжатии от 35 до 78 МПа. Ультрапрочные композитные зольно-цементные материалы с составом 80% ВКЛЗ, 20% ПЦ, 0,3% Melflux 5581F и 5% микрокремнезема отличаются меньшей величиной общей пористости и вклада макропор более 500 Å, но более высоким вкладом мезопор (20–500 Å). В распределении по размерам пор кроме максимума при 45–48 Å при длительном твердении развивается дополнительный максимум при 32 Å. За счет добавок 20% ПЦ и 5% микрокремнезема образуется дополнительное количество гидросиликатов кальция, повышающих вклад мезопор, что в совокупности обеспечивает ультравысокую прочность, возрастающую от 108 до 137 МПа при твердении от 28 до 50 сут.

Список литературы / References

1. Аникеев В., Силка Д. От отходов угольных электростанций к производству строительных материалов // *Энергетическая политика*. 28.01.2021. <https://energypolicy.ru/ot-othodov-ugolnyh-elektrostantsij-k-proizvodstvu-stroitelnyh-materialov/ugol/2021/14/28/>
1. Anikeev V., Silka D. From the waste of coal-fired power plants to the production of building materials. *Energy policy*. 01/28/2021. <https://energypolicy.ru/ot-othodov-ugolnyh-elektrostantsij-k-proizvodstvu-stroitelnyh-materialov/ugol/2021/14/28/> (In Russian).
2. Belviso C. State-of-the-art applications of fly ash from coal and biomass: A focus on zeolite synthesis processes and issues. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2018. Vol. 65, pp. 109–135. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.peccs.2017.10.004>
3. Гурьева В.А., Дорошин А.В., Ильина А.А. Модифицированные золошлаковые отходы в производстве керамического кирпича полусухого прессования // *Строительные материалы*. 2021. № 12. С. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-28-33>
3. Gur'eva V.A., Doroshin A.V., Il'ina A.A. Modified ash and slag waste in the production of semi-dry pressed ceramic bricks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 12, pp. 28–33. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-28-33>

4. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R.D. Supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41, pp. 1244–1256. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.12.001>
5. Chindasiriphan P., Yokota H., Pimpakan P. Effect of fly ash and superabsorbent polymer on concrete self-healing ability. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 233. 116975. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116975>
6. Ahari R.S., Erdem T.K., Ramyar K. Permeability properties of self-consolidating concrete containing various supplementary cementitious materials. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 79, pp. 326–336. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.053>
7. Choudhary R., Gupta R., Nagar R. Impact on fresh, mechanical, and microstructural properties of high strength self-compacting concrete by marble cutting slurry waste, fly ash, and silica fume. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 239. 117888. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117888>
8. Yu J., Lu C., Leung Ch.K.Y., Li G., Mechanical properties of green structural concrete with ultra-high-volume fly ash. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 147, pp. 510–518. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.188>
9. Han X., Yang J., Feng J., Zhou C., Wang X. Research on hydration mechanism of ultrafine fly ash and cement composite. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 227. 116697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116697>
10. Shaikh F.U.A., Supit S.W.M. Compressive strength and durability properties of high volume fly ash (HVFA) concretes containing ultrafine fly ash (UFFA). *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 82, pp. 192–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.068>
11. Zeng Q., Li K., Fen-chong T., Dangla P. Pore structure characterization of cement pastes blended with high-volume fly-ash. *Cement and Concrete Research*. 2012. Vol. 42, pp. 194–204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.09.012>
12. Yang J., Su Y., He X., Tan H., Jiang Y., Zeng L., Strnadel B. Pore structure evaluation of cementing composites blended with coal byproducts: Calcined coal gangue and coal fly ash. *Fuel Processing Technology*. 2018. Vol. 181, pp. 75–90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.09.013>
13. Sharonova O.M., Solovyov L.A., Oreshkina N.A., Yumashev V.V., Anshits A.G. Composition of high-calcium fly ash middlings selectively sampled from ash collection facility and prospect of their utilization as component of cementing materials. *Fuel Processing and Technology*. 2010. Vol. 91, pp. 573–581. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.01.00>
14. Zhao Y., Zhang J., Tian C., Li H., Shao X., Zheng C. Mineralogy and chemical composition of high-calcium fly ashes and density fractions from a coal-fired power plant in China. *Energy and Fuels*. 2010. Vol. 24, pp. 834–843. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ef900947y>
15. Шаронова О.М., Юмашев В.В., Соловьев Л.А., Аншиц А.Г. Тонкодисперсная высококальциевая летучая зола как основа композитного цементующего материала // *Инженерно-строительный журнал*. 2019. Вып. 91. С. 60–72. DOI: <http://dx.doi.org/10.18720/MCE.91.6>
15. Sharonova O.M., Yumashev V.V., Solovyov L.A., Anshits A.G. The fine high-calcium fly ash as the basis of composite cementing material. *Magazine of Civil Engineering*. 2019. Vol. 91, pp. 60–72. DOI: <http://dx.doi.org/10.18720/MCE.91.6>
16. Sharonova O.M., Kirilets V.M., Yumashev V.V., Solovyov L.A., Anshits A.G. Phase composition of high strength binding material based on fine microspherical high-calcium fly ash. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 216, pp. 525–530. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.201>
17. Ilic M., Cheeseman C., Sollars C., Knight J. Mineralogy and microstructure of sintered lignite coal fly ash. *Fuel*. 2003. Vol. 82, pp. 331–336. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(02\)00272-7](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(02)00272-7)
18. Tishmark J.K., Olek J., Diamond S., Sahu S. Characterization of pore solutions expressed from high-calcium fly-ash-water pastes. *Fuel*. 2001. Vol. 80, pp. 815–819. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(00\)00160-5](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00160-5)
19. Sharonova O. M., Anshits N.N., Fedorchak M. A., Zhizhaev A.M., Anshits A.G. Characterization of ferrospheres recovered from high-calcium fly ash. *Energy Fuels*. 2015. Vol. 29, pp. 5404–5414. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b01618>
20. Paweł T. Durdziński, Cyrille F. Dunant, Mohsen Ben Haha, Karen L. Scrivener. A new quantification method based on SEM-EDS to assess fly ash composition and study the reaction of its individual components in hydrating cement paste. *Cement and Concrete Research*. 2015. Vol. 73, pp. 111–122. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.02.008>
21. Papayianni I., Anastasion E. Development of self compacting concrete (SCC) by using high volume of clscareous fly ash. *2011 World of Coal Ash (WOCA) Conference*. May 2–12, 2011. Denver, CO, USA. <http://www.flyash.info>
22. Li Z. Advanced concrete technology. New Jersey: Wiley & Sons, 2011. 506 p. <https://epdf.pub/advanced-concrete-technology.html>
23. Giergiczny Z., The hydraulic activity of high calcium fly ash. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2006. Vol. 83, pp. 227–232. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-005-6970-7>
24. Blissett, R.S., Rowson, N.A. A review of the multi-component utilization of coal fly ash. *Fuel*. 2012. Vol. 97, pp. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.03.024>
25. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. 2nd Edition. Tomas Telford, London, 1997. <https://www.iccvirtuallibrary.com/doi/book/10.1680/cc.25929>

Н.О. КОПАНИЦА, д-р техн. наук, профессор (kopanitsa@mail.ru),
О.В. ДЕМЬЯНЕНКО, ст. преподаватель (demyanenko.olga.v@gmail.com),
А.А. КУЛИКОВА, аспирант (lika.panda.19@gmail.com),
А.Г. ПЕТРОВ, канд. техн. наук, доцент (petrov-tomsk@list.ru);

Томский государственный архитектурно-строительный университет (634003, г. Томск, Соляная пл., 2)

Прочностные и деформационные свойства строительных растворов, модифицированных добавкой на основе торфа

Высококачественные конкурентоспособные сухие строительные смеси требуют включения в их состав модифицирующих добавок различного назначения. В то же время применение сухих строительных смесей при выполнении отделочных и монтажных работ существенно повышает их качество и производительность труда, обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики готовой продукции. Разнообразие потребительских свойств таких смесей определяет необходимость применения комплекса модифицирующих добавок различного назначения. Производство импортозамещающих конкурентоспособных по свойствам добавок в строительные смеси является важной задачей. Одним из способов решения данной проблемы является организация производства модифицирующих добавок на основе местного сырья. В ТГАСУ разработана модифицирующая добавка МТ-600 на основе термоактивированного торфяного сырья, введение которой позволяет повысить прочностные характеристики строительных растворов при сжатии до 20% и при изгибе до 15%, а модуль упругости на 25%. Значительно, до 44%, повышаются прочностные показатели модифицированных строительных растворов в ранние сроки твердения. В работе представлены результаты исследования влияния добавки МТ-600 на деформационные и прочностные свойства строительных растворов, установлены особенности формирования данных характеристик.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, модифицирующие добавки, деформационные свойства, термоактивированный торф, прочностные характеристики.

Работа выполнена при поддержке государственного задания министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2022-0001.

Для цитирования: Копаница Н.О., Демьяненко О.В., Куликова А.А., Петров А.Г. Прочностные и деформационные свойства строительных растворов, модифицированных добавкой на основе торфа // *Строительные материалы*. 2022. № 7. С. 40–44.
DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-40-44>

N.O. KOPANITSA, Doctor of Sciences (Engineering), Professor (kopanitsa@mail.ru); O.V. DEMYANENKO, Senior Lecturer (demyanenko.olga.v@gmail.com), A.A. KULIKOVA, Post-graduate Student (lika.panda.19@gmail.com); A.G. PETROV, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor (petrov-tomsk@list.ru) Tomsk State University of Architecture and Building (2, Solyanaya Square, Tomsk, 634003, Russian Federation)

Strength and Deformation Properties of Building Mortars Modified with a Peat-Based Additive

High-quality competitive dry building mixes require the inclusion of modifying additives for various purposes in their composition. At the same time, the use of dry building mixes when conducting finishing and installation works significantly improve their quality and labor productivity, provides high performance characteristics of finished products. The variety of consumer properties of such mixes determines the need for the use of a complex of modifying additives for various purposes. The production of import-substituting competitive in properties additives in building mixes is an important task. One of the ways to solve this problem is to organize the production of modifying additives based on local raw materials. TSUAB has developed a modifying additive (MT-600) based on thermally activated peat raw materials, the introduction of which makes it possible to increase the strength characteristics of building mortars at compression up to 20% and at bending up to 15%, and the modulus of elasticity by 25%. Significantly, up to 44%, the strength characteristics of modified mortars increase at the early stages of hardening. The paper presents the results of a study of the effect of the MT-600 additive on the deformation and strength properties of building mortars, the features of the formation of these characteristics are established.

Keywords: dry building mixes, modifying additives, deformation properties, thermally activated peat, strength characteristics.

The work was supported by the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FEMN-2022-000.

For citation: Kopanitsa N.O., Demyanenko O.V., Kulikova A.A., Petrov A.G. Strength and deformation properties of building mortars modified with a peat-based additive. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 7, pp. 40–44. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-40-44>

Применение сухих строительных смесей при выполнении кладочных и монтажных работ существенно повышает их качество и производительность труда, позволяет снизить расходы на транспортировку материалов, обеспечить наличие на строительной площадке растворов нужной марки и назначения в необходимом количестве, что способствует достижению более рациональной организации производства [1–7].

Современные технологии производства сухих строительных смесей позволяют получать компози-

ционные материалы с заданными реологическими и эксплуатационными характеристиками путем введения модифицирующих добавок различного назначения [1].

Для обеспечения требуемых свойств сухих строительных смесей наиболее часто применяются реологические, водоудерживающие и водоредуцирующие добавки, а также добавки, регулирующие сроки схватывания, противоморозные, гидрофобизирующие и воздухововлекающие [9, 10]. Использование

добавок импортного производства в составе сухих строительных смесей приводит к существенному их удорожанию.

Сырьевая база Сибирского региона позволяет создавать модифицирующие добавки на основе торфа для регулирования свойств сухих строительных смесей. Вещественный состав торфа представлен разнообразными органическими и минеральными соединениями [11]. Наличие в нем химически активных органоминеральных функциональных групп обеспечивает возможность применения различных способов модифицирования сырья: термического, химического, механического или сочетания нескольких видов воздействия и получения продуктов различного назначения, в том числе и эффективных добавок для сухих строительных смесей [12–14]. В ТГАСУ разработана модифицирующая добавка МТ-600 на основе термоактивированного торфа; создана лабораторная установка пиролиза торфа без доступа воздуха; выявлено, что введение в строительные смеси 0,5% добавки МТ-600 приводит к увеличению прочности при сжатии до 20%, а при изгибе до 10%, благодаря особой волокнистой структуре вещества и снижает величину водопоглощения материала на 32,5% [15–17]. Кроме того, добавка МТ-600 обладает гидрофобно-гидрофильными свойствами, что улучшает реологию строительных смесей. По совокупности полученных характеристик разработанная добавка может быть рекомендована к применению в составе строительных растворов, к прочностным и гидрофизическим характеристикам которых предъявляются повышенные требования.

Методы испытаний и результаты исследований

Исследования прочностных характеристик затвердевшего раствора проводились в соответствии с ГОСТ 5802–86. Для определения предела прочности при сжатии использовались образцы-кубики размером 40×40×40 мм, а при изгибе – образцы-балочки размером 40×40×160 мм. Испытания проводились на 7, 14 и 28-е сут твердения.

Для исследования деформативных характеристик цементно-песчаных растворов проводились испытания образцов размером 40×40×40 мм на прочность при сжатии в испытательной машине Instron 3382 при скорости нагружения 2 мм/мин. Оценка влияния модифицирующих добавок на характер формирования полей деформаций образцов цементно-песчаного раствора осуществлялась с применением цифровой оптической системы измерений Vic 3D. Система позволяет получить данные по смещению микрообъемов на поверхности образца по трем ортогональным осям в процессе его деформирования [8, 18].

Характер влияния модифицирующих добавок на прочность и характер формирования полей деформаций образцов цементно-песчаного раствора кубической формы определялось путем сопоставления стереоскопических изображений деформированной поверхности контрольных и модифицированных образцов.

Фазовый состав модифицирующей добавки МТ-600
Phase composition of modifying additive МТ-600

Фаза	Размерность, нм	Содержание, %
SiO ₂	>400	43,81
CaCO ₃	180	47,99
С (графит)	15	7,77
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	100	0,31
C ₆₀	10–20	0,12

Для проведения испытаний готовились контрольный (без добавки) и модифицированный цементно-песчаные растворы, соотношение вяжущее/песок составляло 1/3. Песок предварительно рассеивался на две фракции: 1,25–2,5 и 0,16–0,31. В растворной смеси фракция песка использовалась в соотношении 70/30. Исходя из принципа обеспечения минимальной межзерновой пустотности содержание добавки МТ-600 в модифицированном растворе составляло 0,5%. Подвижность исследуемых растворных смесей была одинаковой: 6–8 см.

В качестве вяжущего использовался портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н Топкинского цементного завода. Характеристики вяжущего удовлетворяют требованиям ГОСТ 31108–2003 и ГОСТ 30515–2013.

В качестве заполнителя использовался природный кварцевый песок Кудровского месторождения Томской области, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736–2014.

В составе модифицированных образцов применялась добавка МТ-600 на основе низинного торфа Гусевского месторождения Томской области. Добавка получена методом пиролиза торфа при температуре 600°C в лабораторной установке. Элементный состав добавки представлен преимущественно кремнием, алюминием, углеродом и кальцием. Фазовый состав модификатора приведен в таблице.

Вещество обладает высокой дисперсностью: средний размер частиц составляет 42±3 мкм, удельная поверхность – 600 м²/кг. Структура добавки волокнистая.

Методом электронной микроскопии установлено, что добавка содержит наноразмерные элементы в

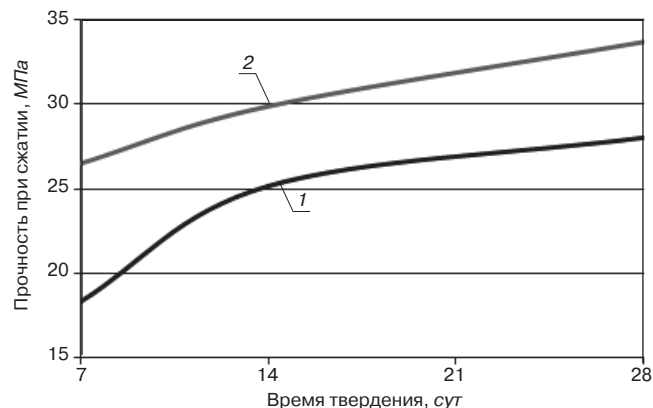


Рис. 1. Динамика набора прочности цементно-песчаного раствора при сжатии: 1 – контрольный цементно-песчаный раствор; 2 – модифицированный цементно-песчаный раствор

Fig. 1. Compression strength curves of cement-sand mortar: 1 – control cement-sand mortar; 2 – modified cement-sand mortar

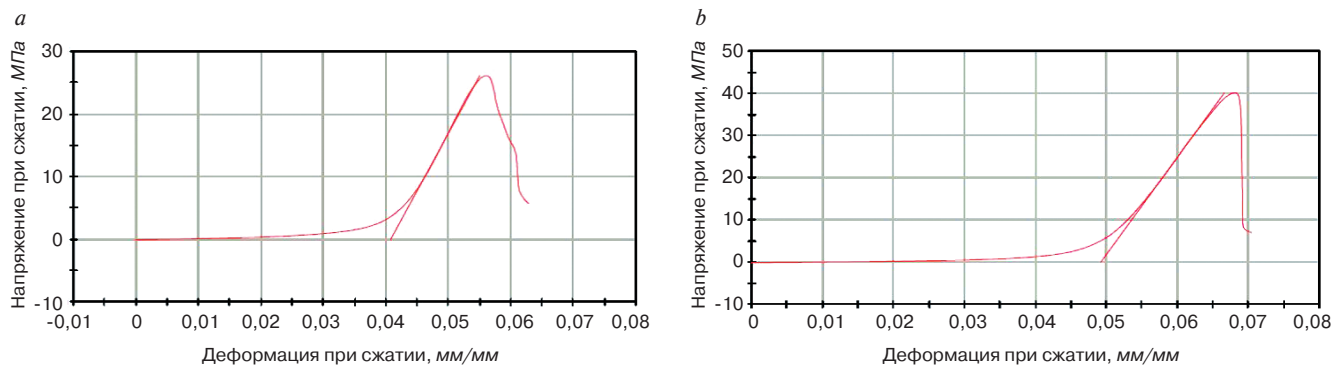


Рис. 2. Диаграммы напряженно-деформированного состояния: *a* – контрольного образца цементно-песчаного раствора; *b* – образца цементно-песчаного раствора с модифицирующей добавкой МТ-600

Fig. 2. Diagrams of the stress-strain state of: *a* – control sample of a cement-sand mortar; *b* – sample of a cement-sand mortar with a modifying additive MT-600

виде различных форм нанокластера, таких как фуллерены, размером от 5 нм, нанотрубки и нановолокна, размеры которых достигают 200 нм и более при поперечном размере 20 нм и менее.

Механическая прочность является важной эксплуатационной характеристикой затвердевших строительных растворов. Прочность на растяжение при изгибе и деформационные характеристики не относятся к основным показателям качества строительных растворов (согласно ГОСТ 4.233–86), однако условия работы кладочных и монтажных смесей предполагают возможность возникновения в процессе эксплуатации растягивающих напряжений. В связи с этим, в работе представлены сравнительные результаты прочностных показателей затвердевших растворов при сжатии и изгибе, определены модули упругости.

Результаты исследования прочностных характеристик цементно-песчаных растворов, представленные на рис. 1, показали, что в ранние сроки твердения (7 сут) введение в растворную смесь добавки МТ-600 обеспечивает увеличение предела прочности при сжатии на 44% по сравнению с контрольными образцами. В возрасте 28 сут прочность образцов, модифицированных МТ-600, на 20% выше, чем контрольных.

При этом средняя прочность при изгибе образцов, модифицированных добавками МТ-600, составила 8,05 МПа, а контрольных – 6,99 МПа. Таким образом, предел прочности модифицированного затвердевшего раствора при изгибе на 15% превышает предел прочности контрольных образцов.

Представленные на рис. 2 деформационные кривые показывают, что введение добавок на основе торфа в цементные системы приводит к увеличению модуля упругости модифицированного раствора до 25% по отношению к контрольному.

Результаты проведенного исследования показали, что модифицированный цементно-песчаный раствор может работать упруго в более широком диапазоне нагрузок, это позволит обеспечить высокую трещиностойкость и деформативность растворных смесей на основе модифицированного цемента. Повышение модуля упругости цементного камня с введением добавок на основе торфа может быть связано с формированием структур твердения, работающих под нагрузкой, без появления зон с пластическими деформациями. Известно, что модуль упругости материала в значительной степени зависит от его прочности при сжатии. Проведенные исследования показали, что для

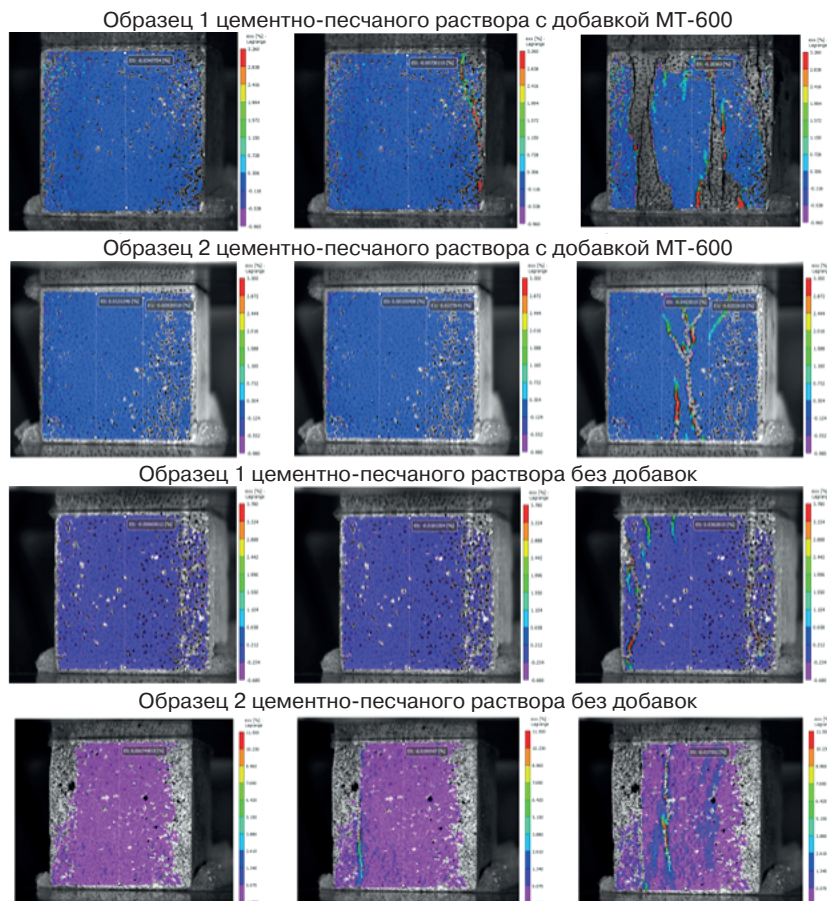


Рис. 3. Изображения деформированной поверхности образцов цементно-песчаного раствора
Fig. 3. Images of the deformed surface of cement-sand mortar samples

исследуемых составов прямо пропорциональная зависимость этих величин сохраняется.

Для оценки прочностных характеристик затвердевших образцов при сжатии проведены испытания четырех серий образцов, две из которых являлись исследуемыми образцами, модифицированными добавкой МТ-600, и две серии контрольных образцов цементно-песчаного раствора.

Полученные результаты представлены на рис. 3. Каждому образцу соответствуют три снимка деформированной поверхности. Первый снимок выполнен при нагрузках, равных $1/2$ разрушающего значения; второй сделан при разрушающих нагрузках; последний снимок характеризует стадию разрушения опытных образцов.

Анализ данных, представленных на рис. 3, позволил определить развитие поперечных деформаций, являющихся причиной разрушения образцов. Справа от каждого изображения деформированной поверхности приведена шкала значений поперечных деформаций в соответствии с цветовой гаммой. Развитие упругих деформаций у образцов с добавками характеризуется формированием зоны уплотнения в средней части куба и постепенным разуплотнением среды в окрестности свободных граней кубов. Можно отметить линейную зависимость роста поперечных деформаций от напряжений до уровня средних значений нагрузок. Разрушение исследуемых кубов началось с появления микротрещин на периферийных участках.

При нагрузках, предшествующих разрушающим значениям, скорость поперечных деформаций кубов

снизилась. Сопоставление картин деформаций образцов с добавками и картин деформаций контрольных образцов показало их практическое совпадение. В отличие от контрольных образцов разрушение образцов с добавками наступило несколько позже, хотя по времени разрушение их происходит быстрее и характеризуется большим спадом на ниспадающем участке диаграммы деформаций. Это подтверждается сопоставлением диаграмм деформирования.

Выводы

В ходе проведенного исследования выявлено, что введение в состав растворной смеси модифицирующей добавки на основе торфа позволяет повысить прочность раствора при сжатии на 20%, а при изгибе на 15%. Повышение прочности при сжатии объясняется присутствием в добавке частиц, размер которых примерно в 100 раз меньше зерен цемента. В работе [19] такие частицы называются уплотнителями, так как они заполняют пустоты между частицами вяжущего, обеспечивая более плотную упаковку частиц. Кроме того, эффективность уплотняющих добавок обусловлена образованием дополнительных центров кристаллизации и высокой поверхностной энергии, что способствует ускорению твердения и повышению прочности цементного камня. Более высокая прочность при изгибе обусловлена наличием волокнистых включений, характерных для добавки на основе торфа. Предполагается, что такие включения обеспечивают эффект армирования новообразований цементного камня на нано- и микроуровнях.

Список литературы

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М., 1998. 768 с.
2. Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Касаткина А.В. Эффективные органоминеральные добавки на основе местного сырья // *Вестник ТГАСУ*. 2012. № 4. С. 184–190.
3. Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Касаткина А.В. Новые органоминеральные добавки на основе торфа для цементных систем // *Строительные материалы*. 2015. № 14. С. 93–96.
4. Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Касаткина А.В. О некоторых аспектах применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве // *Вестник ТГАСУ*. 2012. № 4. С. 226–234.
5. Ustinov A., Kopanitsa D., Abzaev Y., Klopotov A., Koshko B., Kopanitsa G. Study of deformations evolution in near-surface layers of adhesive joints. Youth, science, solutions: ideas and prospects (YSSIP-2016): Proceedings of the III International Young Researchers Conference “Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects”. AIP Conference Proceedings 1800(1):040007. DOI: 10.1063/1.4973048
6. Панченко А.И., Дилгер У. Обеспечение качества сухих смесей и их эффективного использования // *Строительные материалы*. 2002. № 9. С. 12–14.

References

1. Batrakov V.G. Modifitsirovannyye betony. Teoriya i praktika [Modified concrete. Theory and practice]. Moscow. 1998. 768 p.
2. Kopanitsa N.O. Sarkisov Yu.S., Kasatkina A.V. Effective organomineral additives based on local raw materials. *Vestnik TSUAB*. 2013. No. 4, pp. 184–190. (In Russian).
3. Kopanitsa N.O., Sarkisov Yu.S., Kasatkina A.V. New organic-mineral additives based on peat for cement systems. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 14, pp. 93–96. (In Russian).
4. Kopanitsa N.O., Sarkisov Yu.S., Kasatkina A.V. On some aspects of the application of nanomaterials and nanotechnologies in construction. *Vestnik TSUAB*. 2012. No. 4, pp. 226–234. (In Russian).
5. Ustinov A., Kopanitsa D., Abzaev Y., Klopotov A., Koshko B., Kopanitsa G. Study of deformations evolution in near-surface layers of adhesive joints. Youth, science, solutions: ideas and prospects (YSSIP-2016): Proceedings of the III International Young Researchers Conference “Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects”. AIP Conference Proceedings. 1800(1):040007. DOI: 10.1063/1.4973048
6. Panchenko A.I., Dilger U. Ensuring the quality of dry mixes and their effective use. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2002. No. 9, pp. 12–14. (In Russian).

7. Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Касицкая Л.В., Цыро Л.В. Упрочнение торфосодержащих композиций методом генерирования свободных радикалов // *Журнал физической химии*. 1999. Т. 73. № 5. С. 824–826.
8. Карапузов Е.К., Лутц Г., Герольд Х. и др. Сухие строительные смеси: Справочное пособие. К.: Техника, 2000. 226 с.
9. Касицкая Л.В., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П. Торфяные ресурсы Томской области и пути их использования в строительстве / Под ред. А.И. Кудякова, Ю.С. Саркисова. Томск: STT, 2007. 292 с.
10. Копаница Н.О., Кудяков А.И., Саркисов Ю.С. Строительные материалы и изделия на основе модифицированных торфов Сибири: Монография. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. 294 с.
11. Мисников О.С., Белугин Г.П. Свойства гидрофобно-модифицированных цементов и материалов на их основе. *Современные технологии сухих смесей в строительстве: Сборник докладов VII международной научно-технической конференции*. СПб., 2005. С. 28–30.
12. Garboczi E.J., Bentz D.P. Modelling of the microstructure and transport properties of concrete. *Construction and Building Materials*. 1996. Vol. 10. Iss. 5, pp. 293–300.
13. Калашников В.И., Махамбетова К.Н., Шитова И.Ю. и др. Гигрометрические свойства цементно-песчаных растворов, модифицированных современными гидрофобизаторами. *Современные проблемы науки и образования: Электронный научный журнал*. 2015. № 1. <http://www.science-education.ru/pdf/2015/1/1337.pdf>.
14. Bertolinia L., Carsanaa M., Cassagoa D., Curziob A.Q., Collepardia M. MSWI ashes as mineral additions in concrete. *Cement and Concrete Research*. 2004. 34(10):1899–1906. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.02.001
15. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Береговой В.А. Модифицирование строительных материалов наноклеродными трубками и фуллеренами // *Строительные материалы: наука*. 2006. № 8. С. 2–4.
16. Калашников В.И. Бетоны: макро-, микро-, нано- и пикомасштабные сырьевые компоненты. Реальные нанотехнологии бетонов. *Сборник докладов конференции «Дни современного бетона»*. Запорожье, 2012. С. 38–50.
17. Горшкова А.В. Сухие строительные смеси с модифицирующей добавкой на основе торфа: Дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2015. 168 с.
18. Айрапетов Г.А., Безродный О.К., Жолобов А.Л. и др. Строительные материалы: Учебно-справочное пособие / Под. ред. Г.В. Несветаева. Ростов н/Д: Феникс, 2005. 608 с.
19. Касицкая Л.В. Композиционные материалы на основе торфа: Дис. ... канд. хим. наук. Томск, 1999. 161 с.
7. Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Kasitskaya L.V., Tsyro L.V. Strengthening of peat-containing compositions by generating free radicals. *Zhurnal fizicheskoi khimii*. 1999. Vol. 73. No. 5, pp. 824–826. (In Russian).
8. Karapuzov E.K., Lutz G., Herold H. Sukhiye stroitel'nyye smesi [Dry building mixes]. K.: Tekhnika, 2000. 226 p.
9. Kasitskaya L.V., Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P. Torfyanyye resursy tomskoy oblasti i puti ikh ispol'zovaniya v stroitel'stve [Peat resources of the Tomsk region and ways of their use in construction. Edited by Kudyakova A.I., Sarkisova Yu.S.]. Tomsk: STT. 2007. 292 p.
10. Kopanitsa N.O., Kudyakov A.I., Sarkisov Yu.S. Stroitel'nyye materialy i izdeliya na osnove modifitsirovannykh torfov Sibiri: monografiya [Building materials and products based on modified peat of Siberia: monograph]. Tomsk: Publishing House of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2013. 294 p.
11. Misnikov O.S., Belugin G.P. Properties of hydrophobically modified cements and materials based on them. Modern technologies of dry mixes in construction: *Collection of reports of the VII International Scientific and Technical Conference*. St. Petersburg. 2005, pp. 28–30. (In Russian).
12. Garboczi E.J., Bentz D.P. Modelling of the microstructure and transport properties of concrete. *Construction and Building Materials*. 1996. Vol. 10. Iss. 5, pp. 293–300.
13. Kalashnikov V.I., Makhambetova K.N., Shitova I.Yu. Hygrometric properties of cement-sand mortars modified with modern water repellents. *Modern problems of science and education: Electronic scientific journal*. 2015. No. 1. <http://www.science-education.ru/pdf/2015/1/1337.pdf>
14. Bertolinia L., Carsanaa M., Cassagoa D., Curziob A.Q., Collepardia M. MSWI ashes as mineral additions in concrete. *Cement and Concrete Research*. 2004. 34(10):1899–1906. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.02.001
15. Korolev E.V., Bazhenov Yu.M., Beregovoi V.A. Modification of building materials with nanocarbon tubes and fullerenes. *Stroitel'nye Materialy: Nauka* [Construction Materials Application Science]. 2006. No. 8, pp. 2–4. (In Russian).
16. Kalashnikov V.I. Concrete: macro-, micro-, nano- and picoscale raw materials. Real nanotechnology of concrete. *Collection of reports of the conference "Days of modern concrete"*. Zaporozh'e. 2012, pp. 38–50. (In Russian).
17. Gorshkova A.V. Dry building mixtures with a modifying additive based on peat. Diss... Doctor of Sciences (Engineering). Tomsk. 2015. 168 p. (In Russian).
18. Airapetov G.A., Bezrodny O.K., Zholobov A.L. etc. Stroitel'nyye materialy. Uchebno-spravochnoye posobiye [Building materials. Educational and reference manual. Edited by Nesvetaev G.V.] Rostov-on-Don: Phoenix. 2005. 608 p.
19. Kasitskaya L.V. Peat-based composite materials. Diss... Candidate of Sciences (Chemistry). Tomsk. 1999. 161 p. (In Russian).

А.В. ПЧЕЛЬНИКОВ¹, канд. техн. наук (pchelaleksandr@mail.ru),

А.П. ПИЧУГИН¹, д-р техн. наук (gmunsau@mail.ru),

В.Ф. ХРИТАНКОВ¹, д-р техн. наук (vl_hritankov@minwateu.net);

О.Е. СМЕРНОВА², канд. техн. наук (smirnova.olj@yandex.ru)

¹ Новосибирский государственный аграрный университет (630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160)

² Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113)

Роль нанодобавок в формировании прочного контактного слоя защитных покрытий

Формирование прочного контактного слоя в системе «металл – лакокрасочный слой» является одним из важных факторов надежной работы защитного покрытия. Разработка методов повышения адгезии и снижения дефектности на границе металлических поверхностей с лакокрасочным покрытием с помощью наноразмерных добавок является наиболее эффективным путем получения гарантированных качественных характеристик. С этой целью исследован ряд различных нанодобавок в широких интервалах дозировок и определены зависимости изменения свойств ЛКМ для большого набора эксплуатационных воздействий и факторов. Показано, что введение бинарных добавок – углеродных нанотрубок и оксида висмута – приводит к синергетическому эффекту, выражающемуся в повышении адгезии, прочности, твердости, водостойкости, коррозионной стойкости и усилении термостабильности контактного слоя. Проведенные термомеханические и диэлектрические исследования лакокрасочных защитных покрытий с нанодобавками позволили выявить закономерности изменения диэлектрических свойств во времени, что открывает возможности для направленного изменения всех показателей защиты. Такой подход позволяет рассматривать процесс введения нанодобавок как комплекс, способствующий получению требуемых параметров качественных показателей не только для защитных покрытий, но и для формирования заданных сроков их службы в определенных эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: наноразмерные добавки, лакокрасочные защитные покрытия, углеродные нанотрубки, оксид висмута, адгезионная прочность, термомеханические исследования, диэлектрические свойства.

Для цитирования: Пчельников А.В., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е. Роль нанодобавок в формировании прочного контактного слоя защитных покрытий // *Строительные материалы*. 2022. № 7. С. 45–50. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-45-50>

A.V. PCHELNIKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (pchelaleksandr@mail.ru), A.P. PICHUGIN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (gmunsau@mail.ru), V.F. KHITANKOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (vl_hritankov@minwateu.net); O.E. SMIRNOVA², Candidate of Sciences (Engineering) (smirnova.olj@yandex.ru)

¹ Novosibirsk State Agrarian University (160, Dobrolyubova Street, Novosibirsk, 630039, Russian Federation)

² Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (113, Leningradskaya Street, Novosibirsk, 630008, Russian Federation)

The Role of Nano-Additives in the Formation of a Strong Contact Layer of Protective Coatings

The formation of a strong contact layer in the “metal – paint layer” system is one of the important factors for the reliable operation of the protective coating. The development of methods for increasing adhesion and reducing defects at the boundary of metal surfaces with paint and varnish coating using nanoscale additives is the most effective way to obtain guaranteed quality characteristics. To this end, a number of different nano-additives have been studied in wide dosage ranges and the dependences of changes in the properties of coatings for a large set of operational impacts and factors have been determined. It is shown that the introduction of binary additives – carbon nanotubes and bismuth oxide – lead to a synergistic effect, expressed in increased adhesion, strength, hardness, water resistance, corrosion resistance and enhanced thermal stability of the contact layer. Thermomechanical and dielectric studies of paint and varnish protective coatings with nano-additives have revealed patterns of changes in dielectric properties over time, which opens up opportunities for directional changes in all protection indicators. This approach allows us to consider the process of introducing nano-additives as a complex that contributes to obtaining the required parameters of quality indicators not only for protective coatings, but also for the formation of their specified service life under certain operating conditions.

Keywords: nanoscale additives, paint and varnish protective coatings, carbon nanotubes, bismuth oxide, adhesive strength, thermomechanical studies, dielectric properties.

For citation: Pchel'nikov A.V., Pichugin A.P., Khritankov V.F., Smirnova O.E. The role of nano-additives in the formation of a strong contact layer of protective coatings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 7, pp. 45–50. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-45-50>

Металлические конструкции и оборудование в условиях сурового сибирского климата, характеризующегося большим интервалом перепада температуры от –40 до +50°C, повышенным содержанием влаги и газов, испытывают интенсивное разрушение защитных лакокрасочных покрытий во все периоды года. Резко континентальный климат Сибири формируется под воздействием воздушных масс преимущественно арктического происхождения: зима здесь долгая, с неустойчивой погодой; относительная влажность воздуха летом и зимой часто достигает 100%. Все это способствует повышению параметров коррозионной

агрессивности атмосферы, которая характеризуется продолжительным увлажнением (2020–2580 ч/г.) поверхностей пленками влаги, а также продолжительным увлажнением фазовой и адсорбционной пленками влаги, величины которых составляют соответственно 1340–1690 и 710–1430 ч/г. Усугубляющим фактором разрушения являются диффузионные взаимодействия между жидкостью и твердым телом (растворение, кристаллизация, выплывание, сушка) и твердым телом и газом (адсорбция, десорбция) [1–3].

На металлические поверхности сельскохозяйственной техники, зданий и оборудования воздействуют

факторы внешнего и природного характера: солнечная радиация, воздушные потоки, температура; осадки в виде дождя, града, тумана, снега, приводящие к образованию кислот и других агрессивных сред (газы, химические вещества, грозовые разряды, радио- и электромагнитные волны, блуждающие токи, биологические вредители, давление грунта, грунтовые воды и др.). Внутренние воздействия — это постоянные, временные, кратковременные нагрузки от собственной массы конструкций, оборудования, транспортных средств и технологические факторы: удары, вибрации, истирания, проливы жидкостей и переувлажнение, коррозионные агрессивные среды, колебания температуры, биологические вредители и др. [2–4].

Все перечисленные воздействия вызывают различные дефекты, которые могут быть разделены на две группы: внешние и внутренние.

К внутренним дефектам относятся: снижение прочностных качеств; изменение внутренней структуры; потеря эластичности, упругости; внутреннее расслаивание, растрескивание и увеличение пористости, снижение теплоизоляционных свойств; потеря электроизоляционной способности; изменение водо- и химической стойкости; потеря антисептических качеств; снижение теплостойкости; насыщение влагой, в том числе и растворами агрессивных сред. Как правило, внутренние дефекты связаны с рядом сложных процессов и превращений, происходящих в самом материале [1–4].

Внешние дефекты встречаются значительно чаще, и природа их возникновения может быть определена более четко. В основном они сводятся к следующим: трещины, пробоины, выкрашивание, обломы, вмятины, деформации, прогибы, расслоение, коробление, раковины, каверны, высолы, вздутия или набухание, коррозия поверхности и т. д. Существующие методы обследования позволяют дать полную и достаточно объективную оценку действительного состояния эксплуатируемых металлических конструкций и техники.

Все это требует создания защитных композиций с повышенной эксплуатационной стойкостью. Достижение требуемых свойств полимерных композитов связано с возникновением тех или иных структурных образований, которые характеризуются надмолекулярными структурами различного типа и тесно связаны с физико-механическими свойствами полимеров. Одним из оперативных методов улучшения качественных показателей защитных полимерсодержащих покрытий может быть введение наноразмерных добавок. Оценка качественных характеристик полимерсодержащих композитов осуществляется различными физико-химическими методами исследований, в том числе термомеханическими и диэлькометрическими испытаниями, дающими объективную информацию о свойствах материалов с различной рецептурой и добавками направленного действия [1–4].

Материалы и методы исследования

Исследование лакокрасочных покрытий на основе акриловых полимеров проводили на стальных подлож-

ках после полного высыхания и отверждения защитного покрытия. В качестве вариационных компонентов были приняты различные наноразмерные добавки, обеспечивающие получения покрытий с заданными свойствами. Фиксация физико-механических свойств защитных лакокрасочных покрытий осуществлялась по стандартным методикам. В первую очередь определялись реологические характеристики лакокрасочных составов и укрывистость, что важно с технологической точки зрения. После отверждения проверялись микротвердость и адгезионная прочность, а также объемная равновесная степень набухания [4, 7–10].

В качестве улучшающих компонентов лакокрасочных составов использовались наноразмерные добавки, которые существенно изменяют свойства различных композиционных материалов. Так, углеродные нанотрубки (УНТ) повышают диэлектрические характеристики, огнестойкость и улучшают механические свойства. Диоксид титана и оксид висмута способствуют повышению атмосферостойкости и сопротивляемости ультрафиолетовому облучению, а также повышают термостойкость. Введение оксида церия приводит к повышению огнестойкости и термостойкости. Оксид цинка способствует повышенной прочности, атмосферостойкости и сопротивляемости ультрафиолетовому облучению. Влияние добавки оксида кремния и оксида магния выражается в повышении огнестойкости, ударопрочности, твердости и химической устойчивости [7–10].

Важной характеристикой, подтверждающей способность композитов накапливать энергию, является тангенс угла диэлектрических потерь, по величине которого можно судить об антистатичности вещества при малых значениях и, наоборот, при увеличении тангенса угла диэлектрических потерь. В свою очередь, тангенс угла диэлектрических потерь не зависит от диэлектрической проницаемости. Диэлькометрия — один из неселективных количественных методов анализа, основанный на измерении электрохимических параметров вещества по диэлектрической проницаемости и производной от нее — добротности [11].

Термомеханические исследования проводились по методу измерения деформации одноосного сжатия под влиянием непрерывно действующей нагрузки в условиях нагрева образца с постоянной скоростью в интервале температуры от комнатной до 300°C. Характерная термомеханическая кривая, полученная для классических полимерных композиций, состоит из трех участков: первый — начальное повышение деформации при постоянном подъеме температуры; второй — практически неизменяемая величина деформации или незначительное изменение при повышении температуры до определенного предела, когда начинается третий этап — резкое увеличение деформации, связанное с переходом в текучее состояние всей измеряемой полимерной системы [12–15].

Доказательным подтверждением результатов термомеханических исследований является изучение микроструктуры полученных композитов, объясня-

ющее переход надмолекулярной структуры из одного вида в другой под действием добавок направленного действия. Разнообразные структурные формы и переходы состояния полимеров от глобулярного типа к более прочному фибриллярному, конечно, являются предпочтительными. Кроме того, очень важным фактором усиления полимерных материалов является преобразование простой линейной структуры в сетчатую или фибриллярную, отличающуюся большей упорядоченностью и лучшими эксплуатационными характеристиками [12, 14–17].

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе были подготовлены образцы акриловых лакокрасочных композиций с добавками наноразмерных компонентов: диоксидом титана, оксидом висмута, оксидом церия, оксидом цинка, гидроксидом магния, диоксидом кремния — для проведения термомеханических исследований. Дозировка для всех добавок варьировалась в соответствии с рекомендациями по применению. Учитывая ранее полученные результаты по исследованию углеродных нанотрубок в качестве укрепляющих добавок в полимерные композиции, данные компоненты исследовались отдельно.

На рис. 1 представлены термомеханические кривые отвержденных полимерных лакокрасочных составов с различными наноразмерными добавками. Анализ полученных кривых свидетельствует о том, что наибольшая температурная деформация присуща акриловой полимерной композиции без добавок (рис. 1, кривая 1), а точка температурного перехода в текучее состояние расположена в районе 150°C. Как следует из данного графика, все без исключения нанодобавки оказывают положительное влияние на величину деформации и термоустойчивость композиционной системы к воздействию высокой температуры, сдвигая зону температурного перехода к повышенным значениям. Однако лучшие показатели отмечены для составов с оксидом висмута и диоксидом кремния, которые характеризуются минимальными значениями деформации и лучшими показателями термоустойчивости. Добавка оксида висмута и диоксида кремния способствует дополнительному снижению деформации системы и повышению температурного перехода к состоянию текучести на 25–30°C. Однако этот переход сопровождается в большом интервале температуры при существенном увеличении деформации. Поэтому

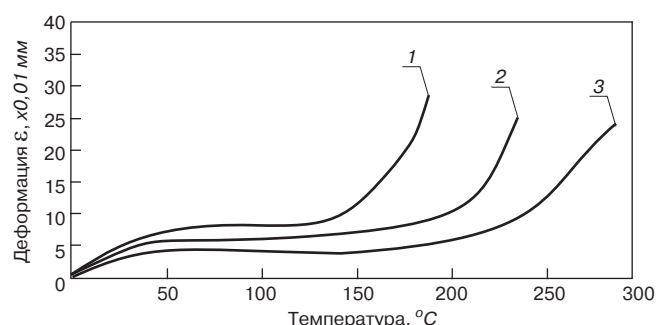


Рис. 1. Термомеханические кривые отвержденных акриловых лакокрасочных составов с наноразмерными добавками: 1 – без добавок; 2 – с добавками диоксида титана, оксида церия, оксида цинка, гидроксида магния; 3 – то же, с добавкой оксида висмута, диоксида кремния

Fig. 1. Thermomechanical curves of cured acrylic paints and varnishes with nanosized additives: 1 – without additives; 2 – with additions of titanium dioxide, cerium oxide, zinc oxide, magnesium hydroxide; 3 – the same, with the addition of bismuth oxide, silicon dioxide

в дальнейших исследованиях были использованы именно эти добавки.

Следующим этапом исследований явилось определение оптимального расхода добавок в акриловую лакокрасочную композицию. На рис. 2 приведены результаты термомеханических исследований с использованием различной дозировки оксида висмута. Параллельно из аналогичных составов определялись показатели адгезии и характер отрыва при испытаниях, что позволило представить полную картину влияния добавок на свойства защитного покрытия. Установлено, что увеличение расхода добавки оксида висмута значительно улучшает термостабильность акриловой системы. Причем с увеличением расхода от 0,5 до 1% точка температурного перехода в текучее состояние повышается на 15–25°C, а при содержании этого компонента в количестве 2,5% это увеличение составляет 25–35°C.

Таким образом, данная добавка оказывает усиливающее воздействие на термоустойчивость защитной полимерной композиции. Положительное воздействие оксида висмута проявляется также на микрофотографиях при изучении характера отрыва защитной композиции в ходе адгезионных испытаний (рис. 2). Характер разрыва от чисто адгезионного при 0,5% оксида висмута переходит в преимущественно адгезионно-когезионный при 2,5% добавки, что также сопровождается повышением адгезионной прочности с 2 до 3,5–3,7 МПа.

Наноразмерные компоненты в виде пасты из углеродных нанотрубок (УНТ) вводились в состав поли-

Основные характеристики наноразмерных добавок Main characteristics of nanoscale additives

Показатели покрытий	Составы с УНТ	Диоксид титана	Оксид висмута	Оксид церия	Оксид цинка	Гидроксид магния	Диоксид кремния
Оптимальная концентрация, мас. %	0,01–0,1	0,1–1	0,5–5	от 0,1	1–5	от 0,1	0,01–1
Оптимальная размерность, нм	1,2–50	до 100	30–50	40–80	10–80	20–100	до 60
Плотность, г/см ³	2,4–2,9	3,9–4,3	8,5–9,8	7,2–7,7	5,3–5,65	2,1–2,45	1,96–2,6
Насыпная плотность, кг/м ³	140–550	700–1000	4200–5000	1200–1300	400–450	300–600	80–320
Молярная масса, г/моль	12,01	79,87	465,96	172,11	81,408	58,35	60,08
Удельная поверхность, м ² /г	90–120	25–70	18–35	20–30	8–17	5–15	314–438

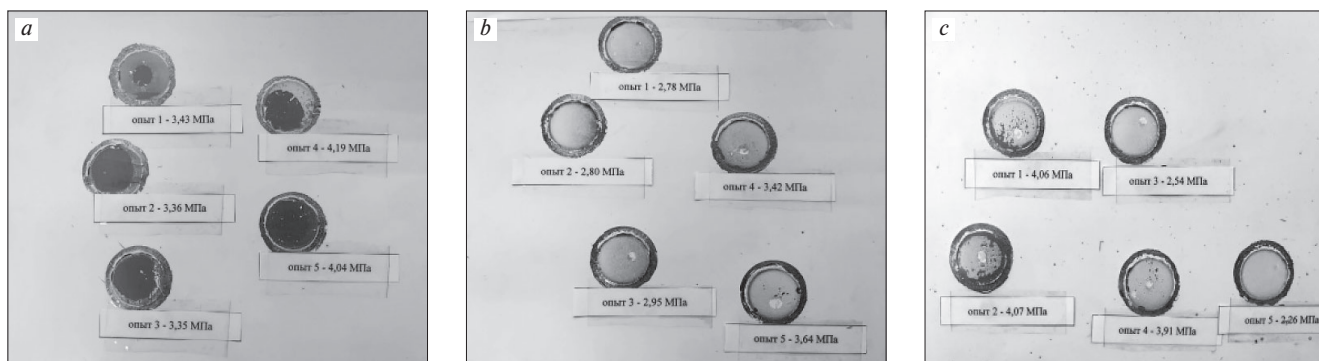


Рис. 2. Характер отрыва лакокрасочного акрилового покрытия с добавкой оксида висмута при адгезионных испытаниях: *a* – расход оксида висмута 0,5%; *b* – то же, 1%; *c* – то же, 2,5%

Fig. 1. The nature of the separation of the acrylic paint coating with the addition of bismuth oxide during adhesion tests: *a* – consumption of bismuth oxide – that 0.5%; *b* – the same, 1%; *c* – the same, 2.5%

мерной композиции в пределах от 0,01 до 0,5%. Положительное влияние наноразмерных добавок УНТ на термомеханические показатели отвержденной лакокрасочной системы проявляется уже при введении малых значений добавки (0,01–0,05%). При этом точки температурных деформаций и температурного перехода в текучее состояние под нагрузкой повышаются на 10–25°C с повышением каждой дозировки, что свидетельствует об укрепляющей роли этой добавки. Введение 0,1% раствора углеродных нанотрубок приводит к еще более значимым изменениям. Так, температурный переход в текучее состояние перемещается на 25–30°C, что является отражением усиления композита от введения данной добавки на всю полимерсодержащую композицию.

Кроме того, эти эффекты зафиксированы в виде формирования более прочной упаковки фибриллярного типа, сопровождающегося повышением физико-механических характеристик. Введение 0,1%, как и 0,5% УНТ, в состав акриловой композиции приводит к значительным изменениям параметров термомеханической кривой, переводя точки перехода в текучее состояние еще на 25–35°C. Одновременно наблюдается повышение адгезионной прочности лакокрасочного состава до 4,9–5,2 МПа. Кроме того, существенно изменяется характер отрыва защитного покрытия с переходом до 90% когезионной формы, что можно расценивать как весьма положительный эффект. Однако введение такого количества добавки приводит к резкому повышению вязкости и, как следствие, увеличению расхода лакокрасочной композиции. Также важным моментом является необходимая достаточность адгезионной прочности защитного покрытия, которая должна находиться в интервале от 3 до 4 МПа. Поэтому в целях обеспечения технологических и экономических соображений рациональное введение УНТ в акриловую композицию следует ограничить 0,1% [11–15].

Естественно, что такие характеристики защитного материала могут быть получены только при комплексном использовании различных добавок, придающих определенные свойства композиционным материалам.

Авторами были опробованы бинарные составы наноразмерных добавок, состоящие из углеродных нанотрубок и оксида висмута (рис. 3).

Лучшим сочетанием нанодобавок в акриловой защитной композиции явился состав с соотношением: оксид висмута – 1% и углеродные нанотрубки – 0,1% (рис. 5, кривая 4). Данный состав отличается повышенной температурой точки перехода в текучее состояние, что свидетельствует о термостабильности, огнестойкости и термоустойчивости. Отличается данный состав также высокими показателями адгезии к металлической поверхности (4,1–4,5 МПа). При этом вид разрыва в адгезионных испытаниях носит адгезионно-когезионный характер с соотношением в пользу когезионного от 60 до 70%. Кроме того, отмечено уменьшение деформации данного состава по сравнению с композициями с другими соотношениями нанодобавок.

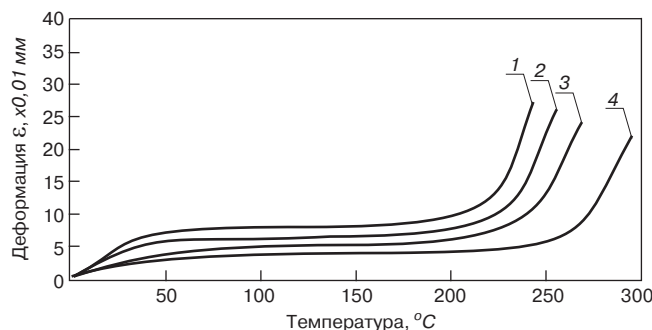


Рис. 3. Термомеханические кривые отвержденной акриловой композиции при различном содержании оксида висмута (ОВ) и углеродных нанотрубок (УНТ): 1 – ОВ – 0,5%, УНТ – 0,01%; 2 – ОВ – 0,5%, УНТ – 0,05%; 3 – ОВ – 1%, УНТ – 0,05%; 4 – ОВ – 1%, УНТ – 0,1%

Fig. 3. Thermomechanical curves of the cured acrylic composition with different content of bismuth oxide (BO) and carbon nanotubes (CNT): 1 – BO – 0.5%, CNT – 0.01%; 2 – BO – 0.5%, CNT – 0.05%; 3 – BO – 1%, CNT – 0.05%; 4 – BO – 1%, + CNT – 0.1%

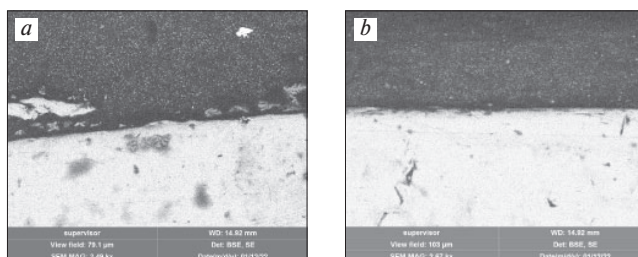


Рис. 4. Микроструктура контактной зоны защитного покрытия без нанодобавок (*a*) и с наноразмерными добавками (*b*)

Fig. 4. Microstructure of the contact zone of the protective coating without nano-additives (*a*) and with nano-sized additives (*b*)

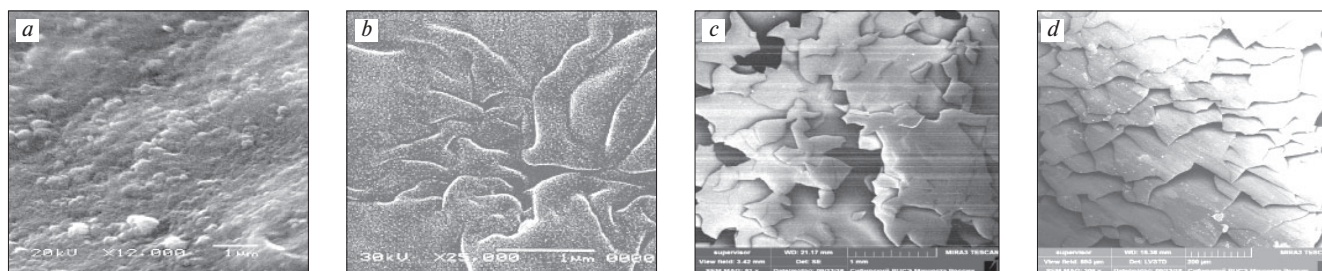


Рис. 5. Надмолекулярная структура наномодифицированного защитного акрилового покрытия: *a* – без наноразмерных добавок; *b* – с добавкой углеродных нанотрубок (УНТ) 0,01%; *c* – то же, с добавкой УНТ 0,05% и оксида висмута 0,5%; *d* – то же, с добавкой УНТ 0,1% и оксида висмута 1%
Fig. 5. Supramolecular structure of the nanomodified protective acrylic coating: *a* – without nanosized additives; *b* – with the addition of carbon nanotubes (CNT) 0.01%; *c* – the same, with the addition of CNT 0.05% and bismuth oxide 0.5%; *d* – the same, with the addition of CNT 0.1% and bismuth oxide 1%

Микроструктурные исследования контактной зоны образцов разработанных защитных покрытий с металлической подложкой с использованием растровой электронной микроскопии показали следующее. У всех образцов покрытий обнаружен тонкий поверхностный слой, характеризующий способность стекания зарядов электронов.

Различное значение величины приповерхностного слоя и времени накопления и стекания зарядов дает основания говорить об изменении данных параметров при модификации покрытия (напряженность, плотность заряда и диэлектрическая проницаемость) и, как следствие, об увеличении адгезионного взаимодействия за счет электрических сил. Модификация акриловой полимерной композиции наноразмерными добавками способствует образованию более равномерного приповерхностного слоя, что свидетельствует об увеличении адгезии покрытия по всей поверхности образца (рис. 4, 5).

При исследовании основной поверхности покрытия с помощью растровой электронной микроскопии выявлено, что с увеличением концентрации углеродных нанотрубок в лакокрасочном покрытии повышается способность стекания электронов через поверхность, что характеризует проводящие качества покрытия, а также адгезионные качества в соответствии с электрической теорией адгезии.

При модифицировании акриловой композиции нанодобавками происходит активное взаимодействие УНТ с образованием гомогенной наноструктуры по фрактальному механизму (рис. 5, *b*). В дальнейшем с введением оксида висмута наблюдается образование гетерофазных фрактальных структур, армирующих

весь композит (рис. 5, *c*). Введение оптимального количества наноразмерных добавок УНТ (0,1%) и B_2O_3 позволяет получить равномерную плотную микрармированную структуру (рис. 5, *d*). Отмечено также, что при большем содержании УНТ агрегируют, образуя дефекты структуры. Таким образом, микроструктурный анализ позволил доказать существование оптимального содержания нанодобавок и подтвердить ранее полученные другими методами исследований синергетические эффекты по усилению качественных показателей защитного акрилового композита.

Предлагаемое защитное полимерное акриловое покрытие для металлических конструкций и оборудования обладает рабочей вязкостью по вискозиметру ВЗ-4 от 40 до 70 с, что обеспечивает длительную нормальную работу стальных поверхностей в широком диапазоне требований по структуре, плотности, расходу лакокрасочной композиции и эксплуатационным показателям. Отличительными особенностями данного покрытия являются повышенные: адгезия к подложке, твердость, плотность, термоустойчивость и огнестойкость по сравнению с составами без добавок.

References

1. Pichugin A.P., Gorodetsky S.A., Bareev V.I. Comprehensive protection of agricultural facilities from corrosion damage. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 3, pp. 45–47. (In Russian).
2. Pichugin A.P., Gorodetsky S.A., Bareev V.I. Korrozionnostoykiye materialy dlya zashchity polov i inzhenernykh sistem sel'skokhozyaystvennykh zdaniy i sooruzheniy. Monografiya [Corrosion-resistant materials for the protection of floors and engineering systems of agricultural buildings and structures. Monograph]. Novosibirsk: NGAU-RAEN. 2010. 123 p.
3. Subbotin O.S., Pichugin A.P., Belan I.V. Materialy i arkhitektura maloetazhnykh zdaniy, ekspluatiruyushchikhsya v osobykh prirodnnykh usloviyakh. Monografiya [Materials and architecture of low-rise buildings operated in special natural conditions. Monograph]. Novosibirsk: NGAU-RAEN. 2012. 192 p.
4. Pichugin A.P., Khritankov V.F., Smirnova O.E., Pimenov E.G., Nikitenko K.A. Protective and finishing compositions and compositions for repair work and ensuring the durability of buildings. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2019. No. 9, pp. 109–120. (In Russian).
5. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Комплексная защита сельскохозяйственных объектов от коррозионного разрушения // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 45–47.
6. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Коррозионностойкие материалы для защиты полов и инженерных систем сельскохозяйственных зданий и сооружений: Монография. Новосибирск: НГАУ-РАЕН, 2010. 123 с.
7. Субботин О.С., Пичугин А.П., Белан И.В. Материалы и архитектура малоэтажных зданий, эксплуа-

- тирующихся в особых природных условиях: Монография. Новосибирск: НГАУ-РАЕН, 2012. 192 с.
4. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., Пименов Е.Г., Никитенко К.А. Защитно-отделочные составы и композиции для ремонтных работ и обеспечения долговечности зданий // *Известия вузов. Строительство*. 2019. № 9. С. 109–120.
5. Артамонова О.В. Синтез наномодифицирующих добавок для технологии строительных композитов: Монография. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2016. 100 с.
6. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Наномодифицирование систем твердения в структуре строительных композитов: Монография. Воронеж: Научная книга, 2016. 132 с.
7. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Банул В.В., Кудряшов А.Ю. Влияние наноразмерных добавок на адгезионную способность защитных полимерных покрытий // *Строительные материалы*. 2018. № 1–2. С. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-756-1-2-39-44>
8. Пчельников А.В. и др. Моделирование процесса и способы оценки горения защитных покрытий металлических конструкций и оборудования // *Известия вузов. Строительство*. 2020. № 6. С. 81–90.
9. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., Пименов Е.Г., Никитенко К.А. Защитно-отделочные составы и композиции для ремонтных работ и обеспечения долговечности зданий // *Известия вузов. Строительство*. 2019. № 9. С. 109–122.
10. Хританков В.Ф., Пичугин А.П., Смирнова О.Е., Шаталов А.А. Использование наноразмерных добавок в бетонах и строительных растворах для обеспечения адгезии при ремонтных работах // *Наука о Земле*. 2019. С. 131–140.
11. Пчельников А.В., Пичугин А.П., Луцик Р.В., Ткаченко С.Е. Диэлькометрический анализ эксплуатационных характеристик и процесса старения защитных покрытий // *Эксперт: теория и практика*. 2022. № 1 (16). С. 14–22.
12. Каргин В.А. Роль структурных явлений в формировании свойств полимеров. Прогресс полимерной химии. М.: Наука, 1969. С. 7–31.
13. Тейтельбаум Б.Я. Термомеханический анализ полимеров. М.: Наука, 1979. 236 с.
14. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Пчельников А.В., Смирнова О.Е. Термомеханические исследования защитно-пропиточных композиций с наноразмерными и специальными добавками // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2020. № 3. С. 53–58.
15. Хозин В.Г. Усиление эпоксидных полимеров. Казань: ПИК «Дом печати», 2004. 446 с.
16. Книгина Г.И., Тацки О.Н., Кучерова Э.А. Современные физико-химические методы исследования строительных материалов. Новосибирск, 1981. 82 с.
17. Липатов Ю.С. Межфазные явления в полимерах. Киев: Наукова думка, 1980. 260 с.
5. Artamonova O.V. Sintez nanomodifitsiruyushchikh dobavok dlya tekhnologii stroitel'nykh kompozitov: monografiya [Synthesis of nanomodifying additives for the technology of building composites: monograph]. Voronezh: Voronezh GASU. 2016. 100 p.
6. Chernyshov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodifitsirovaniye sistem tverdeniya v strukture stroitel'nykh kompozitov: monografiya. [Nanomodification of hardening systems in the structure of building composites: monograph]. Voronezh: Nauchnaya kniga. 2016. 132 p.
7. Pichugin A.P., Khritankov V.F., Banul V.V., Kudryashov A.Yu. Influence of nano-dimensional additives on adhesion ability of protective polymer coatings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2018. No. 1–2, pp. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-756-1-2-39-44> (In Russian).
8. Pchel'nikov A.V. Simulation of the process and methods for assessing the burning of protective coatings of metal structures and equipment. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2020. No. 6, pp. 81–90. (In Russian).
9. Pichugin A.P., Khritankov V.F., Smirnova O.E., Pimenov E.G., Nikitenko K.A. Protective and finishing compositions and compositions for repair work and ensuring the durability of buildings. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2019. No. 9, pp. 109–122. (In Russian).
10. Khritankov V.F., Pichugin A.P., Smirnova O.E., Shatalov A.A. The use of nanoscale additives in concretes and mortars to ensure adhesion during repair work. *Nauka o Zemle*. 2019, pp. 131–140.
11. Pchel'nikov A.V., Pichugin A.P., Lutsik R.V., Tkachenko S.E. Dielectric analysis of operational characteristics and the aging process of protective coatings. *Ekspert: teoriya i praktika*. 2022. No. 1 (16), pp. 14–22. (In Russian).
12. Kargin V.A. Rol' strukturnykh yavleniy v formirovani svoystv polimerov. Progress polimernoy khimii [The role of structural phenomena in the formation of polymer properties. Progress in polymer chemistry]. Moscow: Nauka. 1969, pp. 7–31.
13. Teitelbaum B.Ya. Termomekhanicheskiy analiz polimerov [Thermomechanical analysis of polymers]. Moscow: Nauka. 1979. 236 p.
14. Pichugin A.P., Khritankov V.F., Pchel'nikov A.V., Smirnova O.E. Thermomechanical studies of protective impregnating compositions with nanosized and special additives. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya*. 2020. No. 3, pp. 53–58. (In Russian).
15. Khozin V.G. Usileniye epoksidnykh polimerov [Reinforcing epoxy resins]. Kazan: PIK "House of Printing". 2004. 446 p.
16. Knigina G.I., Tacki O.N., Kucheroval E.A. Sovremennyye fiziko-khimicheskiye metody issledovaniya stroitel'nykh materialov [Modern physical and chemical methods for the study of building materials]. Novosibirsk, 1981. 82 p.
17. Lipatov Yu.S. Mezhfaznyye yavleniya v polimerakh [Interfacial phenomena in polymers]. Kyiv: Naukova Dumka, 1980. 260 p.

УДК699.844

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-51-56>

Н.Г. КАНЕВ^{1,3,4}, канд. физ.-мат. наук (nikolay.kanev@mail.ru);
 А.В. ПЕРЕТОКИН¹, инженер (peretok@yandex.ru), А.С. ФАДЕЕВ¹, инженер (89268339937@mail.ru);
 И.Е. ЦУКЕРНИКОВ², д-р техн. наук (3342488@mail.ru)

¹ ООО «Акустические материалы» (115054, г. Москва, ул. Новокузнецкая, 33, стр. 2)

² Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

³ АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева» (117036, г. Москва, ул. Шверника, 4)

⁴ Национальный исследовательский Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, к. 1)

Экспериментальная оценка изоляции импульсного шума легкой перегородкой

Передача импульсного шума между помещениями существенно отличается от передачи постоянного шума, что также справедливо и для звукоизолирующих способностей строительных конструкций: в общем случае импульсный шум изолируется значительно лучше постоянного, что было замечено еще в середине XX в. Однако сегодня в практической акустике этому обстоятельству не уделяется должного внимания, хотя ряд исследований показывают это отличие. В настоящей работе приводятся результаты измерений изоляции импульсного шума легкой перегородкой в современных звукомерных камерах. Проведено сопоставление полученных результатов с измерениями, полученными по стандартной методике с использованием постоянного шума.

Ключевые слова: изоляция воздушного шума, постоянный шум, импульсный шум.

Авторы выражают благодарность техническому директору ГК «Акустик Групп» А.Г. Боганику и начальнику УНИЦ «Строительные конструкции» ННГАСУ П.А. Гребневу за организационную поддержку настоящего исследования.

Для цитирования: Канев Н.Г., Перетокин А.В., Фадеев А.С., Цукерников И.Е. Экспериментальная оценка изоляции импульсного шума легкой перегородкой // *Строительные материалы*. 2022. № 7. С. 51–56. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-51-56>

N.G. KANEV^{1,3,4}, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics) (nikolay.kanev@mail.ru); A.V. PERETOKIN¹, Engineer (peretok@yandex.ru), A.S. FADEEV¹, Engineer (89268339937@mail.ru); I.E. TSUKERNIKOV², Doctor of Sciences (Engineering) (3342488@mail.ru)

¹ Acoustic Materials LLC (33, building 2, Novokuznetskaya Street, Moscow, 115054, Russian Federation)

² Research Institute of Building Physics Russian Academy Architecture and Construction sciences (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

³ Acoustic Institute named after Academician N.N. Andreev JSC (4, Shvernik Street, Moscow, 117036, Russian Federation)

⁴ National Research Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (5, building 1, 2nd Baumanskaya Street, Moscow, 105005, Russian Federation)

Experimental Evaluation of Impulse Noise Isolation by a Light Partition

The transmission of impulse noise between rooms differs significantly from the transmission of constant noise, which is also true for the soundproofing abilities of building structures - in general, impulse noise is isolated much better than constant noise, which was noticed back in the middle of the 20th century. However, today in practical acoustics this circumstance is not given due attention, although a number of studies show this difference. This paper presents the results of measurements of the insulation of impulse noise by a light partition, carried out in modern sound measuring chambers. The results obtained are compared with the measurements carried out according to the standard technique using constant noise.

Keywords: air noise isolation, constant noise, impulse noise.

The authors express their gratitude to Boganik A.G., Technical Director of the Acoustic Group GK, and Grebnev P.A., Head of the UNIC "Building structures", NNGASU for organizational support of this study.

For citation: Kanev N.G., Peretokin A.V., Fadeev A.S., Tsukernikov I.E. Experimental evaluation of impulse noise isolation by a light partition. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 7, pp. 51–56. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-51-56>

Авторами были проведены работы по исследованию вопроса в натуральных условиях (действующая стрелковая галерея) и малых звукомерных камерах, где отличие передачи звука от источника постоянного шума и источника импульсного шума было подтверждено, а также зафиксировано количественно. Кроме того, в условиях малых звукомерных камер было установлено, что лабораторный эксперимент целесообразно проводить в условиях пониженной реверберации звукомерных камер: внутренние поверхности камеры низкого уровня рекомендовано облицевать

звукопоглощающими обшивками для снижения естественной гулкости, аналогичная акустическая отделка камеры высокого уровня желательна.

В настоящее время в строительной акустике существуют различные международные, национальные и отраслевые стандарты, а также теоретические методы расчета, регламентирующие вопросы измерения, оценки и снижения шумового воздействия на человека. Большинство таких подходов рассматривают источники постоянного или квазипостоянного шума, интенсивность которого постоянна в течение

продолжительного временного интервала или медленно меняется во времени [1]. Вышеупомянутые методы расчета звукоизоляции и остаточного шума, проникающего из одного помещения в другое, являются общепринятыми, не вызывают обширных дискуссий в научном сообществе и характеризуются хорошим совпадением расчетных значений акустических параметров с результатами, полученными в натурных и лабораторных условиях. Хотя более полвека назад автор работы [2] обратил внимание на отличия в результатах измерений звукоизоляции перегородок при использовании постоянного и непостоянного шумового воздействия. Более того, он предложил для характеристики звукоизоляции два разных параметра: статические и динамические потери передачи. Однако данные параметры не нашли широкого применения в строительной акустике.

Известно, что воздействие импульсного шума более негативно влияет на человека [3] и для такого шума установлены специальные требования в жилых и общественных помещениях, на рабочих местах [4]. Если шум проникает через строительные конструкции, то необходимо учитывать особенности прохождения импульсного шума, которое, как показано недавними экспериментальными исследованиями в натурных [4] и лабораторных [5] условиях, имеет существенные отличия от прохождения постоянного шума.

Лабораторный эксперимент [5] в малых звукомерных камерах, ставший подготовительной работой к настоящему исследованию, показал, что отделка двух измерительных камер, между которыми проходит звук, существенно влияет на результаты измерений. В гулком помещении с источником шума импульсный сигнал растягивается во времени из-за реверберации, что делает его близким к постоянному шуму; аналогичное влияние оказывает реверберация и в приемном помещении. Модельный эксперимент [5] позволил сформулировать следующие требования к проведению измерений:

1. Необходимо минимизировать время реверберации в камере с источником шума с целью обеспечения шумового воздействия, наибольшим образом соответствующего импульсному характеру.
2. Желательно, но не обязательно снижение времени реверберации в приемной камере для обеспечения равномерного во времени затухания звука.

Лабораторные акустические измерения

Схема проведения акустических измерений. Акустические измерения проведены в действующем комплексе средних реверберационных камер Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета (ННГАСУ).

Камера высокого уровня (далее — КВУ) имеет внутренний объем 150 м³, камера низкого уровня (далее — КНУ) имеет внутренний объем 66 м³. Схема взаимного расположения КВУ и КНУ с отметкой точек расположения источника S₁–S₃ и микрофонов

X₁–X₃, R₁, R₂ приведена на рис. 1. При расположении источника звука в точке S_i измерения проводились одновременно в точках X_i, R₁ и R₂, i = 1, 2, 3.

Площадь проема между КВУ и КНУ составляет 2,4 м². В проем установлена перегородка, состоящая из двух листов гипсоволокна толщиной 12,5 мм на расстоянии 100 мм друг от друга. Зазор между листами гипсоволокна заполнен стекловолоконной плитой объемной плотностью 50 кг/м³.

В качестве источника постоянного шума в КВУ использовалась штатная акустическая система, включающая шесть громкоговорителей. В качестве источника импульсного шума использовались шумовые петарды, создающие громкий однократный хлопок.

В КВУ и КНУ поверхности стен и пола были покрыты звукопоглощающими плитами из стекловолокна объемной плотностью около 30 кг/м³, толщиной от 50 до 200 мм, расположенными в шахматном порядке.

Измерения уровней звукового давления (УЗД) и уровней звука (УЗ) выполнены в КВУ и КНУ одновременно тремя шумомерами: в КВУ применен шумомер-виброметр — анализатор спектра Экофизика-110А в комплектации с предусилителем для измерений высоких уровней шума Р200-ВУ и микрофонным капсюлем МИК-ВУ. В КНУ измерения УЗД проведены парой шумомеров-виброметров — анализаторов спектра Экофизика-110А в базовой комплектации.

Измеряемые параметры — УЗД в октавных полосах частот и УЗ с частотной коррекцией «А» с временной характеристикой Slow. Шумовые характеристики выстрелов зафиксированы в режиме «запись сигнала» и обработаны в программном комплексе «SIGNAL+».

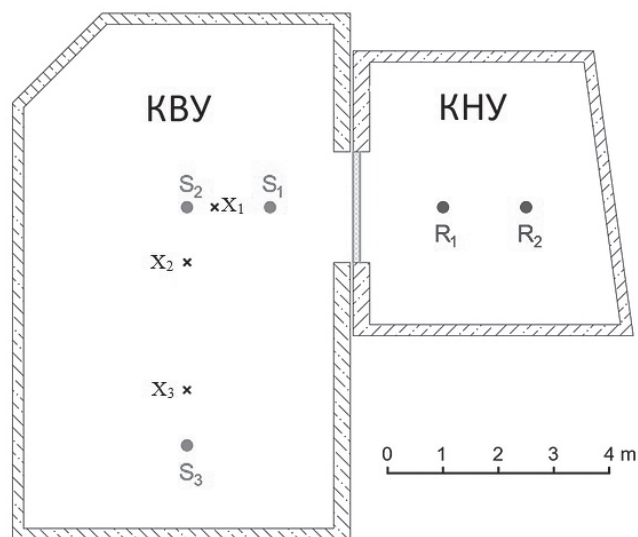


Рис. 1. Измерительные камеры ННГАСУ: S₁–S₃ — позиции источника звука в КВУ; X₁–X₃ — позиции микрофона в КВУ при расположении источника звука в точках S₁–S₃ соответственно; R₁, R₂ — позиции приемника звука в КНУ. Высота установки источников и приемников звука составляет 1200 мм от поверхности пола

Fig. 1. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering measuring chambers: S₁–S₃ — positions of the sound source in the high-level chamber; X₁–X₃ — positions of the microphone in the high-level chamber when the sound source is located at points S₁–S₃, respectively; R₁, R₂ — the positions of the sound receiver in the low-level chamber. The installation height of sound sources and receivers is 1200 mm from the floor surface



Рис. 2. Фотофиксация эксперимента с шумовой петардой в КВУ

Fig. 2. Photofixation of the experiment with a noise firecracker in the high-level chamber

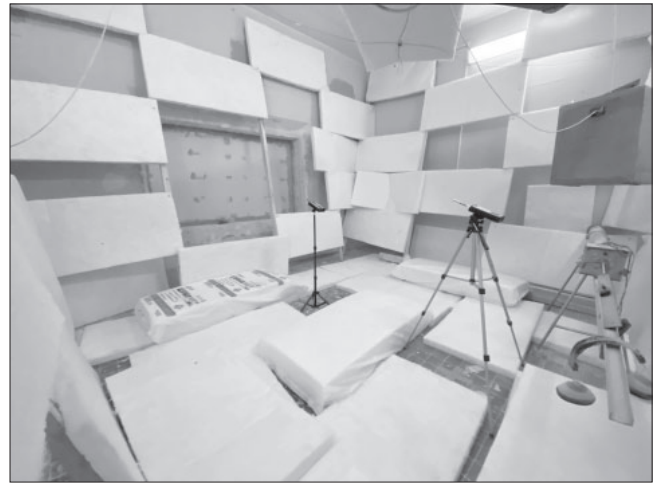


Рис. 3. Фотофиксация измерений уровней шума в КНУ

Fig. 3. Photo fixation of measurements of noise levels in the low-level chamber

Таблица 1
Table 1

Время реверберации в измерительных камерах
Reverberation time in measuring chambers

Измерительная камера	Время реверберации, с, в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц							
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
КВУ	0,49	0,61	0,43	0,3	0,26	0,24	0,24	0,23
КНУ	0,74	0,58	0,37	0,19	0,14	0,13	0,14	0,12

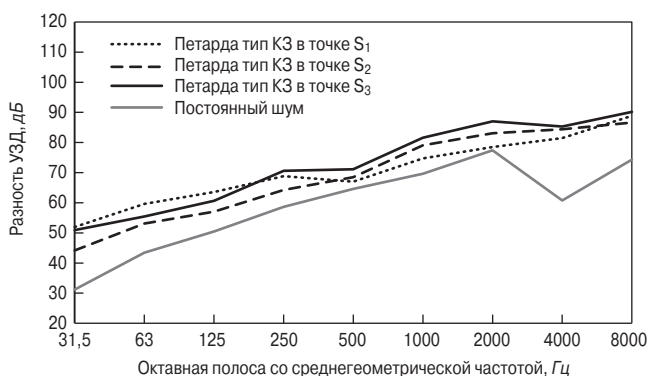


Рис. 4. Разность УЗД между точками S_1 – S_3 в КВУ и точкой R_1 в КНУ для петард К3

Fig. 4. The difference in sound pressure levels between points S_1 – S_3 in the high-level chamber and point R_1 in the low-level chamber for firecrackers K3

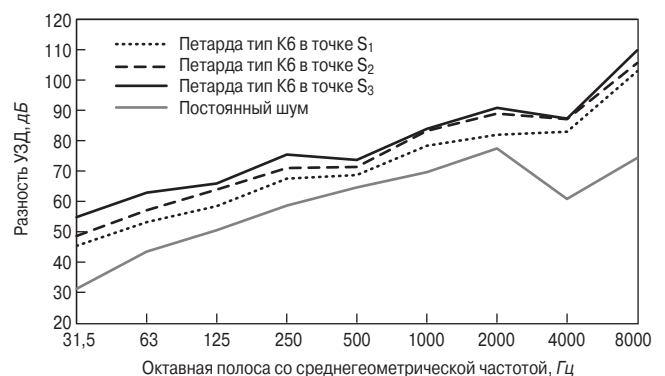


Рис. 5. Разность УЗД между точками S_1 – S_3 в КВУ и точкой R_1 в КНУ для петард К6

Fig. 5. The difference in sound pressure levels between points S_1 – S_3 in the high-level chamber and point R_1 in the low-level chamber for firecrackers K6

Результаты измерений акустических параметров

Время реверберации в КВУ и КНУ измерено согласно [7, 8] на штатной акустической системе методом прерываемого шума. В табл. 1 приведены измеренные значения времени реверберации.

УЗД и УЗ импульсного источника шума. В качестве источника импульсного шума использовались шумовые петарды двух типов: «Корсар 3» (далее К3) и «Корсар 6» (далее К6). Для каждого положения источника проводилось по два взрыва петарды каждого типа. В табл. 2 приведены результаты измерений максимальных УЗД и УЗ. Отметим, что УЗ на расстоянии 1 м от петарды К6 в среднем примерно на 14,7 дБА выше, чем от петарды К3.

УЗД и УЗ источника постоянного шума. Измерения изоляции воздушного шума выполнены в соответствии с [7, 8] на штатной акустической системе КВУ, результаты приведены в табл. 3.

Анализ полученных результатов

С целью наглядности и упрощения интерпретации полученных результатов далее рассматривается не изоляция воздушного шума между помещениями, как это предусмотрено [1, 7, 8], а перепад (разность) УЗД между КВУ и КНУ.

Из значений табл. 2 следует, что разброс максимальных уровней от взрывов петард одного типа составляет около 6 дБА. Далее рассматриваются значения

Таблица 2
Table 2

Измеренные спектры шумовых петард
Measured spectra of noise firecrackers

Событие	Тип петарды	Положение источника	Положение приемника	Максимальный УЗД при измерении на временной характеристике Slow, дБ, в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц									Максималь- ный УЗ, дБА
				31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	K3	S ₁	X ₁	113,3	113,6	114,1	111,5	109,3	114,1	114,4	114	110	120,3
			R ₁	61,5	54,9	52,4	46	42,7	40,3	37,4	32,6	22,9	46
			R ₂	59,8	54,1	50,8	43,9	41	35,2	30,2	28,5	19,8	42,7
2	K3		X ₁	114,5	116,2	118,2	118,2	110,2	115,9	116,9	114,1	112,1	122,2
			R ₁	62,4	55,6	52,8	46	42,8	40,3	36,9	32,6	21,5	46
			R ₂	60,6	54,8	51,2	44	41	35,2	30,3	28,7	20	42,8
3	K6		X ₁	130,7	130,9	130,3	134	131,8	131,6	128,4	124,7	133,1	137,3
			R ₁	84,5	76,4	72,8	64,6	61	49	43,3	38,6	27,6	62,3
			R ₂	82,5	75,4	71,1	62,7	58,4	44,8	36,9	34,9	26	60,2
4	K6		X ₁	125,9	126,5	130,3	128	124,9	122,6	122,3	118,4	129	131,4
			R ₁	81,4	74,7	71	62,4	58,3	48,5	43,5	38,6	28,8	60,3
			R ₂	79,5	73,7	69,2	59,5	56,2	45,1	35,7	34,4	24,9	58
5	K3	X ₂	92,1	99,8	92,1	99,5	101,6	107,1	109,2	107,9	96,8	114	
		R ₁	54,3	53	39,6	41	33,3	28,5	26,9	23,6	15,6	37,1	
		R ₂	59,8	54,1	50,8	43,9	41	35,2	30,2	28,5	19,8	42,7	
6	K3	X ₂	111	112,4	106,8	108,5	106,5	112,4	113,3	111,4	108,5	118,6	
		R ₁	60,4	53	45,2	38,5	37,8	32,9	29,4	26,9	16,4	39,5	
		R ₂	58,3	51,8	44,8	37,3	34	29	24,5	23,3	16,4	36,6	
7	K6	X ₂	131,1	129,5	130,2	130,6	128,4	128,1	124,6	120,6	129,3	133,7	
		R ₁	80,7	71,9	64,1	57,4	54,7	43	34	32,4	20,6	55,4	
		R ₂	78,5	70,4	63,1	56,2	50,6	40,6	29,4	28,9	19,5	53,1	
8	K6	X ₂	125,9	127,6	124,8	125,5	123	123,3	121	117,2	122,2	128,6	
		R ₁	79,1	71,1	63,1	56,7	54	41,9	33,7	31,2	19,8	54,6	
		R ₂	76,8	69,8	62,2	55,4	49,8	38,6	28,3	28	19,4	52,3	
9	K3	S ₃	X ₃	106	108,2	105,1	104,9	105,6	110,3	112,1	111,6	105,9	117,4
			R ₁	51	47,2	41,4	32,5	33,3	27,9	24,8	24,9	15,2	35
			R ₂	49	46,1	38,8	33,1	28,4	24,1	20,8	21,1	15,6	31,8
10	K3		X ₃	94	92,5	93	96,6	98,4	104	108	105,5	104,6	112,5
			R ₁	47,2	42,6	35,4	27,8	28,5	23,2	21,2	21,6	15	30,6
			R ₂	45,3	41,8	33,2	28,2	23,7	20	16,8	18,8	15,3	27,6
11	K6		X ₃	128,2	132,9	128	131,2	128,3	128,6	125,1	121,6	130,2	134,3
			R ₁	74,9	70,9	64,6	54,8	54,8	43,7	34,5	34,4	20,1	55
			R ₂	72,7	69,4	63	54,6	49,1	40,3	29,2	30	18,9	52,1
12	K6		X ₃	127,8	131,1	129,4	125,2	125,3	124,9	123,3	118,7	128	131,5
			R ₁	71,5	67,4	61	50,7	51,5	42	32,2	31,4	18,5	51,7
			R ₂	69,4	66,1	59,4	51,2	45,6	38,2	27,4	26,4	17,6	48,7

УЗД, усредненные по двум взрывам. На рис. 4–7 приведены разности УЗД между КВУ и КНУ для различных типов и положений источника и приемника шума.

Для сравнения передачи постоянного и импульсного шумов на рис. 8 приведены разности передачи импульсного шума по всем измерениям петардами и передачи постоянного шума для диапазона 31,5–2000 Гц.

Представляет интерес проведение аналогичных исследований для ограждений другого устройства,

широко используемых в строительстве, в первую очередь для тяжелых сплошных конструкций и легких однослойных и многослойных конструкций из поризованных материалов.

Заключение

Проведена экспериментальная оценка изоляции импульсного шума легкой перегородкой в лабораторных условиях. В качестве источника импульсного шума применялись шумовые петарды. Также вы-

Таблица 3
Table 3Измеренные спектры источника постоянного шума
Measured spectra of a constant noise source

Помещение	УЗД, дБ, в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц									УЗ, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
КВУ	82,3	85,7	89,1	92,4	93,8	94,4	92	91	85,3	99,1
КНУ	51,1	42,3	38,6	33,7	29,2	24,8	14,6	30,2	11	34,2
КНУ (фоновый шум)	37	31	18,8	15,5	8,1	8,6	10,9	13,1	15	19,4

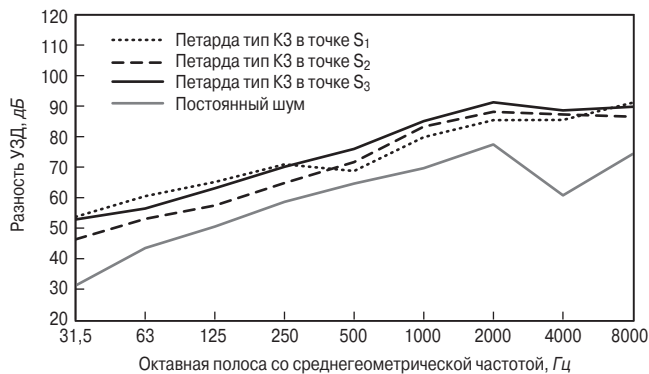
Рис. 6. Разность УЗД между точками S_1 – S_3 в КВУ и точкой R_2 в КНУ для петард К3

Fig. 6. The difference in sound pressure levels between points S_1 – S_3 in the high-level chamber and point R_2 in the low-level chamber for firecrackers K3

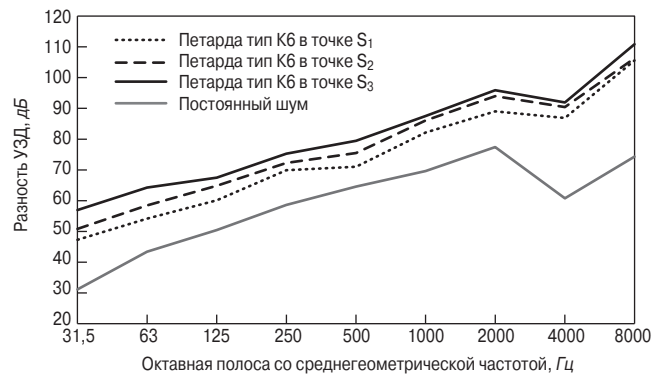
Рис. 7. Разность УЗД между точками S_1 – S_3 в КВУ и точкой R_2 в КНУ для петард К6

Fig. 7. The difference in sound pressure levels between points S_1 – S_3 in the high-level chamber and point R_2 in the low-level chamber for firecrackers K6

полнены измерения изоляции перегородки с использованием источника постоянного шума, что предполагается стандартными методиками [7, 8]. Отличие в передаче шумов разного типа наблюдается во всем частотном диапазоне и составляет не менее 2 дБ, причем на низких частотах это отличие максимально и достигает почти 26 дБ. При этом разброс полученных значений на рис. 8 достаточно большой: максимальные значения отличаются от минимальных на 10 дБ и более. Очевидно, что разброс связан с расположением точек излучения и приема, а также с интенсивностью импульсов, охватывающей широкий диапазон значений (УЗ на расстоянии 1 м имеет значения от 112,5 до 137,3 дБА). Таким образом, усреднение по всем измерениям дает интегральную оценку передачи импульсного шума из помещения в помещение.

Также отметим любопытный и несколько неожиданный результат. Провал в частотной характеристике звукоизоляции на граничной частоте (в данном случае 3040 Гц в соответствии с [9]), типичный для перегородок из листовых материалов при измерении стандартными методами, практически не проявляется

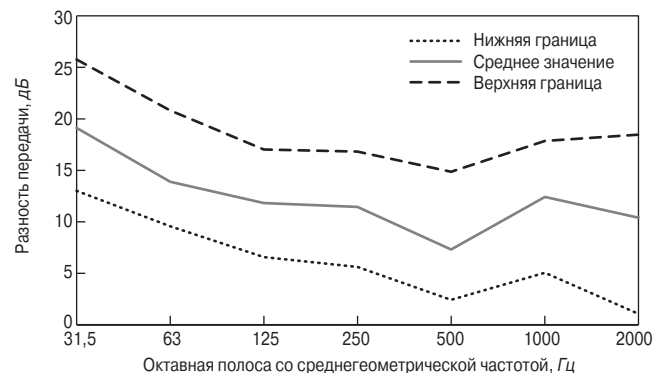


Рис. 8. Разность передачи импульсного и постоянного шумов перегородкой для импульсных источников

Fig. 8. The difference between the transmission of impulse and constant noise by a partition for impulse sources

ся при прохождении импульсного шума для менее громких петард К3 и менее выражен для более громких петард К6. Качественно это можно объяснить тем, что кратковременное воздействие не успевает в полной мере возбудить колебания перегородки, которые интенсивно излучают звук в приемное помещение на частоте волнового совпадения.

Список литературы

- ГОСТ 23337–2014. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий. М.: Стандартинформ, 2014.

References

- GOST 23337–2014. Methods for measuring noise in the residential area and in the premises of residential and public buildings. Moscow: Standartinform, 2014. (In Russian).

2. Raes A.C. Static and dynamic transmission losses of partitions. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1963. Vol. 35. No. 8, pp. 1178–1182.
3. Суворов Г.А., Лихницкий А.М. Импульсный шум и его влияние на организм человека. Л.: Медицина, 1975. 207 с.
4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
5. Канев Н.Г., Фадеев А.С., Цукерников И.Е. Оценка звукоизоляции строительными конструкциями интенсивных источников импульсного шума в натуральных условиях // *Строительные материалы*. 2021. № 6. С. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-792-6-25-29>
6. Канев Н.Г., Фадеев А.С. Изоляция импульсного шума строительными конструкциями: лабораторный эксперимент. *Сборник трудов XXXIV сессии Российского акустического общества*. Москва, 14–18 февраля 2022 г. С. 528–537.
7. ГОСТ Р ИСО 10140-2–2012. Акустика. Лабораторные измерения звукоизоляции элементов зданий. Ч. 2. Измерение звукоизоляции воздушного шума. М.: Стандартинформ, 2019.
8. ГОСТ 27296–2012. Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций. М.: Стандартинформ, 2014.
9. СП 275.1325800.2016. Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. М.: Стандартинформ, 2017.
2. Raes A.C. Static and dynamic transmission losses of partitions. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1963. Vol. 35. No. 8, pp. 1178–1182.
3. Suvorov G.A., Likhnitsky A.M. Impul'snyy shum i yego vliyaniye na organizm cheloveka [Impulse noise and its effect on the human body]. Leningrad: Medicine. 1975. 207 p.
4. SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. (In Russian).
5. Kanev N.G., Fadeev A.S., Tsukernikov I.E. Evaluation of sound insulation of intense sources of pulsed noise by building structures in natural conditions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 6, pp. 25–29. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-792-6-25-29>
6. Kanev N.G., Fadeev A.S. Isolation of impulse noise by building structures: laboratory experiment. *Proceedings of the XXXIV session of the Russian Acoustic Society*. Moscow, February 14–18, 2022, pp. 528–537. (In Russian).
7. GOST R ISO 10140-2–2012. Acoustics. Laboratory measurements of sound insulation of building elements. Part 2. Airborne sound insulation measurement. Moscow: Standartinform, 2019. (In Russian).
8. GOST 27296–2012. Buildings and constructions. Methods for measuring the sound insulation of building envelopes. Moscow: Standartinform, 2014. (In Russian).
9. SP 275.1325800.2016. Enclosing structures for residential and public buildings. Moscow: Standartinform, 2017. (In Russian).

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

УДК 698.3

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-57-62>О.А. ЛАРИН¹, канд. техн. наук;А.Ю. КАШУРКИН^{1,2}, инженер (leontiii@mail.ru);Н.В. МИТРОФАНОВА¹, инженер (MNB577@yandex.ru),Е.В. ФЕДЧЕНКО¹, инженер (fedchenko16@mail.ru)¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Исследования устойчивости к эксплуатационным воздействиям комплектов для структурного остекления фасадов

Представлены результаты проведенных испытаний по определению физико-механических показателей образца-шва герметика при растяжении и при сдвиге до начала климатических воздействий и после, а также методика обработки результатов таких испытаний. Проведенная работа позволила установить порядок циклов климатических воздействий в лабораторных условиях на образцы-швы, а также определить основные контролируемые параметры, характеризующие структурные герметики, – прочность при растяжении и прочность при сдвиге до и после цикла климатических воздействий. Сравнение исходных показателей с показателями после искусственных климатических воздействий позволило определить стойкость силиконовых герметиков к комплексу климатических воздействий в зависимости от изменения одного или нескольких показателей их свойств (физико-механических, внешнего вида и т. п.). В результате работы был определен перечень основных методов испытаний для подтверждения устойчивости комплектов для структурного остекления фасадов и крыш с применением силиконовых герметиков в комбинациях стекло–стекло и стекло–алюминий к эксплуатационным воздействиям в климатических условиях Российской Федерации, а также предложена методика обработки результатов таких испытаний. Результаты данного научного исследования могут быть учтены при разработке нормативно-технических документов, отвечающих за контроль качества структурных герметиков, применяемых при создании наружных светопрозрачных конструкций, а также при определении сроков проведения капитальных ремонтов и, следовательно, сроков окупаемости тех или иных инновационных решений.

Ключевые слова: структурное остекление, силиконовый герметик, прочность при растяжении и при сдвиге, климатические испытания.

Работа была проведена под непосредственным научным руководством Олега Александровича Ларина. Он ушел из жизни в декабре 2021 г.

Для цитирования: Ларин О.А., Кашуркин А.Ю., Митрофанова Н.В., Федченко Е.В. Исследования устойчивости к эксплуатационным воздействиям комплектов для структурного остекления фасадов // *Строительные материалы*. 2022. № 7. С. 57–62. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-57-62>

О.А. ЛАРИН¹, Candidate of Sciences (Engineering); A.Yu. KASHURKIN^{1,2}, Engineer (leontiii@mail.ru);N.V. MITROFANOVA¹, Engineer (MNB577@yandex.ru), E.V. FEDCHENKO¹, Engineer (fedchenko16@mail.ru)¹ Research Institute of Building Physics Russian Academy Architecture and Construction sciences

(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

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

Investigation of the Resistance to Operational Impacts of Sets for Structural Glazing of Facades

The article presents the results of the tests carried out to determine the physical and mechanical properties of the sealant joint specimen in tension and shear before and after the onset of climatic influences, as well as a method for processing the results of such tests. The work carried out made it possible to establish the order of cycles of climatic influences in laboratory conditions on samples-seams, as well as to determine the main controlled parameters characterizing structural sealants – tensile strength and shear strength before and after a cycle of climatic influences. Comparison of the initial indicators with those after artificial climatic influences made it possible to determine the resistance of silicone sealants to a complex of climatic influences, depending on the change in one or more indicators of their properties (physical and mechanical, appearance, etc.). As a result of the work, a list of the main test methods was determined to confirm the stability of sets for structural glazing of facades and roofs using silicone sealants in glass-glass and glass-aluminum combinations to operational impacts in the climatic conditions of the Russian Federation, and a method for processing the results of such tests was proposed. The results of this scientific research can be taken into account when developing regulatory and technical documents responsible for quality control of structural sealants used in the creation of external translucent structures, and also allow determining the timing of major repairs and, consequently, the payback period for certain innovative solutions.

Keywords: structural glazing, silicone sealant, tensile and shear strength, environmental testing.

The work was carried out under the direct scientific supervision of Oleg A. Larin. He passed away in December 2021.

For citation: Larin O.A., Kashurkin A.Yu., Mitrofanova N.V., Fedchenko E.V. Investigation of the resistance to operational impacts of sets for structural glazing of facades. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 7, pp. 57–62. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-57-62>

В научно-исследовательской лаборатории строительных материалов, изделий и конструкций (НИИСФ РААСН – Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук) был проведен анализ отечественной и зарубежной научно-технической [1–16], нормативной и методической документации. По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что не существует методик, конкретно предназначенных для испытаний комплектов структурных силиконовых герметиков, которые применяются в структурном остеклении и стеклопакетах в качестве вторичной герметизации с учетом устойчивости к эксплуатационным (климатическим) воздействиям [4, 5, 9, 12, 14]. Поэтому было принято решение о разработке оригинальной методики проведения таких испытаний, которая должна базироваться на отдельных положениях ЕТАГ 002 и ГОСТ Р 59523–2021 «Материалы строительные герметизирующие отверждающиеся. Общие технические условия».

В работе были учтены контролируемые параметры, характеризующие структурные герметики (ГОСТ 25621–83 «Материалы и изделия полимерные строительные герметизирующие и уплотняющие. Классификация и общие технические требования»), – прочность при растяжении и прочность при сдвиге (до и после цикла климатических воздействий). Циклы климатических воздействий включали: одновременное воздействие тепла и влаги; воздействие отрицательной температуры; воздействие ультрафиолетового излучения в диапазоне волн, приближенном к естественному дневному свету (ISO 11431:2002). Также были проведены исследования: предварительные физико-механические и прочностные испытания образцов (узловых соединений) (ГОСТ 32998.4–2014 «Стеклопакеты клееные. Методы определения физических характеристик герметизирующих слоев»), испытания фрагментов светопрозрачных конструкций с применением строительных герметиков (ISO 11431:2002) и ускоренные испытания образцов-фрагментов на стойкость к воздействию искусственных климатических факторов (ГОСТ 9.401–2018 «Единая система защиты от корро-



Рис. 1. Фторопластовые формы для изготовления образцов-швов
Fig. 1. Fluoroplastic molds for the manufacture of seam samples

зии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов»). В испытаниях использовались силиконовые двухкомпонентные герметики типа G от двух различных производителей (ГОСТ Р 57400–2017 «Клеи и герметики силиконовые. Классификация»). Отобранные образцы материалов предварительно выдерживали в заводской упаковке в течение 24 ч при температуре $23 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $50 \pm 10\%$ (стандартные условия). Изготовление образцов и сами испытания проводили при температуре $23 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $50 \pm 10\%$. Двухкомпонентный герметик был в комплекте. Соотношение компонентов при смешивании было установлено согласно указаниям фирмы-производителя. До климатических испытаний образцов были проведены испытания материалов по определению технологических и эксплуатационных показателей представленных видов силиконовых герметиков (контрольные тесты). В ходе анализа работы узлов (фрагментов) структурного остекления фасадов и крыш (наклонных, вертикальных и горизонтальных с применением строительных герметиков) установлено, что основными механическими характеристиками герметиков являются напряжение, растяжение и сдвиговое напряжение. Определение эксплуатационных показателей выполняли на образцах-швах герметика. Для



Рис. 2. Образец-шов стекло–стекло для проведения испытаний на растяжение
Fig. 2. Specimen-seam glass–glass for tensile testing

Таблица 1
Table 1Механические показатели герметиков
для структурного остекления
Mechanical performance of sealants for structural glazing

Показатель	Скорость растяжения	Характер разрушения
Прочность при растяжении, Н/мм ² , при температуре 23°C	5 мм/мин	Когезионный или адгезионный
Прочность при сдвиге, Н/мм ² , при температуре 23°C	5 мм/мин	Когезионный или адгезионный

изготовления образцов использовались фторопластовые формы (рис. 1), не имеющие сцепления с герметиком. Рабочие поверхности пластин (стекло или алюминий), соприкасающиеся с герметиком, обезжиривали специальными составами, рекомендованными фирмами-производителями. На поверхности образцов отсутствовали трещины и сколы.

Образец-шов для испытаний на растяжение (рис. 2, а, б, с) представлял собой две пластины из стекла (50×50×4 мм), между которыми расположен шов герметика (50×11×12 мм). Образец-шов для испытаний на сдвиг представлял собой две пластины из стекла (50×50×4 мм) и одной центральной пластины из стекла или алюминия (50×70×6 мм). Между образцами расположены два шва герметика (50×11×12 мм).

На рис. 3 представлен образец-шов стекло–стекло–стекло для проведения испытаний на сдвиг. На рис. 4 представлен образец-шов стекло–алюминий–стекло для проведения испытаний на сдвиг.

Через 48 ч из подготовленных образцов-швов фторопластовые формы удалялись. Изготовленные образцы перед проведением испытаний отверждались при температуре 23±2°C и относительной влажности воздуха 50±5% (стандартные условия) в течение 28 сут. Всего было изготовлено 20 образцов для проведения испытаний начальной механической прочности и 10 образцов для проведения механических испытаний после циклов климатических воздействий (искусственного старения). Таким образом, для каждого типа герметика было изготовлено по 30 образцов для испытаний на растяжение и 30 образцов для проведения испытаний на сдвиг. Определение прочности при растяжении (ISO 8340:2005) и прочности при сдвиге (ГОСТ Р 57834–2017 «Композиты полимерные. Метод определения прочности при сдвиге клеевого соединения») проводили при температуре +23°C.

Один цикл климатических воздействий включал в себя последовательность испытаний. Образцы выдерживали в камере тепла: сначала при температуре 85±2°C и относительной влажности воздуха 95±5% в течение 4 ч, затем в течение 2 ч при выключенном обогреве. Из камеры тепла образцы переносили в камеру холода и выдерживали при температуре

–55±3°C в течение 6 ч, после чего выдерживали на воздухе при температуре в интервале от +15 до +30°C и относительной влажности воздуха 75±5% в течение 2 ч. Далее образцы помещали в испытательную световую камеру (ультрафиолет) и выдерживали в ней 8 ч, после чего выдерживали на воздухе при температуре в интервале от +15 до +30°C и относительной влажности воздуха 75±5% в течение 2 ч. Было проведено 15 циклов климатических воздействий. Продолжительность перерыва не более 48 ч, при котором образцы извлекали из камеры и хранили как контрольные. Испытания проводили в два этапа. Начальную механическую прочность определяли на образцах, подготовленных следующим образом: пять тестируемых образцов были выдержаны при температуре –55°C; десять тестируемых образцов были выдержаны при температуре +23°C; пять тестируемых образцов были выдержаны при температуре +85°C.

Тестируемые образцы были подвергнуты испытаниям по показателям, приведенным в табл. 1.

После пятнадцати циклов климатических воздействий проводились механические испытания герметиков – на прочность при растяжении (ISO 8340:2005) и на прочность при сдвиге (ГОСТ Р 57834–2017) при температуре +23°C. Для определения максимальной прочности при растяжении использовалось специальное приспособление.

На рис. 5 представлено приспособление к разрывной машине для испытания на растяжение образца шва герметика. Испытания проводились при темпе-

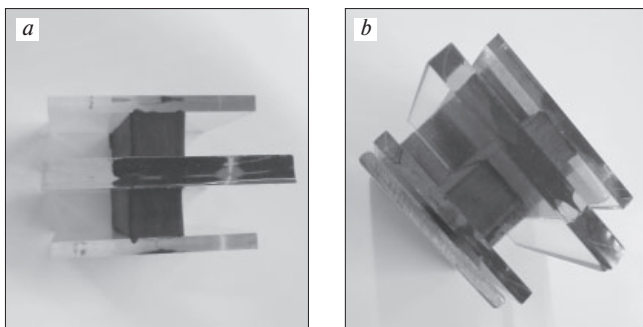


Рис. 3. Образец-шов стекло–стекло–стекло для проведения испытаний на сдвиг: а – образец-шов; б – образец-шов установлен в приспособление для испытаний на сдвиг

Fig. 3. Specimen-seam glass–glass–glass for testing: а – specimen-seam; б – specimen-seam is installed in a shear test fixture

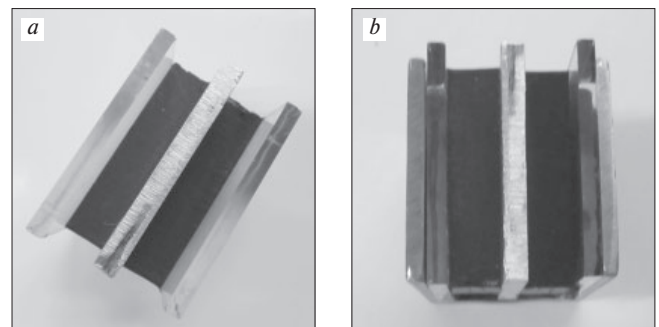


Рис. 4. Образец-шов стекло–алюминий–стекло для проведения испытаний на сдвиг: а – образец-шов; б – образец-шов установлен в приспособление для испытаний на сдвиг

Fig. 4. Specimen-seam glass–aluminum–glass weld specimen for shear testing: а – specimen-seam; б – the specimen-seam is installed in the fixture for shear testing

ратуре $23 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $50 \pm 5\%$ (стандартные условия).

Характер разрыва образца фиксировали путем визуального осмотра после извлечения его из зажимов разрывной машины: когезионный — разрушение по герметику; адгезионный — разрушение по границе герметик—стекло; смешанный — разрушение частично по герметику, частично по границе герметик—стекло (ISO 9046:2001; ISO 11431:2002). Образцы-швы, установленные в зажимы разрывной машины, растягивали со скоростью $V=5$ мм/мин до момента разрушения и определяли усилие $F_{\max}$. Фиксировали изменения в теле герметика или отслоение от подложки (стекло). Прочность при растяжении определяли по следующей формуле (ISO 8340:2005):

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{L \cdot B}.$$

За результат испытания принимали среднее арифметическое значение всех определений.

На рис. 6 представлен образец-шов герметика во время проведения испытаний на растяжение.

Для определения прочности при сдвиге использовалась разрывная машина со специальным приспособлением, позволяющим осуществлять сдвиг одной (центральной) пластины относительно двух других (неподвижных). Испытания проводились при температуре $23 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $50 \pm 5\%$ (стандартные условия). К центральной пластине образца-шва прилагалась сжимающая нагрузка со скоростью $V=5$ мм/мин, фиксировались величины нагрузки и соответствующие

ей вертикальные деформации образца шва. Прочность при сдвиге определяли по следующей формуле (ГОСТ Р 57834–2017):

$$\tau = \frac{F_{\max}}{2} \cdot (L \cdot B).$$

В процессе испытаний была определена максимальная разрушающая сила для швов структурного герметика при сдвиге.

На рис. 7 представлен образец-шов герметика после завершения испытаний на сдвиг.

По результатам экспериментальных исследований определены физико-механические характеристики строительных герметиков (ГОСТ 32998.4–2014 «Стеклопакеты клееные. Методы определения физических характеристик герметизирующих слоев»):

- прочность при растяжении, Н/мм², при $t=+23^\circ\text{C}$;
- прочность при сдвиге, Н/мм², при $t=+23^\circ\text{C}$.

Полученные результаты ускоренных испытаний образцов-швов на стойкость к воздействию искусственных климатических факторов (ГОСТ 9.401–2018 «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов») сравнивались с результатами предварительных испытаний образцов-швов и вычислялись отклонения значений характерных показателей после проведенных циклов климатических воздействий от контрольных значений, т. е. после отверждения. В табл. 2 приведены данные по результатам испытаний образцов-швов, предварительно выдержанных при различной температуре.



Рис. 5. Внешний вид приспособления к разрывной машине для испытания на растяжение образца-шва герметика

Fig. 5. Appearance of a device for a tensile testing machine for tensile testing of a sealant weld sample

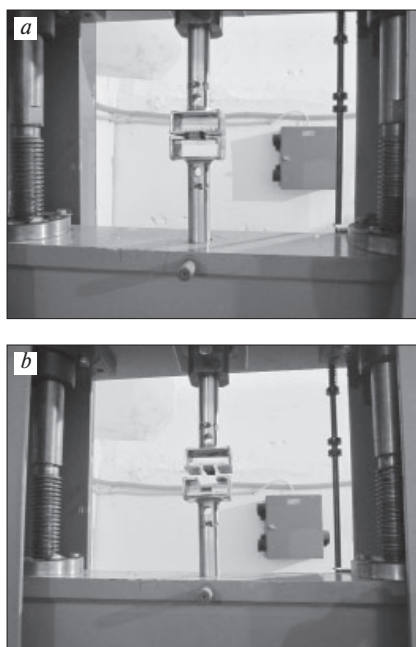


Рис. 6. Образец-шов герметика при испытаниях на растяжение: *a* – образец-шов в момент растяжения; *b* – образец-шов разрушился после испытания

Fig. 6. Sample-seam of the sealant during tensile tests: *a* – sample-seam at the moment of stretching; *b* – sample-seam collapsed after testing

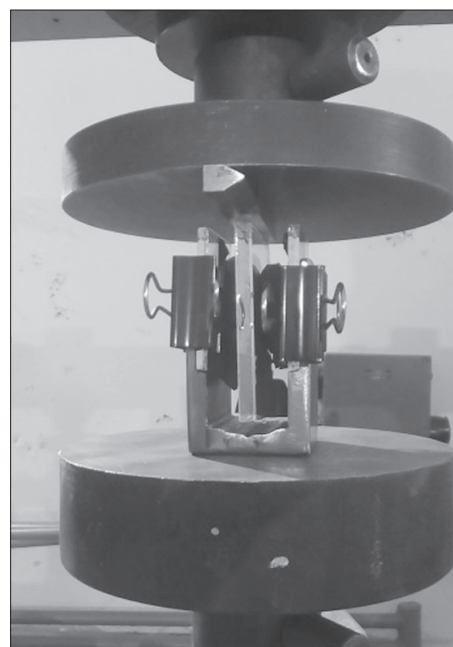


Рис. 7. Образец-шов герметика после завершения испытания на сдвиг

Fig. 7. Sample-seam of sealant after completion of shear test

Таблица 2
Table 2

Результаты испытаний образцов-швов до начала испытаний на циклы климатических воздействий
Test results of specimens-seams before the start of testing for cycles of climatic influences

Показатель	Образцы «А» (образцы-швы стекло–стекло)		Образцы «Б» (образцы-швы стекло–алюминий)	
	Средний показатель	Тип разрушения	Средний показатель	Тип разрушения
Образцы предварительно выдержаны при $t = +23^{\circ}\text{C}$				
Прочность при растяжении, $\text{H}/\text{мм}^2$	0,94	Когезионный	0,98	Когезионный
Прочность при сдвиге, $\text{H}/\text{мм}^2$	0,88	Когезионный	0,89	Когезионный
Образцы предварительно выдержаны при $t = +85^{\circ}\text{C}$				
Прочность при растяжении, $\text{H}/\text{мм}^2$	0,95	Когезионный	0,99	Когезионный
Прочность при сдвиге, $\text{H}/\text{мм}^2$	0,87	Когезионный	0,88	Когезионный
Образцы предварительно выдержаны при $t = -55^{\circ}\text{C}$				
Прочность при растяжении, $\text{H}/\text{мм}^2$	0,93	Когезионный	0,98	Когезионный
Прочность при сдвиге, $\text{H}/\text{мм}^2$	0,86	Когезионный	0,87	Когезионный

Таблица 3
Table 3

Результаты испытаний образцов-швов после циклов климатических воздействий
Results of tests of samples-seams after cycles of climatic influences

Показатель	Образцы «А» (образцы-швы стекло–стекло)		Образцы «Б» (образцы-швы стекло–алюминий)	
	Средний показатель	Тип разрушения	Средний показатель	Тип разрушения
Образцы предварительно выдержаны при $t = +23^{\circ}\text{C}$				
Прочность при растяжении, $\text{H}/\text{мм}^2$	0,88	Когезионный	0,9	Когезионный
Прочность при сдвиге, $\text{H}/\text{мм}^2$	0,82	Когезионный	0,82	Когезионный

В табл. 3 приведены данные по результатам испытаний образцов-швов после циклов климатических воздействий.

По результатам полученных показателей были вычислены отклонения значений характерных показателей после циклов климатических воздействий от контрольных значений.

Для показателя прочность при растяжении, $\text{H}/\text{мм}^2$:

$$\sigma_A = 0,063 \text{ (6\%);}$$

$$\sigma_B = 0,081 \text{ (8\%)}.$$

Для показателя прочность при сдвиге, $\text{H}/\text{мм}^2$:

$$\sigma_A = 0,068 \text{ (7\%);}$$

$$\sigma_B = 0,078 \text{ (8\%)}.$$

Для целей нормирования критериев устойчивости к эксплуатационным (климатическим) воздействиям силиконовых структурных герметиков предлагается установить показатели: снижение прочности при растяжении не более 6%; снижение прочности при сдвиге не более 6%. Порядок воздействия на образцы-швы климатических факторов предлагается установить следующий: выдерживание образцов в

камере тепла и влаги; выдерживание в световой камере (ультрафиолетовое излучение); выдерживание в камере холода.

Сравнение исходных показателей с показателями после искусственных климатических воздействий позволило определить стойкость к комплексу климатических воздействий по изменению одного или нескольких показателей, свойств силиконовых герметиков (физико-механических, внешнего вида и т. п.). Определены также основные контролируемые параметры, характеризующие структурные герметики – прочность при растяжении и прочность при сдвиге до и после цикла климатических воздействий. В результате проведенных научно-исследовательских работ был определен перечень основных методов испытаний для подтверждения устойчивости комплектов для структурного остекления фасадов и крыш с применением силиконовых герметиков в комбинациях стекло–стекло и стекло–алюминий к эксплуатационным воздействиям в климатических условиях Российской Федерации.

Список литературы

1. Галямичев А.В. Ветровая нагрузка и ее действие на фасадные конструкции // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2017. № 9 (60). С. 44–57.
2. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Немова Д.В., Ватин Н.И. Методика расчета окупаемости инве-

References

1. Galamichev A.V., Wind load and its effect on facade structures. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2017. No. 9 (60), pp. 44–57. (In Russian).
2. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Nemova D.V., Vatin N.I. Methodology for calculating the return on

- стиций по реновации фасадов существующих зданий // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 2 (17). С. 82–106.
3. Гусарова (Маркова) Т.С. Энергосберегающее светорегулирующее термохромное остекление. *Современные проблемы экологии: XXIII международная научно-практическая конференция*. С. 15–17. Тула, 15 октября 2019 г.
4. Давидович А.С. Конструктивные особенности и классификационные признаки светопрозрачных фасадов // *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2021. № 7–3 (75). С. 164–171.
5. Доможилов В.Ю. Остекление элементов фасада и микроклимат жилых помещений // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2018. № 8 (1008). С. 73–74.
6. Копылов А.Б. Применение аэрогеля при остеклении фасадов зданий // *Вестник евразийской науки*. 2019. Т. 11. № 2. С. 67.
7. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Горшков А.С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 6. С. 19–33.
8. Корниенко С.В., Попова Е.Д. «Зеленое» строительство в России и за рубежом // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2017. № 4 (55). С. 67–93.
9. Михайлова М.К. Несущая способность клеевых соединений в конструкциях навесных фасадных систем // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2018. № 5 (68). С. 1–14. DOI 10.18720/CUBS.68.1.
10. Небож Т.Б., Боженко А.М., Шевцова М.А. Аналитический обзор светопрозрачных фасадов, применяемых в современном строительстве // *Перспективы науки*. 2021. № 6 (141). С. 75–77.
11. Семенова Э.Е. Витражное остекление фасадов: достоинства и недостатки // *Высокие технологии в строительном комплексе*. 2019. № 1. С. 198–201.
12. Стаценко Е.А., Островая А.Ф., Киселев С.С. Вентилируемые стеклянные фасады. Параметры воздушного зазора // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 12 (39). С. 32–42.
13. Baetens R., Jelle B.P., Gustavsen A. Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*. 2011. No. 43, pp. 761–769.
14. Pascual C., Montali J., Overend M. Adhesively-bonded GFRP-glass sandwich components for structurally efficient glazing applications. *Composite Structures*. 2017. No. 160, pp. 560–573. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.059>
15. Staudt Y., Odenbreit C., Schneider J. Investigation of bonded connections with silicone under shear loading. *Challenging Glass Conference Proceedings*. 2016. Vol. 5, pp. 353–362.
16. Staudt Y., Schneider J., Odenbreit C. Investigation of the material behaviour of bonded connections with silicone. *Engineered transparency. International Conference at glasstec-Glass| Facade| Energy*. 2014, pp. 393–402. <http://hdl.handle.net/10993/22149>
- investment for the renovation of the facades of existing buildings. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2014. No. 2 (17), pp. 82–106. (In Russian).
3. Gusarova (Markova) T.S. Energy-saving light-regulating thermochromic glazing. *Modern problems of ecology: XXIII international scientific and practical conference*. Tula, October 15, 2019, pp. 15–17. (In Russian).
4. Davidovich A.S. Structural features and classification features of translucent facades. *Aktual'nyye nauchnyye issledovaniya v sovremennom mire*. 2021. No. 7–3 (75), pp. 164–171. (In Russian).
5. Domozhilov V.Y. Glazing of facade elements and the microclimate of residential premises. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2018. No. 8 (1008), pp. 73–74. (In Russian).
6. Kopylov A.B. The use of aergel in the glazing of building facades *Vestnik evraziyskoy nauki*. 2019. Vol. 11. No. 2, p. 67. (In Russian).
7. Kornienko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Gorshkov A.S., Evaluation of the humidity regime of a multilayer wall structure in the annual cycle // *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2015. No. 6, pp. 19–33. (In Russian).
8. Kornienko S.V., Popova E.D. “Green” construction in Russia and abroad // *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2017. No. 4 (55), pp. 67–93. (In Russian).
9. Mikhailova M.K. Bearing capacity of adhesive joints in the structures of hinged facade systems. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2018. No. 5 (68), pp. 1–14. DOI 10.18720/CUBS.68.1. (In Russian).
10. Nebozh T.B., Bozhenko A.M., Shevtsova M.A. Analytical review of translucent facades used in modern construction. *Perspektivy nauki*. 2021. No. 6 (141), pp. 75–77. (In Russian).
11. Semenova E.E. Stained-glass glazing of facades: advantages and disadvantages. *Vysokiye tekhnologii v stroitel'nom komplekse*. 2019. No. 1, pp. 198–201. (In Russian).
12. Statsenko E.A., Ostrovaya A.F., Kiselev S.S. Ventilated glass facades. Air gap parameters. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2015. No. 12 (39), pp. 32–42. (In Russian).
13. Baetens R., Jelle B.P., Gustavsen A. Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*. 2011. No. 43, pp. 761–769.
14. Pascual C., Montali J., Overend M. Adhesively-bonded GFRP-glass sandwich components for structurally efficient glazing applications. *Composite Structures*. 2017. No. 160, pp. 560–573. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.059>
15. Staudt Y., Odenbreit C., Schneider J. Investigation of bonded connections with silicone under shear loading. *Challenging Glass Conference Proceedings*. 2016. Vol. 5, pp. 353–362.
16. Staudt Y., Schneider J., Odenbreit C. Investigation of the material behaviour of bonded connections with silicone. *Engineered transparency. International Conference at glasstec-Glass| Facade| Energy*. 2014, pp. 393–402. <http://hdl.handle.net/10993/22149>

УДК 666.9

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-63-70>

В.В. СТРОКОВА¹, д-р техн. наук (vvstrokova@gmail.com), У.Н. ДУХАНИНА¹, инженер,
Д.А. БАЛИЦКИЙ¹, инженер, О.И. ДРОЗДОВ¹, магистрант, В.В. НЕЛЮБОВА¹, д-р техн. наук;
О.В. ФРАНК-КАМЕНЕЦКАЯ², д-р геол.-минер. наук; Д.Ю. ВЛАСОВ², д-р биол. наук

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

² Санкт-Петербургский государственный университет (199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9)

Влияние состава и дисперсности заполнителя на его цементацию при карбонатной биоминерализации

Представлены результаты исследования карбонатной биоминерализации уролитическими бактериальными культурами в среде заполнителя различного состава и дисперсности в результате перколяционного метода цементации. В качестве заполнителя рассмотрены кварцевый песок, мрамор, цементный камень, которые измельчали и фракционировали до трех фракций: 1,25–0,63; 0,63–0,315; 0,315–0,16. Установлены физические и химические факторы, определяющие интенсивность индукционных процессов. Проведен анализ микроструктуры цементированных слоев, рассмотрены особенности новообразований. Выявлены временные границы формирования консолидированного слоя в пределах двух фракций (0,63–0,315 и 0,315–0,16), которые напрямую зависят от глубины перколяции раствора с прекурсорами и бактериальным инокулятом. Показано, что бактериальная культура *Lysinibacillus sphaericus* проявляет активные цементирующие свойства в наибольшей степени. Максимальная толщина слоя заполнителя, консолидированного кристаллами карбоната кальция, сформирована в образцах с карбонизированным цементным камнем с заполнителем фракции 0,63–0,315 мм.

Ключевые слова: микробная карбонатная биоминерализация, бактериальная культура, заполнители, биоконсолидация, перколяционный метод.

Исследование выполнено с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова, при поддержке гранта РФФИ (проект № 19-17-00141) и программы «Приоритет 2030» на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

Для цитирования: Строкова В.В., Духанина У.Н., Балицкий Д.А., Дроздов О.И., Нелюбова В.В., Франк-Каменецкая О.В., Власов Д.Ю. Влияние состава и дисперсности заполнителя на его цементацию при карбонатной биоминерализации // *Строительные материалы*. 2022. № 7. С. 63–70. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-63-70>

V.V. STROKOVA¹, Doctor of Sciences (Engineering) (vvstrokova@gmail.com), U.N. DUKHANINA¹, Engineer, D.A. BALITSKY¹, Engineer, O.I. DROZDOV¹, Master degree student, V.V. NELYUBOVA¹, Doctor of Sciences (Engineering); O.V. FRANK-KAMENETSKAYA², Doctor Sciences (Geology and Mineralogy), D.Yu. VLASOV², Doctor Sciences (Biology)

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

² Saint Petersburg University (7/9, University Embankment, St. Petersburg, 199034, Russian Federation)

Influence of Aggregate Composition and Dispersion on its Cementation During Carbonate Biomineralization

The results of the study of carbonate biomineralization by ureolytic bacterial cultures in a aggregate medium of different composition and dispersion as a result of percolation cementation method are presented. Quartz sand, marble and cement stone were considered as aggregates, which were crushed and fractionated to three fractions: 1.25–0.63; 0.63–0.315; 0.315–0.16. Physical and chemical factors determining the intensity of induction processes have been established. The microstructure of the cemented layers is analyzed, the features of new formations are considered. The time limits of the consolidated layer formation within two fractions (0.63–0.315 and 0.315–0.16) were revealed, which directly depend on the percolation depth of the solution with precursors and bacterial inoculum. It has been shown that the bacterial culture of *Lysinibacillus sphaericus* exhibits active cementing properties to the greatest extent. The maximal thickness of the aggregate layer consolidated by calcium carbonate crystals was formed in samples with carbonized cement stone with the aggregate fraction of 0.63–0.315 mm.

Keywords: microbial carbonate biomineralization, bacterial culture, aggregates, bioconsolidation, percolation method.

This work was realized in the frameworks of a grant from the Russian Science foundation (project No. 19-17-00141) and the Program «Priority 2030» on the base of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. The study was carried out using the equipment of the Center for High Technologies of BSTU named after V.G. Shukhov.

For citation: Strokov V.V., Dukhanina U.N., Balitsky D.A., Drozdov O.I., Nelyubova V.V., Frank-Kamenetskaya O.V., Vlasov D.Yu. Influence of aggregate composition and dispersion on its cementation during carbonate biomineralization. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 7, pp. 63–70. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-804-7-63-70>

Бактериальная карбонатная биоминерализация является сложным процессом, контролируемым комплексом факторов [1–4]. Настоящая работа посвящена выявлению роли различных сырьевых компонентов в биоминерализации цементного камня, который является полиминеральной и полидисперсной системой. Для карбонатной биоминерализации, протекающей в цементобетоне при его восстановле-

нии, невозможно полноценно описать механизм биоконсолидации без предварительного исследования влияния инициаторов биокарбонизации на отдельные компоненты цементной системы, такие как заполнитель и цементный камень.

В ранее предлагаемых подходах к изучению процессов микробной карбонатной минерализации и управлению ими, вопросам влияния используемых

компонентов (заполнитель и цементный камень) на структурные и технологические характеристики био-консолидированных цементных систем было уделено недостаточно внимания. Поэтому в рамках данного исследования анализ особенностей процессов фазообразования в модельной системе «бактериальная культура — прекурсоры — заполнитель» проводился в зависимости от вида бактериальной культуры, состава и уровня дисперсности заполнителя [5–12].

Для установления влияния состава подложки для инициации процессов биокарбонизации в качестве модельных систем были использованы силикатное (кварц), карбонатное (кальцит) и алюмосиликатное (гидросиликаты кальция) вещества. В качестве источника каждой группы веществ были выбраны следующие материалы:

- кварцевый песок — наиболее распространенный вид заполнителя в цементобетонах. В нем отсутствует прямой источник кальция, который имеется в цементном камне, что исключает влияние абиотических факторов, таких как щелочность среды и др., на продуцирование карбоната кальция бактериальными культурами [13];

- мрамор — мраморная крошка, отсев дробления мрамора используется в качестве мелкого заполнителя либо наполнителя при получении различных цементобетонных изделий. Среди представителей карбонатных пород мрамор характеризуется наибольшей плотностью, а потому влияние пористости на процессы биокарбонизации можно исключить. Мрамор имеет максимальное химическое и минеральное сродство к продуктам карбонатной биоминерализации [12];

- молотый цементный камень — как матрица цементобетона, отвечающая за прочностные свойства и долговечность бетона. При этом использовался свежепрогидратированный цементный камень (после 28 сут твердения), в котором содержится максимальное количество свободного портландита как растворимого компонента цементной системы, повышающего щелочность среды. Данный образец является модельной системой для технологий локальной обработки бетонных изделий (поверхностной и погружением в раствор);

- карбонизированный молотый цементный камень — исходный цементный камень, подвергнутый принудительной карбонизации для минимизации свободного портландита, перешедшего в кальцит. Данный образец является модельным для технологий локальной обработки при ремонтных и реставрационных работах эксплуатируемых изделий (селективное цементирование).

Ввиду того, что крупность фракции заполнителя определяет уровень пористости системы, в эксперименте использовались три фракции: 1,25–0,63; 0,63–0,315; 0,315–0,16 мм. Плотность упаковки для каждой фракции составила: для фракции 1,25–0,63 мм — 0,616; фракции 0,63–0,315 мм — 0,607; фракции 0,315–0,16 мм — 0,602. Данный выбор обусловлен

целью установления максимального порога межзерновой пористости, при котором будет достаточно одного месяца для того, чтобы произошел процесс биокарбонатной цементации.

Материалы и методы исследований

В качестве биологических акцепторов, вызывающих гетерогенную нуклеацию кристаллов карбоната кальция, выступали бактериальные штаммы, депонированные Всероссийской коллекцией микроорганизмов Института биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина Российской академии наук, рода: *Lysinibacillus sphaericus* (VKM B-509), *Bacillus megaterium* (VKM B-40), *Bacillus pumilus* (VKM B-23), *Sporosarcina pasteurii* (VKM B-513). Чистые бактериальные культуры предварительно культивировались в стерильных селективных средах со скоростью 150 об/мин при температуре 30°C с целью наращивания биомассы.

Для стимуляции уреазной ферментативной активности бактерий применяли прекурсоры CaCl_2 и $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$. Хлорид кальция растворяли в дистиллированной воде исходя из пропорции 20 г/л с последующим автоклавированием 120°C в течение 20 мин. Гранулированная мочевиная предварительно подвергалась стерилизации в сухожаровом шкафу при температуре 100°C в течение 20 мин с последующим растворением в дистиллированной воде с CaCl_2 исходя из пропорции 20 г/л.

В качестве заполнителей были использованы следующие сырьевые материалы:

- песок строительный сухой кварцевый производства ООО «Формматериалы» (г. Воронеж), ГОСТ 8736–93 «Песок для строительных работ. Технические условия»;

- мраморная крошка производства ООО «Калица» (г. Магнитогорск);

- молотый цементный камень, полученный в результате твердения цементного раствора с $\text{В/Ц}=0,4$ в течение 28 сут в естественных условиях. Для этого использовался портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н. Измельчение проводилось на щековой дробилке до получения соответствующих фракций;

- карбонизированный молотый цементный камень получали путем принудительного закачивания углекислого газа (CO_2) в вакуумную камеру с предварительно выкачанным воздухом в течение 1,5 ч (кран открывался до значения на манометре 0,7 МПа и постепенно стравливался, процедура повторялась четыре раза). Через 1,5 ч шланги перекрывались, образцы находились в закрытой камере двое суток.

Как было отмечено ранее, в эксперименте использовались три фракции: 1,25–0,63; 0,63–0,315; 0,315–0,16, поскольку чем крупнее фракция заполнителя, тем крупнее поры, что, в свою очередь, позволяет установить максимальный порог межзерновой пористости, при котором будет достаточно одного месяца для того, чтобы произошел процесс карбонатной цементации. Временной интервал ис-

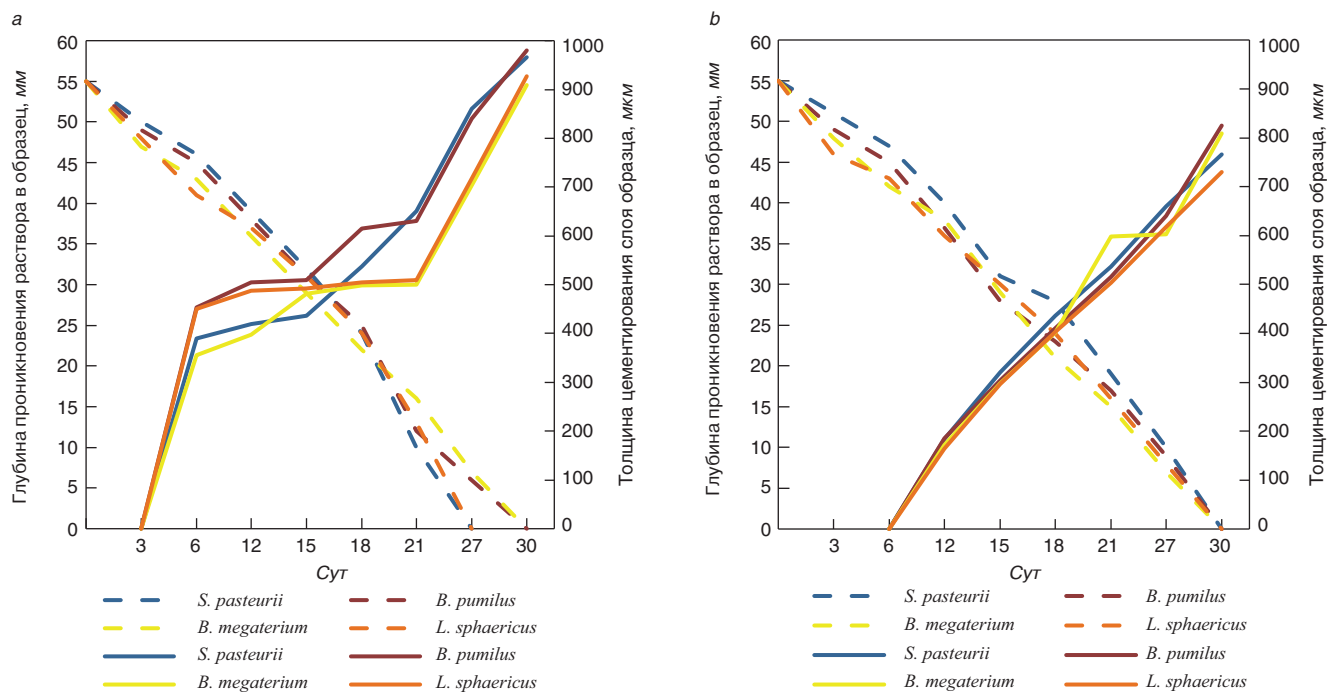


Рис. 1. Взаимосвязь глубины проникновения раствора сквозь песок в колонке и толщины консолидированного слоя [13]: а – фракция песка 0,315–0,16; б – фракция песка 0,63–0,315

Fig. 1. Correlation between the depth of penetration of the solution through the sand in the core and the thickness of the consolidated layer [13]: а – sand fraction 0,315–0,16; б – sand fraction 0,63–0,315

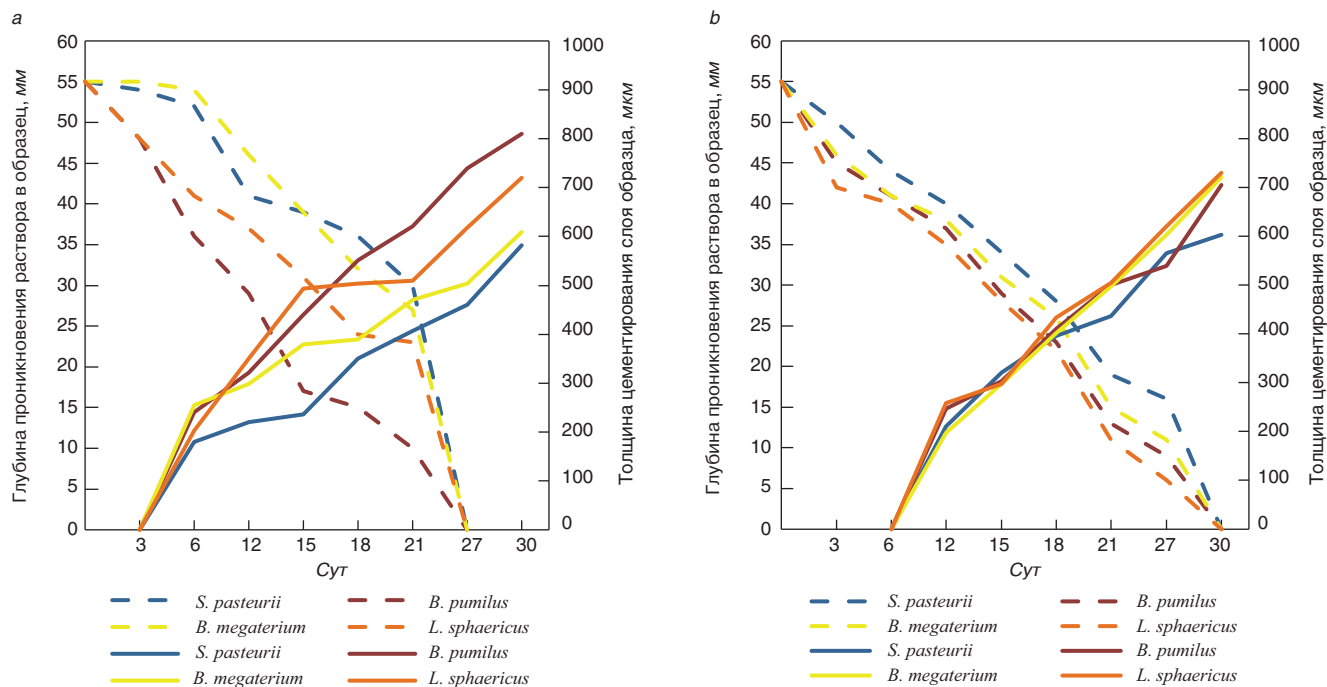


Рис. 2. Взаимосвязь глубины проникновения раствора сквозь мраморную крошку в колонке и толщины консолидированного слоя: а – фракция мраморной крошки 0,315–0,16; б – фракция мраморной крошки 0,63–0,315

Fig. 2. Correlation between the depth of penetration of the solution through the marble chips in the column and the thickness of the consolidated layer: а – fraction of marble chips 0,315–0,16; б – fraction of marble chips 0,63–0,315

следования установлен в один месяц согласно набору нормируемой прочности бетона (28 сут). Заполнитель проходил предварительную термическую обработку путем выдерживания в сушильном шкафу 1 ч при температуре 100°C с целью исключения влияния других микроорганизмов на результаты эксперимента.

Для проведения исследования по индукции карбонатной бактериальной минерализации были выбраны формы, которые представляют собой полый гладкостенный цилиндр диаметром 20 мм, длиной 95 мм из ПВХ материала. В нижней части цилиндра имеется дренажное отверстие для слива

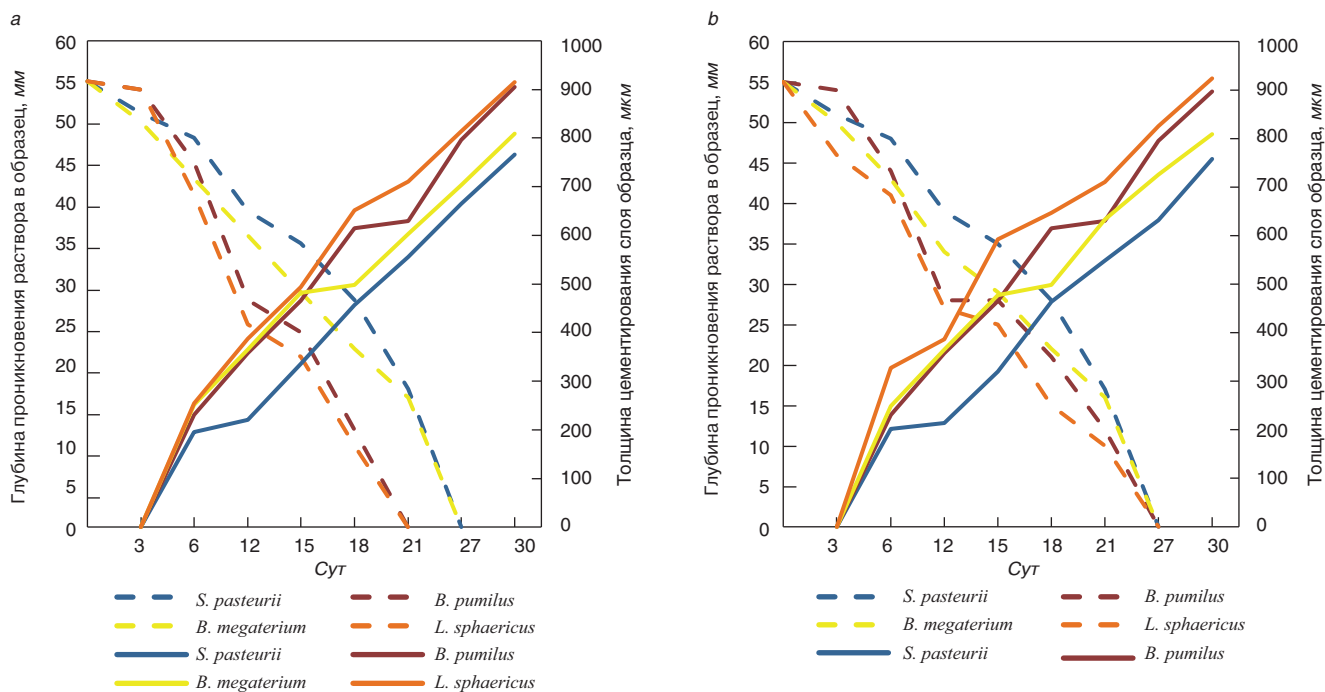


Рис. 3. Взаимосвязь глубины проникновения раствора сквозь цементный камень в колонке и толщины консолидированного слоя: а – фракция цементного камня 0,315–0,16; б – фракция цементного камня 0,63–0,315

Fig. 3. Correlation between the depth of penetration of the solution through the cement stone in the column and the thickness of the consolidated layer: а – fraction of cement stone 0,315–0,16; б – fraction of cement stone 0,63–0,315

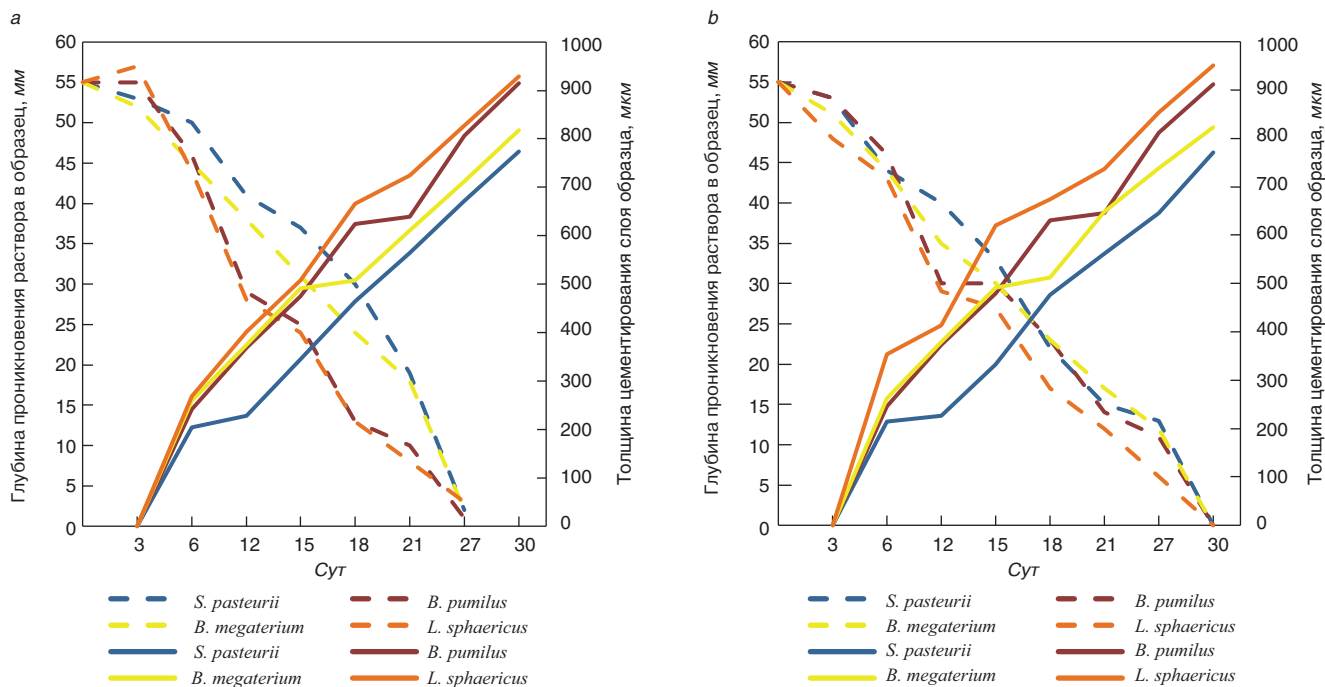


Рис. 4. Взаимосвязь глубины проникновения раствора сквозь карбонизированный цементный камень в колонке и толщины консолидированного слоя: а – фракция карбонизированного цементного камня 0,315–0,16; б – фракция карбонизированного цементного камня 0,63–0,315

Fig. 4. Correlation between the depth of penetration of the solution through the carbonized cement stone in the column and the thickness of the consolidated layer: а – fraction of carbonized cement stone 0,315–0,16; б – fraction of carbonized cement stone 0,63–0,315

жидкости. Верхняя часть цилиндра закрывалась поршнем во избежание высыхания смоделированной кристаллизационной среды. Цилиндрические формы были зафиксированы вертикально с целью прохождения кристаллизационного раствора через весь объем песчаного столба. Формы заполнялись

кварцевым песком на высоту 55 мм и уплотнялись с помощью поршня.

Для определения зависимости скорости цементации от уровня дисперсности песчаной фракции и бактериальной культуры был исследован потенциал влияния каждого вида бактерий на используемые в

эксперименте фракции. Во избежание ошибки воспроизводимости эксперимента для каждого вида бактериальной культуры и изучаемой фракции заполнителя опыты проведены трехкратно.

Эксперимент состоял из десяти циклов, каждый из которых включал в себя чередующиеся две части:

I часть — в цилиндры с увлажненным дистиллированной водой (для удаления воздушных карманов в межчастичном пространстве) и уплотненным песком поочередно вводились бактериальный инокулят (2 мл) и раствор с прекурсорами (4 мл). Раздельное введение бактерий и прекурсоров обусловлено отложенным стартом процесса инициации кристаллизации. Модельная среда посредством перколяционной обработки воздействовала на песчаные колонки. После полной пропитки песчаного образца для исключения слива жидкости из цилиндрических форм дренажное отверстие закрывалось;

II часть — на третьи сутки отверстие открывалось и с помощью поршня под давлением воздуха жидкость проходила сквозь дренажное отверстие и сливалась в емкость для дальнейшего исследования. Затем в цилиндр повторно вводился раствор с прекурсорами и бактериальный инокулят.

Необходимость смены растворов возникла в связи со снижением ферментативной активности бактерий и концентраций хлорида кальция и мочевины в результате использования их бактериями для протекания биохимических реакций. Циклы повторялись до тех пор, пока вводимые растворы при низком давлении (самотек) не переставали пропитывать песчаные колонки.

Для доказательства отсутствия минералообразования и химической цементации частиц песка при взаимодействии с раствором прекурсоров в виде хлорида кальция и мочевины в качестве контрольных образцов были рассмотрены песчаные колонки, обрабатываемые раствором с прекурсорами без внесения бактериального инокулята.

Изменение щелочности среды определяли с помощью тест-полосок pH с шагом измерения в одну единицу методом погружения полоски в исследуемую жидкость.

Результаты и обсуждение

Начальный уровень pH модельных экспериментальных условий был установлен в пределах значения 7. Согласно полученным значениям pH отработанной жидкости в экспериментальных образцах в результате замены раствора инокуляции кристаллизации с прекурсорами на каждые третьи сутки происходил рост pH от начала эксперимента по отношению к последнему дню во всех образцах. Наблюдаемое снижение pH связано с уменьшением активности бактерий при недостатке питательных элементов. Установленный рост значения pH был обоснован введением новой порции растворов с прекурсорами, которые способствуют дальнейшей активизации ферментативной активности бактериальных культур.

В ходе исследований в системе «бактериальная культура — прекурсоры — заполнитель» установлена взаимосвязь глубины пропитки песчаной колонки от толщины консолидированного слоя. В результате протекающих процессов карбонатной биоминерализации в экспериментальных образцах наблюдалось постепенное омоноличивание верхнего слоя фракций 0,63–0,315 и 0,315–0,16, что соответственно привело к снижению глубины проникновения растворов. В экспериментальных образцах песчаных колонок самой крупной из исследуемых фракций (1,25–0,63), несмотря на повышение уровня pH, цементации при колматационных процессах не наблюдалось.

При сравнительном анализе образцов фракций 0,63–0,315 и 0,315–0,16 на начальном этапе эксперимента глубина перколяции составляла 55 мм для всех образцов (рис. 1). В последующие дни эксперимента глубина проникновения раствора с прекурсорами и бактериальным инокулятом имела тенденцию к снижению в результате наблюдающихся процессов консолидации песчаных частиц. Так, на рис. 1 для фракции 0,315–0,16 видно, что в каждом образце с определенным видом бактерий глубина проникновения плавно понижалась до момента полного прекращения просачивания раствора. Для бактерий *S. pasteurii* и *B. pumilus* этот момент наступил после девятого цикла (27 сут) введения раствора, а для бактерий *B. megaterium* и *L. sphaericus* — после десятого цикла (30 сут). Цементация частиц фракции 0,315–0,16 наблюдалась начиная с третьих суток после начала эксперимента. Значения толщины слоя в конце эксперимента варьировались от 909 до 980 мкм. Минимальная толщина (909 мкм) наблюдалась в цилиндре с песком, обработанным бактериальным инокулятом *B. megaterium*; максимальное значение (980 мкм) наблюдалось в цилиндре с содержанием *B. pumilus*.

Толщина консолидированного слоя в образцах фракции 0,63–0,315 начала расти лишь на шестые сутки от начала эксперимента, что связано с большим размером песчаных частиц по сравнению с образцами песка фракции 0,315–0,16. Конечная толщина слоя менялась в диапазоне от 730 до 825 мкм: минимальная (730 мкм) была зафиксирована в песчаной колонке, обработанной бактериальным инокулятом *L. sphaericus*, максимальная (825 мкм) — в образце со штаммом *B. pumilus*. Момент полного прекращения просачивания самотеком для фракции 0,63–0,315 наступил на десятый цикл (30 сут) введения раствора для всех бактерий.

При рассмотрении результатов эксперимента в колонках с мраморной крошкой фракции 0,63–0,315 отмечено, что начало консолидации верхнего слоя наблюдается с шестого дня для всех видов бактерий. Значения толщины слоя в конце исследования варьировались от 603 до 730 мкм. Минимальная толщина (603 мкм) наблюдалась в колонке с добавлением бактериального инокулята *S. pasteurii*, а максимальное значение (730 мкм) наблюдалось в колонке с содержанием *L. sphaericus*. Толщина сцементированного слоя в образцах с мрамором фракции 0,315–0,16 начала

Матрица глубины проникновения раствора в колонку и толщины консолидированного слоя в зависимости от вида бактериального агента и фракции заполнителя
Matrix of the penetration depth of the solution in the column and the thickness of the consolidated layer depending on the type of bacterial agent and aggregate fractions

Наименование исследования	Компонент системы/ показатель	Вид бактериального штамма											
		<i>B. pumilus</i>			<i>B. megaterium</i>			<i>S. pasteurii</i>			<i>L. sphaericus</i>		
	Фракция	1,25–0,63	0,63–0,315	0,315–0,16	1,25–0,63	0,63–0,315	0,315–0,16	1,25–0,63	0,63–0,315	0,315–0,16	1,25–0,63	0,63–0,315	0,315–0,16
Заполнитель													
Толщина консолидированного слоя, усл. ед.*	Мраморная крошка	–	2	4	–	3	2	–	1	1	–	4	3
	Кварцевый песок	–	4	4	–	3	1	–	2	3	–	1	2
	Цементный камень	–	3	3	–	2	2	–	1	1	–	4	4
	Карбонизированный цементный камень	–	3	3	–	2	3	–	1	1	–	4	4
Глубина пропитки раствора, усл. ед.*	Мраморная крошка	–	2	1	–	3	3	–	4	4	–	1	2
	Кварцевый песок	–	3	3	–	1	4	–	4	1	–	2	2
	Цементный камень	–	2	2	–	3	3	–	4	4	–	1	1
	Карбонизированный цементный камень	–	2	2	–	3	3	–	4	4	–	1	1

* Присвоение числового коэффициента эффективности в условных единицах основано на сравнительном анализе исследований, где 1 – минимальное значение, 4 – максимальное значение.

расти на третьи сутки от начала исследования, варьируясь в диапазоне от 582 до 810 мкм: минимальная (582 мкм) была зафиксирована в колонке, обработанной бактериальным инокулятом *S. pasteurii*, максимальная (810 мкм) – в образце с инокулятом *B. pumilus*. Завершение перколяции мраморной крошки растворами бактерий и прекурсорами самотеком для фракции 0,63–0,315 наступило на десятый цикл (30 сут), а для фракции 0,315–0,16 – на 27-е сутки (рис. 2).

Наибольшие временные интервалы глубины проникновения растворов наблюдались в колонках с заполнителем молотого цементного камня фракции 0,315–0,16. Установлено, что максимальная глубина проникновения растворов отмечалась на 21-е сут для бактерий *B. pumilus* и *L. sphaericus* и на 27-е сут для бактерий *S. pasteurii* и *B. megaterium*. Консолидация молотого цементного камня фракции 0,315–0,16 наблюдалась начиная с третьих суток. Минимальное значение глубины проникновения 766 мкм зафиксировано в цилиндре с молотым цементным камнем, обработанным бактериальным инокулятом *S. pasteurii*, максимальное значение (915 мкм) наблюдалось в образце с бактериальным инокулятом *L. sphaericus*. Толщина консолидированного слоя в образцах фракции 0,63–0,315 менялась в диапазоне от 758 до 924 мкм. Прекращение перколяции самотеком для фракции 0,63–0,315 наступило на девятый цикл (27 сут) с начала введения раствора для всех бактерий (рис. 3).

В колонках с карбонизированным цементным камнем остановка проницаемости заполнителя растворами с прекурсорами и бактериальным инокулятом наблюдалась для фракции 0,315–0,16 на 27-е сут, а для фракции 0,63–0,315 – на 30-е сут для всех видов бактериальных культур. Цементация верхнего слоя

заполнителя фракций 0,315–0,16 и 0,63–0,315 отмечалась начиная с третьих суток от начала исследования. Интенсивность процессов консолидации установлена в цилиндрах с инокулятом *L. sphaericus*, а менее интенсивные процессы протекали в образцах со штаммом *S. pasteurii* для двух видов фракций (рис. 4).

По результатам изучения фазообразования в модельной системе «бактериальная культура – прекурсоры – заполнитель» установлено, что физическим фактором интенсификации микробной цементации, активно протекающей в колонках с заполнителями фракции 0,315–0,16 по сравнению с образцами фракции 0,63–0,315, является уменьшение размеров поровых пустот между частицами заполнителя, приводящее, с одной стороны, к снижению миграции бактериальных культур в нижние слои песчаных колонок, а с другой – к увеличению контактных зон и, соответственно необходимости меньшего количества формируемых новообразований при карбонатной литификации верхнего слоя. Химическим фактором является продуцирующая способность вида бактериальной культуры, которая в зависимости от степени ферментативной активности инициирует скорость осаждения карбоната кальция. Анализ полученных результатов позволил проранжировать виды бактерий в зависимости от проявляемой эффективности микробной карбонатной минерализации в пределах исследуемых фракций. В образцах колонок с заполнителями фракции 1,25–0,63 в течение 30 сут проведения эксперимента процесс цементации верхнего слоя столба не установлен.

В соответствии с фракционной размерностью и толщиной консолидированного слоя бактерии проранжированы по повышению эффективности в следующей последовательности:

1. Для фракции 0,63–0,315:
 – мраморная крошка: *S. pasteurii* → *B. pumilus* → *B. megaterium* → *L. sphaericus*;
 – кварцевый песок: *L. sphaericus* → *S. pasteurii* → *B. megaterium* → *B. pumilus*;
 – молотый цементный камень: *S. pasteurii* → *B. megaterium* → *B. pumilus* → *L. sphaericus*;
 – карбонизированный цементный камень: *S. pasteurii* → *B. megaterium* → *B. pumilus* → *L. sphaericus*;
 2. Для фракции 0,315–0,16:
 – мраморная крошка: *S. pasteurii* → *B. megaterium* → *L. sphaericus* → *B. pumilus*;
 – кварцевый песок: *B. megaterium* → *L. sphaericus* → *S. pasteurii* → *B. pumilus*;
 – молотый цементный камень: *S. pasteurii* → *B. megaterium* → *B. pumilus* → *L. sphaericus*;
 – карбонизированный цементный камень: *S. pasteurii* → *B. megaterium* → *B. pumilus* → *L. sphaericus*.
 Для модельных образцов заполнителей фракций 0,315–0,16 и 0,63–0,315 ранжирование по увеличению глубины пропитки колонок выглядит следующим образом:

1. Для фракции 0,63–0,315:
 – мраморная крошка: *L. sphaericus* → *B. pumilus* → *B. megaterium* → *S. pasteurii*;
 – кварцевый песок: *B. megaterium* → *L. sphaericus* → *B. pumilus* → *S. pasteurii*;
 – молотый цементный камень: *L. sphaericus* → *B. pumilus* → *B. megaterium* → *S. pasteurii*;
 – карбонизированный цементный камень: *L. sphaericus* → *B. pumilus* → *B. megaterium* → *S. pasteurii*.
 2. Для фракции 0,315–0,16:
 – мраморная крошка: *B. pumilus* → *L. sphaericus* → *B. megaterium* → *S. pasteurii*;
 – кварцевый песок: *S. pasteurii* → *L. sphaericus* → *B. pumilus* → *B. megaterium*;
 – молотый цементный камень: *L. sphaericus* → *B. pumilus* → *B. megaterium* → *S. pasteurii*;
 – карбонизированный цементный камень: *L. sphaericus* → *B. pumilus* → *B. megaterium* → *S. pasteurii*.

По результатам исследования составлена матрица глубины проникновения раствора в колонке и толщины консолидированного слоя в зависимости от вида бактериального агента и фракционного значения заполнителя (см. таблицу).

Таким образом, установлено, что процессы цементации напрямую зависят от размера песчаной фракции, присутствия уреаза бактерий и их вида.

Заключение

Установлено, что физическим фактором интенсификации микробной цементации, активно протекающей в образцах песчаных колонок фракции 0,315–0,16, по сравнению с образцами песка фракции 0,63–0,315 является уменьшение размеров поровых пустот между частицами заполнителя, приводящее, с одной стороны, к снижению миграции бактериальных культур в нижние слои песчаных колонок, а с другой — увеличению контактных зон и

соответственно необходимости меньшего количества формируемых новообразований при карбонатной литификации верхнего слоя.

Химическим фактором интенсификации процессов карбонизации является продуцирующая способность вида бактериальной культуры, которая в зависимости от степени ферментативной активности инициирует скорость осаждения новообразований.

Анализ полученных результатов позволил проанжировать виды бактерий в зависимости от проявляемой эффективности микробной карбонатной минерализации в пределах исследуемых фракций.

Установлены особенности процессов фазообразования в модельной системе «бактериальная культура — прекурсоры — заполнитель» в зависимости от вида заполнителя, уровня его дисперсности и вида бактериальной культуры. На основании оценки интенсивности карбонатной биоминерализации изученные виды минеральных компонентов проранжированы по повышению их эффективности в следующей последовательности:

– по виду заполнителя: мраморная крошка → кварцевый песок → цементный камень → карбонизированный цементный камень;
 – по фракционному составу: 1,25–0,63 → 0,315–0,16 → 0,63–0,315 мм.
 – по применяемой бактериальной культуре: *Sporosarcina pasteurii* → *Bacillus megaterium* → *Bacillus pumilus* → *Lysinibacillus sphaericus*.

Список литературы / References

1. Muynck W.D., Belie N.D., Verstraete W. Microbial carbonate precipitation in construction materials: A review. *Ecological Engineering*. 2010. Vol. 36, pp. 118–136. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2009.02.006
2. Sazanov K.V., Frank-Kamenetskaya O.V., Vlasov D.Yu., Zelenskaya M.S., Vlasov A.D., Ruskov A.V., Petrova M.A. Carbonate and oxalate crystallization by interaction of calcite marble with *bacillus subtilis* and *bacillus subtilis*–*aspergillus niger* association. *Crystals*. 2020. No. 10. Vol. 756, pp. 1–16. DOI: 10.3390/cryst10090756
3. Строкова В.В., Власов Д.Ю., Франк-Каменицкая О.В. Микробная карбонатная биоминерализация как инструмент природоподобных технологий в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2019. № 7. С. 66–72 DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-772-7-66-72>
4. Строкова В.В., Власов Д.Ю., Франк-Каменицкая О.В., Духанина У.Н., Балицкий Д.А. Применение микробной карбонатной биоминерализации в биотехнологиях создания и восстановления

- строительных материалов: анализ состояния и перспективы развития // *Строительные материалы*. 2019. № 9. С. 83–103. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-83-103>
4. Strokova V.V., Vlasov D.Yu., Frank-Kamenetskaya O.V., Dukhanina U.N., Balitsky D.A. Application of microbial carbonate biomineralization in biotechnologies of building materials creation and restoration: analysis of the state and prospects of development. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 9, pp. 83–103. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-83-103>
 5. Kim G., Youn H. Microbially induced calcite precipitation employing environmental isolates. *Materials*. 2016. Vol. 9. (6):468. doi:10.3390/ma9060468
 6. Kim D., Park K., Kim D. Effects of ground conditions on microbial cementation in soils. *Materials*. 2013. Vol. 7. No. 1, pp. 143–156. doi: 10.3390/ma7010143
 7. Stabnikov V., Naeimi M., Ivanov V., Chu J. Formation of water-impermeable crust on sand surface using biocement. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41, pp. 1143–1149 <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.06.017>
 8. Liu L., Liu H., Xiao Y., Chu J., Xiao H., Wang Y. Biocementation of calcareous sand using soluble calcium derived from calcareous sand. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2018. Vol. 77:1781. doi: 10.1007/s10064-017-1106-4
 9. Sharaky A.M., Mohamed N.S., Elmashad M.E., Shredah N.M. Application of microbial biocementation to improve the physico-mechanical properties of sandy soil. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 190, pp. 861–869. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.159>
 10. Omeregic A.I., Palombo E.A., Ong D.E., Nissom P.M. Biocementation of sand by *Sporosarcina pasteurii* strain and technical-grade cementation reagents through surface percolation treatment method. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 228, pp. 116828–116828. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116828>
 11. Armstrong I.O., Ghazaleh K., Nurnajwani S., Dominic Ek Leong Ong, Nissom P.E. Experimental optimisation of various cultural conditions on urease activity for isolated *Sporosarcina pasteurii* strains and evaluation of their biocement potentials. *Ecological Engineering*. 2017. Vol. 109, pp. 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.09.012>
 12. Minto J. M., Tan Q., Lunn R. J., El Mountassir G., Guo H., Cheng, X. Microbial mortar'-restoration of degraded marble structures with microbially induced carbonate precipitation. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 180, pp. 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.200>
 13. Strokova V., Duhanina U., Balitsky D. The study of the quartz sand bio consolidation processes as a result of carbonate mineralization by urolithic bacteria. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 1011, pp. 44–51. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1011.44>

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.

Как подготовить к публикации научно-техническую статью см. раздел <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 импортирование 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, цветовой 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 неизвестными авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

21-23 сентября
Уфа 2022 ВДНХ **ЭКСПО**

ФОРУМ УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ

Международные выставки

▪ **Строительство** ▪ **Недвижимость**

ОРГАНИЗАТОРЫ



ПРАВИТЕЛЬСТВО
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



МИНИСТЕРСТВО
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

ПОДДЕРЖКА



АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ ФГБОУ ВО УГНТУ

Свяжитесь
с нами

www.stroybvk.ru
stroy@bvkexpo.ru

+7 (347) 246-41-80
+7 (347) 246-42-37



Аэропорт Пулково Санкт-Петербург

RUCEM.RU

КОНФЕРЕНЦИЯ

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: АВТОДОРОГИ И АЭРОПОРТЫ

- цементобетоны аэродромных и дорожных покрытий
- методы укрепления грунтов для дорожного и аэродромного строительства
- виброукатываемый бетон
- холодный ресайклинг

25-26 августа 2022 года,
С-Петербург

Организатор мероприятия ООО РУЦЕМ.РУ

www.rucem.ru

+7 (8453) 68 33 82

info@rucem.ru

+7 (927) 225-33-82

<https://cemconf.ru/44>

