

60 лет с отраслью

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №7



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ISSN 0585-430X ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU ИЮЛЬ 2015 г. (727)

ВСЕЛУГ



ЗАВОДЫ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СУХИХ СМЕСЕЙ

- фасовочные машины
- интенсивные смесители
- весовые дозаторы
- виброклассификаторы
- рукавные фильтры
- системы управления на базе PC и PLC





ЗАВОД
ТЕХПРИБОР

Тульская обл., г. Щекино
ПРЕДЛАГАЕТ

МЕЛЬНИЦЫ «ТРИБОКИНЕТИКА»



miningworld
RUSSIA

Диплом за лучшую
мельницу тонкого помола*

ОСМ 2015

Диплом за лучший
мельничный комплекс



Всё перемелется!

* Диплом за лучшую мельницу тонкого помола российского производства по версии выставки Miningworld Russia.



Завод «ТЕХПРИБОР» РФ, Тульская область, г. Щекино, ул. Пирогова, д.43
Контактные телефоны: (48751) 9-05-95, 9-05-96, 9-05-21, 9-05-46
E-mail: manager@texribor.ru / www.texribor.ru

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

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№7

Основан в 1955 г.

(727) июль 2015 г.

Главный редактор:

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

Редакционный совет:

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

БАРИНОВА Л. С.,
 канд. хим. наук, вице-президент
 Российского союза строителей (Москва)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ХЕЛМИ Ш. С.,
 канд. техн. наук (Египет)

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

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

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

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

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
 журнал «Строительные материалы»®, 2015

Результаты научных исследований

- Т.В. КУЗНЕЦОВА, А.П. НЕФЕДЬЕВ, Д.Ю. КОССОВ
Кинетика гидратации и свойства цемента с добавкой метакаолина 3
- М.Г. МЕНЖУЛИН, Г.И. КОРШУНОВ, П.И. АФАНАСЬЕВ,
 А.А. БУЛЬБАШЕВ, И.А. БУЛЬБАШЕВА
Физические основы разрушения скальных горных пород 5
- Г.В. КУЗНЕЦОВА, Н.Н. МОРОЗОВА, В.Г. ХОЗИН
**Карбонатные порошки в производстве силикатного кирпича
 на бездобавочной извести** 10
- Н.Л. ПОЛЕЙКО, С.Н. ЛЕОНОВИЧ
Физико-механические показатели бетона на кубовидном щебне 13
- К.Б. САФАРОВ
**Применение реакционноспособных заполнителей
 для получения бетонов, стойких в агрессивных средах** 17
- М.С. ЕЛСУФЬЕВА, В.Г. СОЛОВЬЕВ, А.Ф. БУРЬЯНОВ, М.Р. НУРТДИНОВ, В.А. КАКУША
**Оценка долгосрочного изменения свойств сталефибробетонов
 с расширяющими добавками** 21
- Е.В. КОРОЛЕВ, М.И. ВДОВИН, А.И. АЛЬБАКАСОВ, А.С. ИНОЗЕМЦЕВ
**Основные свойства пропиточно-кольматирующих составов
 для ингибирования щелочесиликатных реакций** 24
- Д.В. ОРЕШКИН
**Теоретическое обоснование использования древесины
 мягколиственных пород в строительстве** 30
- Среда жизнедеятельности – национальный приоритет России (Информация)** 34
- Фокус на цифровые технологии в строительстве зданий (Информация)** 36

Технологии и оборудование

- А.И. НИЖЕГОРОДОВ
Производство и применение полистирол-вермикулитовых строительных смесей . . 41

Материалы и конструкции

- Б.А. БОНДАРЕВ, А.Б. БОНДАРЕВ, П.В. БОРКОВ, Р.Ю. САПРЫКИН, В.А. ЖАРИКОВ
**Адгезионная прочность и выносимость защитных покрытий из полимерных
 композиционных материалов в элементах конструкций мостовых сооружений** . . . 46
- В.Н. МОРГУН, Л.В. МОРГУН, А.В. ВИСНАП
Применение арматуры в изделиях из фибропенобетонов 52
- А.Д. ЛОМАКИН
Защита большепролетных несущих клееных деревянных конструкций 55
- А.А. ФЕДУЛОВ
Полы для жилых и общественных зданий 60
- А.П. ПУСТОВГАР, Т.Н. СКВОРЦОВ, С.В. НЕФЕДОВ, И.С. ИВАНОВА
**Оценка влияния различных типов кромок на прочность стыков
 гипсовых строительных плит** 64
- П.П. ПАСТУШКОВ, А.В. ЖЕРЕБЦОВ
**Об эффективности применения экструдированного пенополистирола
 в ограждающих конструкциях первых и цокольных этажей** 68
- В.Е. ДАНИЛОВ, А.М. АЙЗЕНШТАДТ, М.А. ФРОЛОВА, М.А. ТУРОВОВА, А.М. КАРЕЛЬСКИЙ
**Получение органоминерального наполнителя на основе древесной коры
 и базальта для разработки композиционных материалов** 72
- В.А. ВОЙТОВИЧ, И.Н. ХРЯПЧЕНКОВА
Направления применения гидрофобизаторов в строительстве (Информация) 76

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

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

Founder of the journal:
«STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO

The journal is registered
by the RF Ministry of Press,
Broadcasting and Mass
Communications,
PI № 77–1989

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROYTEL'NYE MATERIALY®

No. 7

Founded in 1955

(727) July 2015 r.

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

BARINOVA L.,
Candidate of Sciences (Chemistry), Vice-
President of the Russian Union of Builders
(Moscow)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

KHELMI Sh. S.,
Candidate of Sciences (Engineering)
(Egypt, Cairo)

Results of Scientific Research

- T.V. KUZNETSOVA, A.P. NEFED'EV, D.Yu. KOSSOV
Kinetics of Hydration and Properties of Cement with Metakaolin Addition 3
- M.G. MENZHULIN, G.I. KORSHUNOV, P.I. AFANAS'EV, A.A. BUL'BASHEV, I.A. BUL'BASHEVA
Physical Basis Mechanism of Rock Failure 5
- G.V. KUZNETSOVA, N.N. MOROZOVA, V.G. KHOZIN
Carbonate Powders in Production of Silica Brick with Straight Lime 10
- N.L. POLEYKO, S.N. LEONOVICH
Physical-Mechanical Characteristics of Concrete with Cubiform Crushed Stone 13
- K.B. SAFAROV
The Use of Reactive Aggregates for Producing Concretes Resistant to Aggressive Media 17
- M.S. YELSUFEVA, V.G. SOLOVYEV, A.F. BURYANOV, M.R. NURTDINOV, V.A. KAKUASHA
The Estimation of Long-term Changes in the Properties of Steel Fiber Reinforced Concretes with Expansion Producing Agents 21
- E.V. KOROLEV, M.I. VDOVIN, A.I. AL'BAKASOV, A.S. INOZEMTCEV
Basic Properties of Impregnating-Bridging Compositions to Inhibit the Alkali-Silicate Reactions 24
- D.V. ORESHKIN
Theoretical Justification for the Use of Soft-Leaved Wood in Construction 30
- Living Environment is a National Priority of Russia (Information)** 34
- Focus on Digital Technologies in Construction of Buildings (Information)** 36

Technologies and Equipment

- A.I. NIZHEGORODOV
The Production and Application of Polystyrene-Vermiculite Mixes 41

Materials and Structures

- B.A. BONDAREV, A.B. BONDAREV, P.V. BORKOV, R.Yu. SAPRYKIN, V.A. ZHARIKOV
Adhesion Strength and Durability of Protective Coatings Made of Polymeric Composite Materials in Elements of Structures of Bridgeworks 46
- V.N. MORGUN, L.V. MORGUN, A.V. VISNAP
The Use of Reinforcement in Products Made of Fiber-Foam-Concretes 52
- A.D. LOMAKIN
Protection of the Large-Span Bearing Glued Wooden Constructions 55
- A.A. FEDULOV
Floors for Residential and Public Buildings 60
- A.P. PUSTOVGAR, T.N. SKVORTSOV, S.V. NEFEDOV, I.S. IVANOVA
Assessment of Impact of Various Types of Edges on Strength of Joints of Gypsum Building Slabs 64
- P.P. PASTUSHKOV, A.V. ZHEREBTSOV
About Efficiency of Using Extruded Foam Polystyrene in Enclosing Structures of First and Socle Floors 68
- V.E. DANILOV, A.M. AYZENSTADT, M.A. FROLOVA, M.A. TUROBOVA, A.M. KARELSKIY
Producing of Organomineral Filler on the Basis of Wooden Bark and Basalt for Development of Composite Materials 72
- V.A. VOYTOVICH, I.N. KHRYAPCHENKOVA
About Trends in Application of Hydrophobisators in Construction (Information) 76

Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Highway,
127434, Moscow, Russian Federation
Tel./fax: (499) 976-22-08, 976-20-36
Email: mail@rifsm.ru http://www.rifsm.ru

The authors of published materials are responsible for the accuracy of the submitted information, the accuracy of the data from the cited literature and for using in articles data which are not open to the public. The Editorial Staff can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author. Reprinting and reproduction of articles, promotional and illustrative materials are possible only with the written permission of the editor-in-chief. The Editorial Staff is not responsible for the content of advertisements and announcements.

УДК 667.621.223

Т.В. КУЗНЕЦОВА¹, д-р техн. наук (tvkouzn@mail.ru); А.П. НЕФЕДЬЕВ²; инженер, Д.Ю. КОССОВ¹, инженер¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (125047, г. Москва, Миусская пл., 9)² ГК «Синерго» (127254, Москва, ул. Руставели, 14, стр. 6, этаж 4, офис 12)

Кинетика гидратации и свойства цемента с добавкой метакАОлина

Приведены результаты исследований влияния метакАОлина на кинетику гидратации и технические свойства портландцемента. Показано, что в результате активного взаимодействия метакАОлина с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющегося при гидратации портландцемента, энергия активации процесса гидратации снижается на 21,3% в сравнении с этим показателем обычного бездобавочного портландцемента. Добавка метакАОлина к портландцементу улучшает его свойства.

Ключевые слова: портландцемент, гидратация, твердение, минеральные добавки, морозостойкость, сульфатостойкость.

T.V. KUZNETSOVA¹, Doctor of Sciences (Engineering) (tvkouzn@mail.ru), A.P. NEFED'EV², Engineer, D.Yu. KOSSOV¹, Engineer¹ D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (9, Miusskaya sq., 125047, Moscow, Russian Federation)² «Sinergo» Group of Companies (14, structure 6, floor 4, off. 12, Rustaveli Street, 127254, Moscow, Russian Federation)

Kinetics of Hydration and Properties of Cement with Metakaolin Addition

Results of the study of the influence of metakaolin on the kinetics of hydration and technical properties of Portland cement are presented. It is shown that as a result of active interaction of meta-kaolin with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, released during the hydration of Portland cement, the activation energy of the hydration process is reduced by 21.3% in comparison with this characteristic of common Portland cement without additives. Addition of metakaolin to Portland cement improves its properties.

Keywords: portland cement, hydration, hardening, mineral additives, frost-resistance, sulfate resistance.

В нашей стране, как и во всем мире, накоплен богатейший опыт использования смешанных цементов, т. е. цементов с различными минеральными добавками. Тем не менее на протяжении многих лет этой проблеме все время уделяется большое внимание. Так, на VIII Международном конгрессе по химии цемента работа одной из секций была посвящена химии и технологии смешанных цементов [1–3]. Эта проблема рассматривалась и на последующих конгрессах. В настоящее время рассматривается целесообразность использования цементов с повышенным содержанием добавок, так называемых малоклинкерных цементов для снижения энергозатрат в производстве как цемента, так и бетона [4–6]. В качестве добавок используют различные природные и техногенные материалы: доменный гранулированный шлак, золы и шлаки ТЭС, побочные продукты горных предприятий, опоки, трепелы, отходы при производстве ферросилиция (микрокремнезем). В последнее десятилетие внимание уделяется метакАОлину [8, 9], который рассматривают как пуццолановую добавку.

Целью нашей работы являлось более широкое исследование влияния метакАОлина, включая кинетику гидратации и долговечность цементного камня при использовании метакАОлина как компонента цемента.

Материалы и методы исследования

В работе были использованы портландцементный клинкер, доменный гранулированный шлак, метакАОлин и природный гипс. Химический состав материалов представлен в табл. 1.

Минералогический состав клинкера, %: $\text{C}_3\text{S}=58$; $\text{C}_2\text{S}=18$; $\text{C}_3\text{A}=6$; $\text{C}_4\text{AF}=13$. Гранулированный шлак характеризовался следующими модулями: модуль основности $M_0=1,02$; модуль активности $M_a=0,3$.

Совместным помолотом материалов в установленном соотношении в лабораторной мельнице до удельной поверхности $S_{уд}=350 \text{ м}^2/\text{кг}$ были приготовлены цементы:

- портландцемент с гипсом (5%) без добавок – ПЦ;
- портландцемент с добавкой 20% шлака – ПЦШ;
- портландцемент с добавкой метакАОлина – ПЦМ.

Для исследования процесса гидратации, коррозионной стойкости и морозостойкости использовали методы физико-химического анализа, применяемые в научной практике: ДТА, РФА, СЭМ, калориметрия.

Результаты экспериментов.

Кинетика гидратации

Количественное описание кинетики гидратации вяжущих веществ рассматривалось во многих работах отечественных и зарубежных ученых (Brunauer S., Copeland L., Bragg R. Hydration kinetics of the binders // Journal Phys. Chem. 1956. Vol. 1, pp. 112–115; Ратинов В.Б., Лавут А.П. Вывод уравнений кинетики гидратации при твердении вяжущих веществ // Сборник трудов ВНИИЖелезобетона. 1962. Вып. 6. С. 45–52; Полак А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ. М.: Госстройиздат, 1966. 208 с.; Мчедлов-Петросян О.П. Кристаллохимия вяжущих веществ // Труды совещания по химии и технологии цементов. М.: Промстройиздат, 1956. С. 56–67; Ушеров-Маршак А.В. Тепловыделение

Таблица 1

Химический состав используемых материалов (%)

Материал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	R_2O	SO_3	ППП
Клинкер	21,8	4,94	3,8	66,5	2,63	0,68	0,16	–
Шлак	37,4	11,4	1,9	41,2	8	0,3	0,1	–
МетакАОлин	53,1	43,1	2,4	0,4	0,3	0,15	–	0,55
Гипс	1,58	1,42	0,5	31,2	0,6	0,3	44,5	20

Прочность цементного камня при гидратации и твердении исследуемых цементов

Цемент	Прочность при сжатии в МПа при твердении, сут			
	3	7	28	180
ПЦ	30,4	45,8	54,7	68,3
ПЦШ	28,3	44,1	52,8	71,5
ПЦМ	35	47,2	56,3	77,3

цемента. М.: ВНИИЭСМ, 1980. 68 с.), где представлены формулы для описания процесса гидратации, учитывающие скорость и степень гидратации вяжущего. Процесс гидратации является многостадийным, включающим быстрое взаимодействие воды с вяжущим, растворение частиц, появление зародышей гидратных фаз, рост кристаллов и количества гелеобразных фаз, уплотнение структуры и дальнейшее затвердевание. Поэтому предложены разные уравнения для оценки скорости реакций гидратации, отражающие процесс либо как диффузионный, либо как химический.

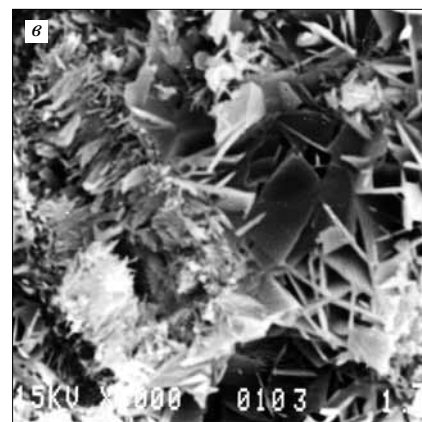
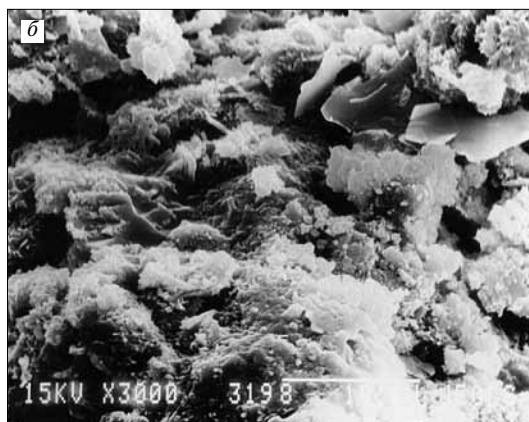
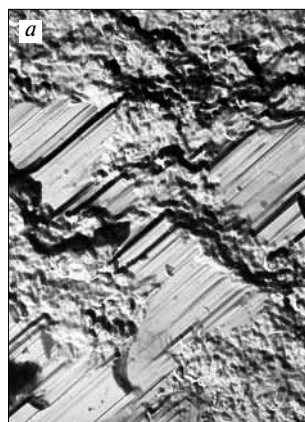
Авторы использовали формулу А.Н. Колмогорова (Колмогоров А.Н. О кинетике реакций взаимодействия между веществами // Изв. АН СССР. Сер. Матем. 1937. Т. 3. С. 355–358), поскольку согласно мнению исследователей для описания сложного процесса гидратации она является наиболее приемлемой. Для определения энергии активации применяют уравнение Аррениуса, описывающее взаимосвязь между константой скорости реакции K , температурой T и энергией активации процесса E_a :

$$K = A \exp(-E_a / RT).$$

Исследуя процесс гидратации при различной температуре, определив константу скорости реакции, можно определить энергию активации по формуле:

$$E_a = \{19,146 (T_1 \cdot T_2) / (T_1 - T_2)\} \cdot \lg (K_2 / K_1),$$

где E_a – энергия активации, кДж/(моль·град); T – температура, К; K – константа скорости реакции при заданной температуре; 19,146 – множитель, учитывающий газовую постоянную R в уравнении Аррениуса и пересчет натуральных логарифмов в десятичные. Результаты исследований показали, что энергия активации обычного портландцемента равна 45 кДж/(моль·град). Добавка шлака незначительно изменяет эту величину и составляет 42,4 кДж/(моль·град). Введение в состав цемента метаксаолина снижает энергию активации процесса более значительно в сравнении со шлаком и достигает 32,3 кДж/(моль·град).



Микроструктура затвердевшего цементного камня при 3000-кратном увеличении: а – ПЦ; б – ПЦШ; в – ПЦМ

Прочность цементного камня и состав продуктов гидратации

Результаты испытаний исследуемых цементов приведены в табл. 2. Из данных табл. 2 видно, что прочность на сжатие цемента с добавкой метаксаолина увеличивается в сравнении с прочностью бездобавочного цемента во все сроки твердения. Повышение прочности главным образом происходит благодаря заполнению пор и пуццоланическому эффекту, образцы становятся более плотными, большее количество CSH геля приводит к упрочнению цементного камня.

Образцы при одинаковой добавке метаксаолина или шлака имеют различные результаты в одинаковые сроки твердения. Цемент с добавкой шлака показывает несколько замедленный рост прочности, несмотря на большую скорость гидратации цемента в сравнении со скоростью гидратации бездобавочного цемента. Как было показано выше, энергия активации процесса гидратации цемента с добавкой шлака на 6,1% ниже энергии активации цемента без добавок. Это объясняется тем, что при гидратации цементов образуются различные продукты гидратации и их количество.

Анализ рентгенограмм цементов после гидратации в течение 28 сут показывает, что главными кристаллическими фазами являются негидратированный клинкер, портландит и эттрингит. При этом портландит ($d_{cr}, \text{Å}=0,267; 0,49; 0,193$) в цементах с добавками слабее, чем в сравниваемом контрольном цементе. Снижение портландита в цементном камне с добавками можно объяснить пуццоланической реакцией добавок с гидроксидом кальция, образующимся при гидратации клинкерных фаз. Эффект изменения скорости гидратации цемента, разбавленного добавками клинкерных фаз, может иметь и другую причину.

На рентгенограмме гидратированного теста с метаксаолином интенсивность портландита и негидратированных пиков снижается в большей степени еще за счет образования эттрингита ($d_{cr}, \text{Å}=0,972; 0,56; 0,465$), интенсивность пиков которого увеличивается от 3 до 28 сут.

Рентгенграмма цемента с добавкой шлака при оценке относительно присутствия гидроксида кальция имеет тенденцию такую же, как и цемент с метаксаолином,

Таблица 3

Морозостойкость испытываемых цементов

№№	Шифр образца	Прочность при сжатии, МПа		Снижение прочности, %	Потеря в весе после 200 циклов
		После 200 циклов	В эквивалентном возрасте без замораживания		
1	ПЦ	59,1	61,5	4	0
2	ПЦШ	60,2	62,1	3,9	0
3	ПЦМ	64,7	66,8	3,2	0

Таблица 4

Прочность цементного камня и коэффициент стойкости K_c

Цемент	Прочность при сжатии, МПа, при твердении					K_c через 6 мес
	в воде			в 5% Na_2SO_4		
	28 сут	3 мес	6 мес	3 мес	6 мес	
ПЦ	54,7	61,1	68,8	68,7	59,7	0,87
ПЦШ	52,8	62,3	71,5	65,5	64,4	0,9
ПЦМ	56,3	66,1	77,3	68,8	71,9	0,93

а интенсивность пика этtringита очень незначительна и почти не фиксируется.

Результаты рентгенофазового анализа подтверждаются дифференциально-термическим анализом гидратированных цементов. Характеристика термических изменений для каждого продукта гидратации следующая: эндотермический пик при 90–120°C свидетельствует об образовании гидросиликатного геля, этtringит фиксируется по эндоэффекту при 140–150°C, широкий и глубокий пик при 480–500°C – это дегидратация портландита – и малый пик в области 680–900°C связан с декарбонизацией карбоната кальция. Эндотермический эффект при 90–120°C (гель CSH) зависит от вида добавки и растет по мере увеличения длительности твердения. Как при добавке шлака, так и метакаолина величина эндоэффекта при указанной температуре увеличивается. Различие в данных ДТА заключается в количестве образующегося этtringита (эндоэффект при 140–1500°C) и его габитусе, что хорошо видно при микроскопических исследованиях (рисунок).

При сравнении микроструктуры контрольного образца и цементного камня с добавками ПЦШ и ПЦМ (табл. 2) можно видеть различные особенности. В цементах с добавками трудно просматриваются поры в сравнении с контрольным образцом. Цементы с добавками более плотные. Морфология гидратных продуктов – этtringита и геля CSH также различна. Большие пластинки портландита распределяются в контрольном цементе (рисунок, а), этtringит растет в порах беспорядочно. В растворах с метакаолином много столбчатых кристаллов этtringита, распределенных равномерно в структуре образца (рисунок, в). При использовании в качестве добавки шлака количество гидросиликатного геля больше (рисунок, б), чем в контрольном образце, кристаллы этtringита имеют разный габитус: в порах тоньше и короче, чем на стыке с гидросиликатным гелем, где облик кристаллов ближе к столбчатым.

Полученные данные свидетельствуют, что соотношение между кристаллическими и гелеобразными фазами, образующимися при гидратации цементов, разное. Разная степень гидратации, отличающееся соотношение кристаллических и гелеобразных фаз в твердеющем цементе обеспечивают различие в прочности исследуемых цементов.

Это согласуется с более ранними работами Т.В. Кузнецовой и А.Е. Шейкина, в которых показано, что для формирования прочного цементного камня необходимо оптимальное соотношение между кристаллическими и гелеобразными фазами в твердеющем цементном камне.

Для успешного применения метакаолина в качестве добавки к портландцементу важно знать не только его влияние на прочность цементного камня, но и другие свойства: морозостойкость и сульфатостойкость.

Морозостойкость цементного камня

Для исследования были приготовлены образцы из цементно-песчаного раствора при соотношении 1:3 (цемент:песок) с водоцементным отношением, равным 0,4. После твердения образцов в стандартных условиях в течение 28 сут их попеременно замораживали при -20°C и оттаивали при +20°C, после каждого цикла определяли наличие трещин на образцах и потерю их веса. Испытания образцов после 200 циклов замораживания и оттаивания (табл. 3) показали, что их прочность, как и бездобавочного цемента, снизилась незначительно, при этом потеря в весе образцов и трещины отсутствуют.

Таким образом, морозостойкость цемента с добавкой метакаолина не ухудшается в сравнении с бездобавочным цементом.

Коррозионная стойкость

Определение сульфатостойкости производилось на стандартных образцах 4×4×16 см при соотношении цемент:песок, равном 1:3, и водоцементном отношении В/Ц=0,4. В качестве агрессивного раствора был использован 5%-й раствор Na_2SO_4 . После твердения в течение 28 сут в воде часть образцов погружали в сульфатный раствор, другую часть оставляли твердеть в воде. По истечении 6 мес образцы испытывали на прочность. Результаты приведены в табл. 4.

Полученные данные показывают, что первоначально происходит уплотнение цементного образца за счет проникновения в тело цементного камня сульфатного раствора, образующийся этtringит заполняет поры, тем самым увеличивая прочность цементного камня. Поскольку пористость бездобавочного цементного камня, как показали микроскопические исследования, выше, возможность проникновения ионов SO_4^{2-} значительно больше в сравнении с другими образцами. Соответственно минеральные добавки снижают негативное воздействие сульфатной среды, особенно добавка метакаолина. Коэффициент стойкости цементного камня с упомянутой добавки достигает 0,93 в сравнении с $K_c=0,87$ бездобавочного цемента.

Таким образом, добавка метакаолина к портландцементу ускоряет процесс гидратации и улучшает основные свойства цементного камня.

Список литературы

1. Uchikawa H. Influence of mineral additives on hydration and structure formation. 1986. *Proceedings of 8th International Congress on Cement Chemistry*. Rio, 1986. Vol. 1, pp. 250–280.
2. Bucci R. Outlines on additions and composite cements. *Proceedings of 8th International Congress on Cement Chemistry*. Rio, 1986. V. 1, pp. 185–198.
3. Regourd M. Characteristics and activation of blended components. *Proceedings of 8th International Congress on Cement Chemistry*. Rio, 1986. V. 1, pp. 199–209.
4. Гусев Б.В., Ин Иен-лян С., Кузнецова Т.В. *Цементы и бетоны – тенденция развития*. М.: Научный мир, 2012. 136 с.
5. Кузнецова Т.В., Кривобородов Ю.Р. Роль минеральных и химических добавок при производстве цемента // *Бетон и железобетон*. 2014. № 1. С. 18–21.
6. Гусев Б.В. Бетонведение – фундаментальное и прикладное направления развития: *II Всероссийская (Международная) конференция по бетону и железобетону*. М.: НИИЖБ, 2005. С. 17–24.
7. Гамалий Е.А., Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбонатного пластификатора // *Вестник Южно-Уральского государственного университета, сер. Строительство и архитектура*. 2009. № 16. С. 29–35.
8. Mansour M., Abadla M., Jauberthie R. Messaoudene I. 2012. Metakaolin as a pozzolan for high performance mortar // *Cement, Wapno, Beton*. 2012. № 2. P. 102–108.
9. Нефедьев А.П., Кривобородов Ю.Р., Коссов Д.Ю. Использование метакеолина при производстве цемента // *Труды III Международной конференции по бетону и железобетону*. Москва. 2014. Т. VI. С. 122–128.

References

1. Uchikawa H. Influence of mineral additives on hydration and structure formation. 1986. *Proceedings of 8th International Congress on Cement Chemistry*. Rio, 1986. Vol. 1, pp. 250–280.
2. Bucci R. Outlines on additions and composite cements. *Proceedings of 8th International Congress on Cement Chemistry*. Rio, 1986. V. 1, pp. 185–198.
3. Regourd M. Characteristics and activation of blended components. *Proceedings of 8th International Congress on Cement Chemistry*. Rio, 1986. V. 1, pp. 199–209.
4. Gusev B.V., In Ien-lan S., Kouznetsova T.V. *Cementy i betony – tendentsiya rasvitiya* [Cements and concretes – tendency of development]. Moscow: Nauchniy mir. 2012. 136 p.
5. Kouznetsova T.V., Krivoborodov Y.R. Role of mineral and chemical additives at cement manufacture. *Beton i zhelezobeton*. 2014. No. 1, pp. 18–21. (In Russian).
6. Gusev B.V. Concrete science – fundamental and practical ways of development. *II Vserossiiskaya (Mezhdunarodnaya) konferentsiya po betonu i zhelezobetonu*. [II The all Russian (International) conference on concrete and reinforced concrete]. Moscow: NIIZHB. 2005, pp. 17–24. (In Russian).
7. Gamaliy E.A., Trofimov B.Y., Kramar L.Y. Structure and properties of cement paste with silika fume and polykarborsilate plastisize. *Vestnik of South-Ural State University. Ceries Building and Architecture*. 2009. No. 16, pp. 29–35.
8. Mansour M., Abadla M., Jauberthie R. Messaoudene I. Metakaolin as a pozzolan for high performance mortar. *Cement, Wapno, Beton*. 2012. No. 2, pp. 102–108.
9. Nefedev A.P., Krivoborodov Y.R., Kossov D.Y. Usage of metakaoline at cement production. *Tudy III Mezhdunarodnoi konferentsii po betonu i zhelezobetonu* [Proceedings of III International conference on concrete and reinforced concrete]. Moscow: MGSU. 2014. V. VI, pp. 122–128.



Институт строительных материалов им. Ф.А. Фингера (FIB) университета Bauhaus-Universität г. Веймар (Германия) организует 19-й Международный конгресс по строительным материалам

г. Веймар (Германия)

IBAUSIL

16–18 сентября 2015 г.

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

Основные темы конгресса

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

Официальные языки конференции – немецкий, английский

Подробности Вы найдете на сайте: www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

УДК 622.235

М.Г. МЕНЖУЛИН¹, д-р техн. наук; Г.И. КОРШУНОВ¹, д-р техн. наук (Korshunov_gi@spmi.ru);
 П.И. АФАНАСЬЕВ¹, канд. техн. наук (afan_@mail.ru);
 А.А. БУЛЬБАШЕВ², канд. техн. наук (abulbashev@maxam.net); И.А. БУЛЬБАШЕВА³, магистр (ines-77@yandex.ru)

¹ Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (199106, Санкт-Петербург, 21-я линия ВО, д. 2)

² ООО «Максам Русия» (105062, Москва, ул. Покровка, д. 33, офис. 4.4)

³ Российский университет дружбы народов (117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6)

Физические основы разрушения скальных горных пород

Описана методика, позволяющая на основе теории распада произвольного разрыва оценить параметры ударной волны на стенке взрывной полости с учетом политропического сжатия реального газа. Предлагается методика определения параметров волн напряжений, основанная на учете фазовых переходов в процессе статической разгрузки. Рассчитана эффективность использования эмульсионных и водно-гелевых ВВ при разрушении скальной горной породы.

Ключевые слова: эмульсионные взрывчатые вещества, водно-гелевые взрывчатые вещества, фазовые переходы, изменение полиморфных модификаций.

M.G. MENZHULIN¹, Doctor of Sciences (Engineering), G.I. KORSHUNOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (Korshunov_gi@spmi.ru),
 P.I. AFANAS'EV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (afan_@mail.ru); A.A. BUL'BASHEV², Candidate of Sciences (Engineering) (abulbashev@maxam.net),
 I.A. BUL'BASHEVA³, Master (ines-77@yandex.ru)

¹ National Mineral Resources University (University of Mines) (2, 21-line, Vasil'evskiy Ostrov, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation)

² «Maxam Rusiya», ООО (33, office 4.4, Pokrovka Street, Moscow, 105062, Russian Federation)

³ Peoples' Friendship University of Russia (6, Miklukho-Maklaya Street, Moscow, 117198, Russian Federation)

Physical basis mechanism of rock failure

This article describes methods that allows on the basis theory breakdown of an arbitrary estimate parameters shock wave on wall borehole of the explosive cavity, with the polytropic compression of real gas. The methods determining parameters of stress waves, based on consideration phase transitions in the process of static stress unload. Estimation effective use emulsion explosives and watergel explosives at mechanism of rock failure.

Keywords: emulsion explosives and watergel explosives, phase transitions, changes polymorphic modification

Работа по повышению эффективности извлечения полезных ископаемых буровзрывным способом ведется исследователями десятки лет. К важным способам оптимизации относятся: выбор рациональной конструкции скважинных зарядов ВВ, таких как рассредоточенный заряд или комбинированный заряд, использование низкобризантных ВВ, схем взрывания и т. д. Тем не менее переизмельчение горной массы остается важной проблемой, так как меняются условия взрывания — увеличивается глубина карьеров, возрастает объем добычи крепких и обводненных пород. Увеличение крепости пород ведет к повышению удельного расхода ВВ, что обуславливает увеличение выхода переизмельченного продукта. Обводненность пород не позволяет использовать низкобризантные ВВ типа игданита и отдельные конструкции скважинных зарядов, например с воздушными промежутками [1].

При взрывании зарядов различных ВВ характер разрушения в ближней зоне неодинаков. Меньшая доля энергии остается в среде при взрыве тех ВВ, у которых меньше скорость детонации. А увеличение скорости детонации сопровождается резким увеличением объемной энергии диссипации разрушения в непосредственной близости от заряда.

Параметры начального состояния среды при вторичном ударном сжатии на стенке взрывной полости определяются значениями параметров на фронте детонационной волны [2]. После преломления детонационной волны скорость частиц в продуктах детонации можно определить по следующей формуле с расчетом политропы реальных газообразных продуктов взрыва:

$$u_{\phi} = u_o - \sqrt{\frac{[\gamma(1-\alpha_o) + \alpha_{ков}\rho_{ВВ}]}{\rho_{ВВ}[\gamma(1-\alpha_o) + 1][(\gamma+1)P_{\phi} + (\gamma-1)P_o]}}(2P_{\phi} - P_o), \quad (1)$$

где γ — показатель политропы; P_{ϕ} — напряжение, возникающее при преломлении детонационной волны; P_o — давление продуктов детонации; u_o — скорость продуктов детонации ВВ; $\alpha_{ков}$ — коволюм; $\rho_{ВВ}$ — плотность ВВ. Показатель политропы находится при решении уравнения, предложенного Ландау и Станюковичем [3].

Данная скорость $u_s = u_{\phi}$ совпадает со скоростью, на фронте преломленной в горную породу ударной волны. Затем, зная начальные параметры волны напряжения на любом расстоянии от заряда, можно вычислить значения волны напряжения на следующих расстояниях, вводя энергию диссипации.

При действии волн напряжений на некоторый выделенный объем нагрузка носит динамический характер, затем происходит статическая разгрузка до нормальных напряжений. Вследствие разности кривых нагрузки и разгрузки в частицах остается часть энергии.

Энергия динамической нагрузки e_H определяется по формуле Гюгоню и совпадает с энергией при идеально-упругой нагрузке:

$$e_H = \frac{1}{2} \cdot P_{(i)} \cdot \frac{1}{\rho_o} \cdot \left(1 - \frac{1}{R_{(i)}}\right), \quad (2)$$

где $P_{(i)}$ — максимальное напряжение в i -м слое; ρ_o — плотность породы; $R_{(i)}$ — относительная плотность (отношение плотностей возмущенной среды к невозмущенной) в i -м слое.

Для оценки энергии разгрузки e_P применяем уравнение Тэта, которое на основании законов термодинамики при постоянной энтропии преобразуется к виду:

$$e_P = \frac{C_V^2}{m} \left[\frac{(\bar{R}_{(i)})^{m-1} - m}{m-1} + \frac{1}{R_{(i)}} \right], \quad (3)$$

где C_V – скорость распространения волны объемного сжатия; m – коэффициент.

На основе формул долговечности кинетической теории прочности [4] и термокинетической теории фазовых переходов на поверхностях трещин, а также зависимости скорости упругих волн от пористости среды Б. Вибенги и А. Мангунвиджой [5] предлагается следующая зависимость по определению скорости распространения возмущений в волне разгрузки [6]:

$$C_V = \sqrt{\frac{1+\nu}{3 \cdot (1-\nu)}} \cdot \frac{B}{\left(\alpha_0 \cdot \frac{U_0}{U_0 - \gamma_1 \cdot \sigma_i}\right)^n}, \quad (4)$$

где α_0 – начальная трещиноватость среды; ν – коэффициент Пуассона; U_0 – энергия активации разрушения; γ_1 – структурный коэффициент; σ_i – текущая составляющая волны напряжений; B, n – эмпирические коэффициенты.

Энергия активации разрушения и структурный коэффициент определяются для каждого процесса разрушения отдельно.

Величина $\alpha = \alpha_0 \cdot \frac{U_0}{U_0 - \gamma_1 \cdot \sigma_i}$ имеет физический смысл

как мера наведенной трещиноватости горной породы.

Для силикатных горных пород (в данном случае рассматривается гранитная горная порода) при высоких параметрах волны напряжений происходит разрыв химических связей минералов, что приводит к изменению фазового состояния горной породы. На примере кремнезема следует отметить возникновение различных полиморфных модификаций на фронте волны напряжений. Так, модификация β -кварца при высоких параметрах волны напряжений переходит в высокобарическую модификацию кремнезема – коэсит. При более высоких параметрах волны напряжений более 9 ГПа коэсит переходит в следующую модификацию – стিশовит. Обнаружение полиморфных модификаций можно увидеть на изломах ударных адиабат горных пород. Существование данных полиморфных модификаций является метастабильным, и при снижении параметров давления они переходят в предыдущие модификации. При невысоких параметрах волны напряжений имеет место дисторсионный фазовый переход, связанный с $\alpha \rightarrow \beta$ превращениями кварца. Описанные фазовые пере-

ходы могут происходить как во всем объеме горной породы (мартенситный фазовый переход), так и в локальных областях среды (диффузный фазовый переход), например в вершинах трещин. Таким образом, изменение полиморфной модификации приводит к возникновению наведенных трещин, к снижению прочности горной породы и как результат происходит увеличение выхода мелких фракций. Поэтому расчет статический разгрузки следует проводить с учетом измененного полиморфного состояния среды. Для расчетов использовалась модель фазовых переходов для анализа развития дефектов при разрушении горных пород.

Удельная энергия диссипации представляет собой разность удельных энергий нагрузки и разгрузки:

$$e_{diss(i)} = e_{H(i)} - e_{P(i)}. \quad (5)$$

Напряжение, возникающее в массиве, определялось по следующей формуле:

$$P_i = \frac{P_f}{\bar{r}_{cp}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^i e_{diss(i)}}{e_0}}, \quad (6)$$

где P_f – напряжение после преломления на границе заряд-камера, МПа; \bar{r}_{cp} – относительное среднее расстояние, в котором находится текущее напряжение; $\sum_{n=1}^i e_{diss(i)}$ – удельная энергия диссипации, определяемая на каждом расстоянии; e_0 – полная внутренняя удельная энергия.

Для эксперимента были выбраны эмульсионные и водногелевые ВВ с детонационными характеристиками (см. таблицу). Определены следующие физико-механические свойства горной породы (гранит): плотность породы $\rho_{пор} = 2600$ кг/м³; коэффициент Пуассона $\nu = 0,23$; скорость продольной волны $C_p = 5000$ м/с; скорость объемной волны $C_v = 5000$ м/с; скорость поперечной волны $C_s = 2960$ м/с. Были рассчитаны пределы прочности массива при динамической нагрузке $\sigma_{СЖ} = 1,4 \cdot 10^9$ Па; $\sigma_{СДВ} = 5,4 \cdot 10^8$ Па; $\sigma_{РАС} = 2,3 \cdot 10^7$ Па.

На рис. 1, 2 представлены расчетные радиальные компоненты волн напряжения для различных типов ВВ и относительные величины энергии диссипации.

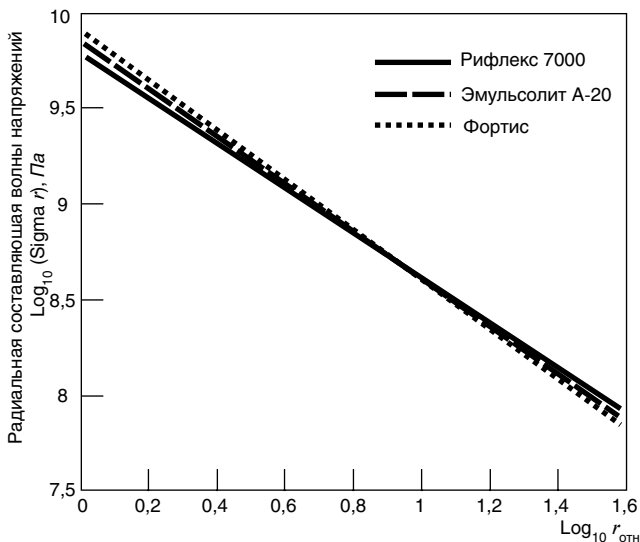


Рис. 1. Зависимость радиальной составляющей волны напряжений от относительного радиуса для различных типов ВВ

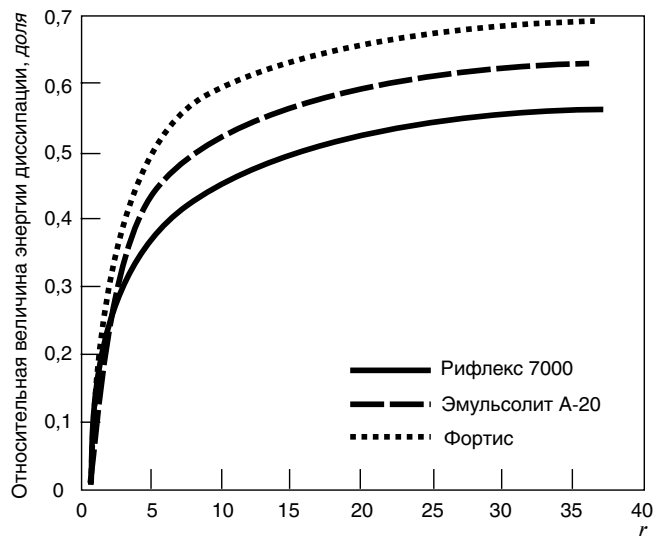


Рис. 2. Зависимость относительной величины энергии диссипации от относительного радиуса для различных типов ВВ

Детонационные характеристики ВВ

Тип ВВ	ρ , кг/м ³	Q , кДж/кг	D , м/с
Рифлекс 7000	1250	3500	4600
Эмульсолит -20	1250	3300	4900
Форнис	1250	3300	5300

Таким образом, учет изменения полиморфных модификаций в скальной горной породе при динамическом нагружении позволяет рассматривать механизм разрушения не только с точки зрения возникновения и

роста дефектов, но и учитывать полиморфные превращения, являющиеся источником изменения физико-механических свойств горной породы в процессе разгрузки. В настоящее время на рынке взрывчатых веществ следует обратить внимание на возможность использования водно-гелевых ВВ, поскольку их энергетическая эффективность выше на 10–20% по сравнению с эмульсионными ВВ, кроме того, водно-гелевые ВВ обладают высокой водоустойчивостью, поскольку после зарядки в скважине превращаются в однородную массу, в которую практически невозможно проникновение различных загрязняющих примесей.

Список литературы

1. Ефремов Э.И., Пономарев А.В. Технология формирования скважинных зарядов ВВ и отбойки обводненных горных пород // *Взрывное дело*. 2007. Вып. 5. С. 33–40.
2. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Изд. 2-е. доп. М.: Недра, 1966. 686 с.
3. Станюкович К.П. Неустойчившееся движение сплошной среды. М.: Наука, 1971. 856 с.
4. Куксенко В.С. Диагностика и прогнозирование разрушения крупномасштабных объектов // *Физика твердого тела*. 2005. Т. 47. № 5. С. 788–792.
5. Якобашвили О.П. Сейсмические методы оценки состояния массивов горных пород на карьерах. М.: ИПКОН РАН, 1992. 260 с.
6. Менжулин М.Г., Афанасьев П.И., Казмина А.Ю. Расчет диссипации энергии на основе определения наведенной трещиноватости при распространении волны напряжения // *Взрывное дело*. 2013. № 109/66. С. 73–79.
7. Менжулин М.Г. Модель фазовых переходов на поверхностях трещин при разрушении горных пород // *Физическая мезомеханика*. 2008. Т. II. № 4. С. 75–80.

References

1. Efremov E.I., Ponomarev A.V. Technology of formation downhole explosive charges breaking and watered rocks // *Vzrivnoe delo*. 2007. Issue 5, pp. 33–40. (In Russian).
2. Zel'dovich Y.B., Raiser Y.P. Fizika udarnykh voln i vysokotemperaturnykh gidrodinamicheskikh yavlenii [Physics of Shock Waves and High-Temperature Hydrodynamic Phenomena]. Moscow: Nedra, 1966. 686 p.
3. Stanyukovich K.P. Neustanovivsheesya dvizhenie sploshnoi sredy [Unsteady motion continuous medium]. Moscow: Nauka, 1971, 856 p.
4. Kuksenko V.S. Diagnosis and prognosis of large-scale destruction objects // *Phizika tverdogo tela*. 2005. Vol. 47. No. 5, pp. 788–792. (In Russian).
5. Yakobashvili O.P. Seismicheskie metody otsenki sostoyaniya massivov gornykh porod na kar'erakh [Seismic methods for assessing the state of rocks in quarries]. Moscow: IPKON RAN, 1992, 260 p.
6. Menzhulin M.G., Afanasiev P.I., Kazmina A.Y. Calculation of energy dissipation based on the determination induced fracture propagation stress wave explosive // *Vzrivnoe delo*. 2013. No. 109/66, pp. 73–79. (In Russian).
7. Menzhulin M.G. Model of phase transitions on the surface cracks in rock failure // *Phizicheskaya Mezomekhanika*. 2008. Vol. II. No. 4, pp. 75–80. (In Russian).



Международная научно-практическая конференция

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ: ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

9–13 ноября 2015 г., Казань, Россия

Конференция проводится под эгидой Федерального агентства по недропользованию и Правительства Республики Татарстан. Конференция посвящена 70-летию ФГУП «ЦНИИгеолнеруд».

В работе конференции планируется участие известных российских и зарубежных ученых, руководителей геологических служб и недропользователей.

Темы конференции

- Прогноз, поиски и оценка месторождений промышленных минералов
- Развитие мирового рынка промышленных минералов и направления развития отечественной минерально-сырьевой базы
- Инновационные методы и методики изучения и оценки качества сырья, технологии добычи, переработки, получения высоколиквидной продукции

Контакты

По организационным вопросам: *Садыков Равиль Касимович* – к. г. н., заместитель директора по науке, (843) 238-74-66, E-mail: root@geolnerud.net

По программным вопросам: *Лыгина Талия Зинуровна* – д. г.-м. н., заместитель директора по науке, (843) 236-53-73 E-mail: root@geolnerud.net

Секретариат: *Антонов Вадим Алексеевич*, (843) 236-44-13, E-mail: antonov-geo@rumbler.ru
Хасанова Марина Борисовна, (843) 236-54-80, E-mail: nauka@geolnerud.net, marina-geolnerud@mail.ru

Адрес: Ул. Зинина, 4, Казань, Россия, 420097

Тел.: 8 (843) 236-47-93. Факс 8 (843) 236 47 04. E-mail: root@geolnerud.net

Подробная информация о конференции размещена на сайте: www.geolnerud.net

УДК 691.316

Г.В. КУЗНЕЦОВА, инженер (kuznetzowa.gal@yandex.ru),
Н.Н. МОРОЗОВА, канд. техн. наук, В.Г. ХОЗИН, д-р техн. наук

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

Карбонатные порошки в производстве силикатного кирпича на бездобавочной извести*

Проведено исследование по использованию минеральных порошков природного и искусственного происхождения в производстве силикатного кирпича. В качестве исследуемых отходов рассматривался минеральный порошок из природного карбонатного материала и осажденный карбонат кальция – отход производства сахара. Сравнение фракционного состава осажденного карбоната кальция с природным минеральным порошком показало близость соотношения фракций у осажденного карбоната кальция и природного минерального порошка. Отличия порошков состоят в форме частиц: осажденный карбонат кальция представлен сферическими поликристаллическими сростками кальцита, а природный минеральный порошок – обломками кристаллов кальцита. Производство силикатного кирпича на чистых намывных песках, содержащих частицы размером менее 0,16 мм 0–2%, приводит к увеличению расхода извести. Исследования показали, что карбонатсодержащие материалы увеличивают сырьевую прочность, но загрязненность отходов влияет на автоклавную прочность.

Ключевые слова: карбонаты кальция, отходы, осадок, порошок, прочность.

G.V. KUZNETSOVA, Engineer (kuznetzowa.gal@yandex.ru),
N.N. MOROZOVA, Candidate of Sciences (Engineering), V.G. KHOZIN, Doctor of Sciences (Engineering)
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

Carbonate Powders in Production of Silica Brick with Straight Lime*

The study of using mineral powders of natural and artificial origin in the production of silica brick has been conducted. Mineral powder from natural carbonate material and precipitated calcium carbonate, waste of sugar production, were considered as studied waste. Comparison of the fractional composition of precipitated calcium carbonate with natural mineral powder shows the closeness of the ratio of fractions of the precipitated calcium carbonate and natural mineral powder. Powders differ in the form of particles: precipitated calcium carbonate is presented as spherical polycrystalline calcite intergrowths and natural mineral powder – as fragments of calcite crystals. The production of silicate brick with clear alluvial sand, containing 0–2% of particles with size less than 0.16 mm, leads to an increase in lime consumption. The study shows that carbonate-containing materials increase the raw strength, but waste pollution affects the autoclave strength.

Keywords: calcium carbonates, waste, sediment, powder, strength.

Горно-обогатительная, металлургическая, химическая и пищевая промышленность и энергетика при производстве основного продукта выпускают и побочные материалы, являющиеся источником техногенного сырья. Одними из широко распространенных отходов промышленности являются карбонатсодержащие материалы.

Отходы дробления горных пород позволяют получать искусственные пески, каменную муку из чистой породы и др. При производстве сахара образуется синтетический осажденный карбонат кальция. В химической промышленности при производстве азотных удобрений образуется конверсионный карбонат кальция [1]. Конверсионный или химически осажденный карбонат кальция получают осаждением кальция из водных растворов нитрата кальция карбонатом аммония. Такой карбонат кальция является мелкодисперсным продуктом (до 90% частиц размером менее 100 мкм). Фильтрационный осадок (дефекат) в мелкодисперсной форме со средними размерами частиц 17 мкм содержит в основном углекислый кальций CaCO_3 (60–75% по сухому веществу), 10–15% органических веществ, в том числе белков и углеводов, кальциевые соли щавелевой, лимонной, яблочной кислот и др. Элементный состав осадка включает углекислый магний, азот (0,2–0,7% N), фосфор (0,2–0,9% P_2O_5), калий (0,3–1% K_2O) [2]. Отходы загрязнены примесями, поэтому значительная их часть остается в отвалах предприятий как карбонатный отход производства.

Сравнение фракционного состава осажденного карбоната кальция с природным минеральным порошком показало близость соотношения фракций (размеров зерен) у осажденного карбоната кальция и природного минерального порошка (МП). Отличия состоят в форме частиц: осажденный карбонат кальция представлен сферическими поликристаллическими сростками кальцита, а природный МП – обломками кристаллов кальцита [3].

Производители извести в прайс-листах предлагают к реализации пыль уноса. Известковые производства, которыми располагают заводы силикатного кирпича, сами являются производителями таких отходов, как пыль из фильтров участков дробления и обжиговых печей, отсеvy грохота.

С точки зрения сырья для силикатных материалов, содержание кремнезема в породах составляет: ультраосновных (менее 45% SiO_2), основных (45–55% SiO_2), среднекислых (55–65% SiO_2) и кислых (более 65% SiO_2). Содержание SiO_2 в песке для силикатных материалов должно быть по возможности более 70%. Хороший песок должен содержать более 95%, пригодный – более 30% SiO_2 [4].

Проведено исследование по использованию минеральных порошков природного и искусственного происхождения в производстве силикатного кирпича. В качестве исследуемых отходов рассматривался минеральный порошок из природного карбонатного материала и осажденный карбонат кальция производства сахара.

* Работа выполнена по заданию № 7.1955.2014/К в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки РФ.

* The work was executed under the task № 7.1955.2014/К within the framework of the design part of the state assignment in the sphere of scientific activity of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Таблица 1

Гранулометрический состав песка

Наименование показателя	Номера сит						
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Менее 0,16
Частные остатки на сите, %	0	0	0,2	0,3	39,2	58,3	2
Полные остатки на сите, %	0	0	0,2	0,5	39,7	98	100

Таблица 2

Влияние карбонатсодержащих добавок на прочностные характеристики силикатного кирпича, изготовленного по прямой технологии с использованием бездобавочной молотой извести

Вид и кол-во добавки, %	Содержание активных CaO+MgO в формовочной смеси, %								
	8		9		10				
	Прочность, МПа	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	Плотность, кг/м ³	
Минеральный порошок									
0	0,45	19,9	1946	0,6	22,2	1946	0,77	24,5	1980
5	0,62	20,3	1979	0,7	25,4	1960	0,85	30,6	2013
10	0,72	27	2013	0,8	27,5	1980	0,89	28,5	2013
20	0,95	28	2013	1,1	28,2	2013	1,26	26	2013
Пыль из фильтра									
0	0,36	23,9	1803	0,43	24,2	1813	0,53	29,7	1846
5	0,49	24,3	1893	0,53	26,5	1903	0,62	30,2	1938
10	0,57	27,8	1983	0,63	28,1	1994	0,66	28,5	2013
Осажденный карбонат									
0	0,36	23,9	1803	0,43	24,2	1813	0,53	29,7	1846
5	0,39	21,2	1847	0,54	17,9	1853	0,61	23,5	1828
10	0,64	18,4	1828	0,7	17,1	1841	0,76	16,8	1816
15	0,82	12,4	1816	0,87	13,1	1810	0,9	11,8	1810

Обжиг проб природного и искусственного порошков при температуре 1000°C показал содержание активных CaO+MgO в природных порошках 92%, в искусственном – 74%. Содержание нерастворимого осадка в осажденном карбонате не превышает 0,5%, в природном – 10%.

Зарубежные технологии, базирующиеся на прямой технологии производства силикатного кирпича с использованием бездобавочной молотой извести, в рецептуре содержат не более 10% извести, так как дальнейшее увеличение экономически невыгодно [5]. Переход от традиционной технологии производства силикатного кирпича с использованием известково-кремнеземистого вяжущего как мелкодисперсного материала к прямой технологии с бездобавочной известью для намывных песков требует увеличения расхода извести до 12%. Это проблема чистых намывных песков, содержащих зерна размером менее 0,16 мм до 2%. В исследовании использовалась известь содержанием активных CaO+MgO 72% с удельной поверхностью 600 м²/г, минеральный порошок с удельной поверхностью 600 м²/г, пыль с участка дробления 700 м²/г; осажденный карбонат кальция с производства сахара характеризуется размером частиц 40 мкм, песок с $M_{кр}=1,37$, гранулометрический состав которого представлен в табл. 1.

Прочность кирпича-сырца при съеме с пресса должна составлять 0,35–0,5 МПа [6]. Прочность полнотелого кирпича-сырца по известной методике испытания – два кирпича постель на постель – должна быть для лицевого кирпича не менее 0,5 МПа. Для строителей сегодня важен внешний вид и достаточной является марка кирпича М150.

Как видно из табл. 2, добавки из карбонатсодержащих материалов в составе кремнеземистого компонента

повышают сырцовую прочность. Добавка мелкодисперсных карбонатов в количестве 10–15% позволяет увеличить сырцовую прочность в два раза. Использование добавки мелкодисперсных карбонатов снижает расход извести с 10 до 8% в составе формовочной смеси при неизменном качестве внешнего вида, обеспечиваемого сырцовой прочностью не менее 0,5 МПа.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что автоклавная прочность при увеличении содержания активных CaO+MgO в смеси увеличивается, а использование добавки из природного материала в составе кремнеземистого компонента также приводит к увеличению прочности кирпича.

Применение осажденного карбоната кальция производства сахара в составе кремнеземистого компонента снижает автоклавную прочность изделий, но она остается на уровне не менее марки 125–150.

Анализ плотности прессованных образцов показал, что при увеличении содержания активных CaO+MgO в смеси увеличивается и плотность. Введение добавок из природных материалов в составе кремнеземистого компонента приводит к увеличению плотности образцов. При применении осажденного карбоната кальция с производства сахара плотность увеличивается в интервале от 5 до 10%, в дальнейшем плотность снижается при неизменном росте сырцовой прочности.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

Минеральные карбонатсодержащие порошки природного и искусственного происхождения могут быть использованы в качестве мелкодисперсных добавок в производстве силикатного кирпича по прямой технологии на основе бездобавочной извести.

Минеральные карбонатсодержащие порошки природного и искусственного происхождения в составе кремнеземистого компонента повышают сырьевую прочность в два раза при дозировке 10–15%.

Минеральные карбонатсодержащие порошки природного происхождения в составе кремнеземистого компонента повышают автоклавную прочность от 16 до 40%.

Порошки из осажженного карбоната кальция – отход производства сахара – в составе кремнеземистого компонента приводят к снижению автоклавной прочности.

Список литературы

1. Труфанов Д.В. Совершенствование технологии производства извести по мокрому способу из мела высокой чистоты // *Строительные материалы*. 2009. № 11. С. 92–94.
2. Балабко П.Н., Славянский А.А., Хуснетдинова Т.И., Головков А.М., Черкашина Н.Ф., Карпова Д.В., Выборова О.Н. Использование фильтрационного осадка (дефеката) в растениеводстве // *АгроЭкоИнфо (электронный журнал)*. 2013. № 1. <http://agroeco.info.pnrod.ru/journal/> (дата обращения 13.07.2015).
3. Корнеев В.И., Богоявленская Г.А. Конверсионный кальцит ОАО «Акрон» в составе ССС // *Доклады конференции BALTIMIX*. СПб., 2004.
4. Кузнецова Г.В. Известковое вяжущее для стеновых силикатных изделий из отсеков дробления горных пород // *Строительные материалы*. 2014. № 12. С. 34–37.
5. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Влияние компонентов известково-кремнеземистого вяжущего на связ-

ность формовочной массы при прессовании // *Строительные материалы*. 2012. № 12. С. 69–71.

6. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. М.: Эколит, 2011. 128 с.

References

1. Trufanov D.V. Improvement of Technology of Lime Production from Chalk of High Purity with Wet Method. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 11, pp. 92–24. (In Russian).
2. Balabko P.N., Slavyanskii A.A., Khusnetdinova T.I., Golovkov A.M., Cherkashina N.F., Karpova D.V., Vyborova O.N. Using the filter cake (defecate) in plant. *AgroEkoInfo (elektronnyi zhurnal)*. 2013. No. 1. (date of access 13.07.2015). (In Russian).
3. Korneev V.I., Bogoyavlenskaya G.A. The conversion of calcite “Akron” in the composition of dry mixes. *Conference Reports BALTIMIX*. Sankt-Peterburg. 2004. (In Russian).
4. Kuznetsova G.V. A Lime Binder for Wall Silicate Products from Chippings of Rock Crushing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 12, pp. 34–37. (In Russian).
5. Kuznetsova G.V., Morozova N.N. Influence of Components of a Lime-Siliceous Binder on Cohesion of Molding Material for Pressing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 12, pp. 69–71. (In Russian).
6. Khavkin L.M. Tekhnologiya silikatnogo kirpicha [Technology of sand-lime brick]. Moscow: Ekolit. 2011. 128 p.

Некоммерческое партнерство
производителей извести

Научно-технический
и производственный журнал



ПРИГЛАШАЮТ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ
В МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ»

15–16 сентября 2015 г. Италия, Бергамо

Тематика конференции

- Рынок извести в современных условиях
- Технологии подготовки сырья и энергоносителей
- Шахтные и вращающиеся печи
- Вопросы экологии. Эффективная пыле- и газоочистка и утилизация отработанных газов
- Техническое перевооружение предприятий производства извести
- Гидратация извести
- Транспортные системы

Выездная сессия на заводе Fornaci Zulian

ОРГКОМИТЕТ

<p>Журнал «Строительные материалы»[®] Тел./факс: (499) 976-22-08, 976-20-36 e-mail: izvest@bk.ru, mail@rifsm.ru www.rifsm.ru</p>	<p>Союз производителей извести Тел./факс: (473) 239-84-95 e-mail: SPI-2006@yandex.ru www.soyuzizvest.ru</p>
--	---

УДК 614.841.33

Н.Л. ПОЛЕЙКО, канд. техн. наук, С.Н. ЛЕОНОВИЧ, д-р техн. наук, иностранный академик РААСН
Белорусский национальный технический университет (220013, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65)

Физико-механические показатели бетона на кубовидном щебне

Требования к бетонам по их эксплуатационным качествам, области применения, физико-техническим свойствам, условиям долговечности расширяют область экономического использования различных видов заполнителей. Если учесть, что заполнители занимают в бетоне до 80% объема, а стоимость их достигает 50% стоимости бетонных и железобетонных конструкций, то становится понятным, что правильный выбор заполнителей, наиболее рациональное их применение имеют большое влияние на свойства бетонной смеси, бетонных и железобетонных конструкций, технико-экономическую эффективность производства строительных изделий из сборного, монолитного бетона и железобетона в целом. Приводятся сравнительные результаты испытаний обычного и кубовидного щебня, исследования основных физико-технических свойств бетона на кубовидном щебне из гранита (прочность при сжатии, растяжение при раскалывании, морозостойкость, водонепроницаемость, водопоглощение и коэффициент сопротивления воздухопроницаемости). В результате проведенных сравнительных исследований установлено, что применение кубовидного щебня в качестве крупного заполнителя целесообразно в бетонах конструкций, работающих в условиях центрального и внецентренного сжатия.

Ключевые слова: бетон, щебень кубовидный, бетонные конструкции, сборный железобетон.

N.L. POLEYKO, Candidate of Sciences (Engineering) (pdn13@land.ru), S.N. LEONOVICH, Doctor of Sciences (Engineering), Foreign Academician of RAACS
Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Avenue, Minsk, 220013, Belarus)

Physical-Mechanical Characteristics of Concrete with Cubiform Crushed Stone

Requirements for concretes regarding their operational qualities, areas of application, physical-technical properties, terms of durability expand the area of economic application of fillers of various types. Considering that fillers occupy up to 80% of the concrete volume and their cost reaches 50% of the cost of concrete and reinforced concrete products, it becomes clear that the correct selection of fillers and the most rational application of them have a great impact on properties of the concrete mix of concrete and reinforced concrete structures, technical-economic efficiency of producing building products made of precast, monolithic concrete and reinforced concrete in whole. The article presents comparative results of tests of ordinary and cubiform crushed stones, studies of basic physical-technical properties of concrete with cubiform granite crushed stone (compression strength, split-tensile strength, frost-resistance, waterproofness, water adsorption, and coefficient of resistance to air permeability). As a result of comparative studies conducted, it is established that the use of cubiform crushed stone as a large-size filler is reasonable for concretes of structures operating under conditions of central and eccentric compression.

Keywords: concrete, cubiform crushed stone, concrete structures, precast reinforced concrete.

Основным материалом для возведения разнообразных строительных конструкций, в том числе и сборных, является бетон. Название бетона зачастую связывают с видом используемых заполнителей, которые занимают в бетоне до 80% объема, а их стоимость достигает 30–50% стоимости бетонных и железобетонных конструкций. Поэтому изучение и правильный выбор заполнителя имеет важное значение для получения бетона с требуемыми физико-механическими показателями.

Одна из характеристик заполнителей – форма их зерен. В нормативных документах ее принято характеризовать определенными терминами.

Щебень узких фракций – дробленый каменный материал с размером зерен, соответствующим стандартным ситам с круглыми отверстиями диаметром от 2,5 до 20 мм, разделенный на фракции диапазоном 2,5 или 5 мм.

Щебень кубовидный – щебень узких фракций с содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы не более 15% по массе.

Щебень кубовидный мелкий – щебень кубовидный с размером зерен от 2,5 до 5 мм.

Зерна кубовидной формы – зерна щебня с околотовой поверхностью в форме призмы или многогранника, толщина и ширина которых меньше длины не более чем в два раза.

Щебень из плотных горных пород – минеральный зернистый сыпучий материал, получаемый дроблением массивных изверженных (магматических) интрузивных горных пород (гранит, диорит, габбро и др.) со средней плотностью от 2,5 до 3 г/см³.

Щебень кубовидный выпускают следующих основных фракций, мм (по ситам с круглыми отверстиями): от 2,5 до 5; > 5 до 7,5; св. 5 до 10; св. 7,5 до 12,5; св. 10

до 15; св. 12,5 до 17,5; св. 15 до 20.

Соответствие размеров фракции щебня по ситам с круглыми отверстиями и зерен щебня по ситам с квадратными отверстиями приведено в табл. 1.

Щебень кубовидный в зависимости от содержания зерен кубовидной, пластинчатой и игловатой формы, а также от содержания пылевидных и глинистых частиц классифицируют по сортам в соответствии с табл. 2.

Зерна кубовидного щебня влияют на плотность упаковки заполнителя в объеме. Многочисленными экспериментальными данными доказано, что наиболее плотная укладка достигается в заполнителе, содержащем зерна в виде различных правильных многогранников [1–4].

Кубовидный щебень по форме зерен позволяет по-

Таблица 1

Диаметр отверстия контрольного сита с круглыми ячейками из стандартного набора сит для щебня, мм	Соответствующий размер зерен щебня по ситам с квадратными ячейками, мм
2,5	2
5	4
7,5	6,3
10	8
12,5	10
15	12
17,5	14
20	16

Таблица 2

Сорт кубовидного щебня	Содержание зерен кубовидной формы, мас. %, не менее	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, мас. %, не более	Содержание пылевидных и глинистых частиц, мас. %, не более
I	Свыше 65 до 100 вкл.	До 8 вкл.	До 0,5 вкл.
II	Свыше 50 до 100 вкл.	До 15 вкл.	До 10 вкл.

Таблица 3

Наименование щебня (НД)	Частные остатки на ситах, %	Полные остатки, %	Требования НД
Кубовидный фр. 2–4 мм	1,25–5,4	98,9	98–100
	2,5–86	93,5	95–100
	5–7,5	7,5	до 10
	7,5–0	0	Не допускается
Кубовидный фр. 6,3–10	5–8,5	99,2	95–100
	7,5–24,6	90,7	90–100
	10–64,3	66,1	30–80
	12,5–1,8	1,8	до 10
	15–0	0	Не допускается

лучать большую плотность упаковки по сравнению с обычным щебнем, так как, во-первых, содержит малое количество зерен пластинчатой и игловатой формы и, во-вторых, характеризуется содержанием зерен кубовидной формы (соотношение толщины (ширины) к длине 1:2 и менее). В зависимости от качества кубовидного щебня содержание таких зерен в нем колеблется от 50 до 65% по массе, согласно СТБ 1311–2002 «Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия».

Представляет интерес исследование основных физико-механических характеристик бетона на кубовидном щебне, поскольку в настоящее время данный вид заполнителя используется в основном в дорожном строительстве для устройства оснований под автомобильные дороги.

Предварительно в лабораторных условиях были

Таблица 4

Наименование щебня	Потеря массы при испытаниях на дробимость, %	Марка щебня по дробимости
Кубовидный фр. 2–4	9,2	1400
Кубовидный фр. 6,3–10	11,5	1400

Таблица 5

Наименование щебня (НД)	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, %	Содержание зерен кубовидной формы, %
Кубовидный фр. 2–4	2,1	86,2
Кубовидный фр. 6,3–10	5	80,7

Таблица 6

Наименование щебня (НД)	Насыпная плотность, кг/м ³	Средняя плотность зерен, кг/м ³	Содержание зерен слабых пород, %
Кубовидный фр. 2–4	1320	2580	2,2
Кубовидный фр. 6,3–10	1390	2580	1,6

проведены испытания по определению физико-механических свойств двух фракций кубовидного щебня. Результаты испытаний по определению зернового состава приведены в табл. 3.

Марку по дробимости крупного заполнителя определяли по степени разрушения пробы материала при сжатии в цилиндре при нормируемой нагрузке. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

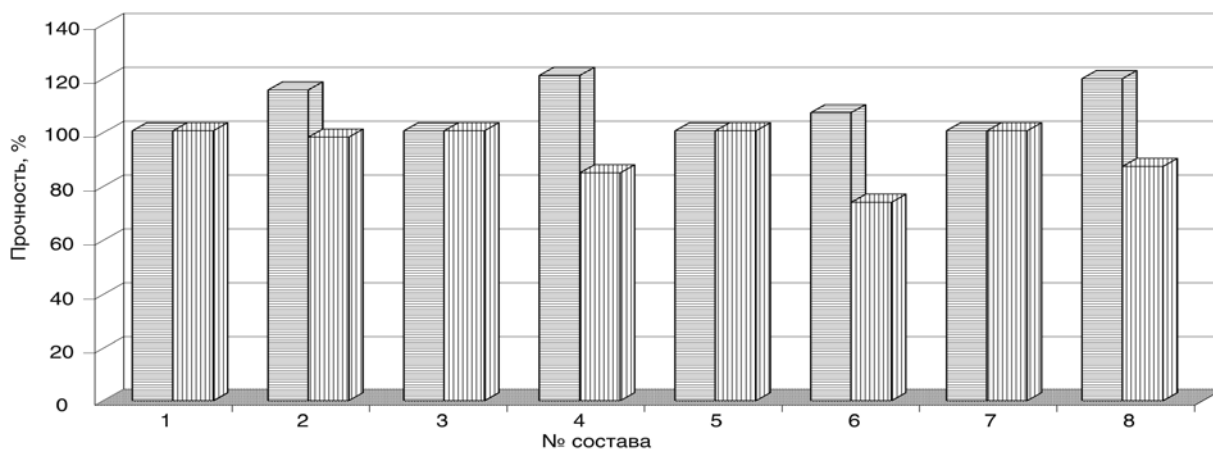
Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы определяли по ГОСТ 8269.0–97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний», а содержание зерен кубовидной формы определяли по СТБ 1311–2002 «Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия». Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Насыпную плотность, среднюю плотность зерен крупного заполнителя и содержание зерен слабых пород определяли по ГОСТ 8269.0–97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний». Результаты испытаний представлены в табл. 6.

Целью экспериментальных исследований являлось получение сравнительных показателей основных физико-механических характеристик бетона, изготовленного с использованием обычного и кубовидного

Таблица 7

№ состава	Наименование и фракционный состав заполнителя	Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³
1	Обычный фр. 5–10 мм	2410
2	Кубовидный фр. 5–10 мм	2430
3	Обычный фр. 10–15 мм	2380
4	Кубовидный фр. 10–15 мм	2390
5	Обычный фр. 15–20 мм	2405
6	Кубовидный фр. 15–20 мм	2420
7	Обычный фр. 5–20 мм	2400
8	Кубовидный фр. 5–20 мм	2430



Прочность при сжатии и на растяжение при раскалывании образцов на обычном и кубовидном щебне: ≡ – при сжатии; ||| – при растяжении

Таблица 8

№ состава	Водопоглощение, мас. %	Коэффициент сопротивления воздухопроницаемости, с/см ³	Морозостойкость, цикл	Водонепроницаемость, МПа
1	5,3	7,3	150	0,6
2	4,7	8,8	150	0,6
3	4,4	10,2	200	0,8
4	4,4	10,5	200	0,8
5	4,8	9,8	200	0,8
6	4,1	12,6	200	0,8
7	6,2	6,2	100	0,4
8	4,9	9,3	150	0,6

щебня. Исследования проводились на восьми составах бетонной смеси. Использовались следующие фракции заполнителей: 5–10; 10–15; 15–20 мм и смеси фракций в соотношении 40% фракции 5–10 мм и 60% фракции 15–20 мм. Образцы для проведения испытаний готовились в лабораторных условиях; перед испытанием хранились в нормально-влажностной среде; подвергались испытаниям в возрасте 28 сут. Определяли следующие показатели: прочность при сжатии, прочность при растяжении при раскалывании, водопоглощение, водонепроницаемость и морозостойкость (по коэффициенту воздухопроницаемости). Перед формованием образцов для проверки правильности подобранных составов бетонных смесей определяли среднюю плотность бетонной смеси. Результаты испытаний представлены в табл. 7.

Данные табл. 7 показывают, что кубовидный щебень в бетонной смеси укладывается более плотно, чем обычный щебень, что отражается на изменении средней плотности бетонной смеси и, как следствие, на уменьшении выхода бетона в плотном теле. Различие в изменении средней плотности бетонной смеси зависит, во-первых, от фракционного состава заполнителя, а также от характеристик состава (соотношение растворной составляющей и крупного заполнителя, водоцементное отношение, удобоукладываемость и т. д.).

Наряду с такими характеристиками крупного заполнителя, как прочность, величина сцепления цементного камня с поверхностью зерен и т. д., на изменение прочностных показателей бетона оказывает влияние пустотность заполнителя в уплотненном состоянии. С одной стороны, чем она меньше, тем меньше требуется цементного теста для заполнения пустот

и тем выше при равных расходах цемента должна быть прочность. С другой стороны, чем меньше пустотность заполнителя, тем выше средняя плотность затвердевшего бетона, а поскольку существует связь между плотностью и прочностью материала, следовательно, выше будет и прочность самого бетона. Результаты испытаний по определению прочности на сжатие и растяжение при раскалывании приведены на рисунке.

Данные, приведенные на рисунке, свидетельствуют о том, что кубовидный щебень наряду с повышением прочности при сжатии уменьшает сопротивление бетона разрушению при раскалывании. Исследования по определению влияния зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы на прочность бетона при растяжении показали, что при увеличении содержания данных зерен сопротивление бетона растяжению возрастает. Можно предположить, что снижение прочности на растяжение при раскалывании вызвано формой зерен кубовидного щебня (низкое содержание зерен пластинчатой и игловатой формы). Прочность при сжатии бетонных образцов на кубовидном щебне возрастает в среднем примерно на 25–30%, а прочность при растяжении при раскалывании уменьшается на 5–12%.

Увеличение прочности при сжатии также определяется гранулометрическим составом крупного заполнителя и характеристиками состава бетонной смеси. Не вполне ясной является зависимость сопротивления бетона растяжению при раскалывании от гранулометрического состава крупного заполнителя.

К весьма важным характеристикам качества бетонов относятся эксплуатационные показатели, такие как водонепроницаемость и морозостойкость, которые

определяли согласно ГОСТ 12730.5–84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости» и ГОСТ 10060.2–95 «Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании». Для первоначальной оценки эксплуатационных показателей определяли водопоглощение образцов, поскольку оно является косвенной характеристикой водонепроницаемости и морозостойкости бетона. Показатели оценивали по ГОСТ 12730.3–78 «Метод определения водопоглощения» на приборе типа «АГАМА-2р». Результаты по определению водопоглощения, коэффициента сопротивления воздухопроницаемости и ожидаемая морозостойкость и водонепроницаемость образцов восьми составов

приведены в табл. 8.

Данные табл. 8 позволяют сделать вывод, что использование кубовидного щебня не влияет на морозостойкость и водонепроницаемость бетона. Незначительное различие в показателях водопоглощения и коэффициента сопротивления воздухопроницаемости вызвано нормальной погрешностью при определении контролируемых показателей.

Выводы. На основании результатов экспериментальных исследований рациональной областью применения кубовидного щебня можно считать его использование для изделий и конструкций, работающих в условиях центрального и внецентренного сжатия.

Список литературы

1. Старчуков Д.С. Бетоны ускоренного твердения с добавками твердых веществ неорганической природы // *Бетон и железобетон*. 2011. № 14. С. 22–24.
2. Загер И.Ю., Яшинкина А.А., Андропова Л.Н. Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождений нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого автономного округа // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 84–86.
3. Добшиц Л.М., Магомедэминов И.И. Определение морозостойкости крупного заполнителя для тяжелых бетонов // *Бетон и железобетон*. 2012. № 4. С. 16–19.
4. Петров В.П., Токарева С.А. Пористые заполнители из отходов промышленности // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 46–50.

References

1. Starchukov D.S. Concrete of the accelerated curing with additives of strong substances of the inorganic nature. *Beton i zhelezobeton*. 2011. No. 14, pp. 22–24. (In Russian).
2. Zager I. Yu., Yashinkina A.A., Andropova L.N. Comparative assessment of products of crushing of rocks of fields of nonmetallic construction materials of the Yamalo-Nenets Autonomous Area. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 5, pp. 84–86. (In Russian).
3. Dobshits L.M., Magomedeminov I.I. Determination of frost resistance of large filler for heavy concrete. *Beton i zhelezobeton*. 2012. No. 4, pp. 6–19. (In Russian).
4. Petrov V.P., Tokareva S.A. Porous fillers from industry waste. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 12, pp. 46–50. (In Russian).



ЭКСПЕРТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР КРЫМА И Г. СЕВАСТОПОЛЯ



ФОРУМ

«ЖКХ КРЫМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА:
«РЕФОРМИРОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ»

08-09 СЕНТЯБРЯ 2015 ГОДА

РЕСПУБЛИКА КРЫМ, Г. АЛУШТА, ОТЕЛЬ «RIVIERA SUNRISE RESORT & SPA»

САЙТ: WWW.IKFO.RU, E-MAIL: INFO@IKFO.RU, ТЕЛ.: +7 (495) 268-05-90

УДК 691.32

К.Б. САФАРОВ, инженер (sk90@mail.ru)

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

Применение реакционноспособных заполнителей для получения бетонов, стойких в агрессивных средах

Необходимость исследовать заполнители, обладающие реакционной способностью к щелочам цементного камня, вызвана отсутствием в отдельных регионах инертных материалов, отвечающих требованиям нормативно-технической документации для получения бетонов, стойких в агрессивных средах. Анализ имеющихся литературных данных показал необходимость оценить возможность использования местных инертных материалов при строительстве Рогунской гидроэлектростанции в Таджикистане. В целях предотвращения реакционной способности инертных материалов Рогунских месторождений и возможности использования их в качестве заполнителей в бетоны были рассмотрены зола-уноса и микрокремнезем, как активные минеральные добавки. Подобран состав бетона, в котором 15% цемента заменено золой-уноса и 5% – микрокремнеземом, что значительно снизило реакционную способность инертных материалов и подтвердило возможность их эффективного использования.

Ключевые слова: реакционная способность заполнителей, зола-уноса, микрокремнезем, коррозия.

K.B. SAFAROV, Engineer (sk90@mail.ru)

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

The Use of Reactive Aggregates for Producing Concretes Resistant to Aggressive Media

The necessity to study fillers, which have the reactive ability to alkalis of cement stone, is caused by the absence, in some regions, of inert materials which meet requirements of normative-technical documentation for producing concretes resistant to aggressive media. An analysis of available literature data shows the need for assessment of the possibility to use local inert materials in the course of construction of the Rogun HPS in Tajikistan. To prevent the reactive capacity of inert materials of Rogun deposits and to use them as fillers for concrete, fly ash and micro-silica were considered as active mineral additives. The composition of concrete in which 15% of cement was replaced by fly ash and 5% – by micro-silica was selected; this significantly reduced the reactive capacity of inert materials and confirmed the possibility of their efficient application.

Keywords: reactive capacity of fillers, fly ash, micro-silica, corrosion.

Необходимость исследования заполнителей, обладающих реакционной способностью к щелочам цементного камня, вызвана отсутствием в отдельных регионах инертных материалов, отвечающих требованиям нормативно-технической документации для получения бетонов, стойких в агрессивных средах [1–3]. О последствиях использования реакционноспособных заполнителей в бетоне известно по опыту применения бетонов в конструкциях мостов, тоннелей и плотин. В период с 1922 по 1942 г. в США были обнаружены разрушения четырех плотин (в штатах Калифорния, Орегон, Айдахо, Арканзас), трех зданий (в штатах Вайоминг, Канзас, Айдахо), моста (в штате Канзас) и дорог (в штатах Калифорния, Вашингтон, Небраска). В качестве выявленной причины повреждений бетона были определены реакции между щелочами цемента и используемыми за-

полнителями. Внешние повреждения послужили в США поводом для многочисленных исследований причин и мер противодействия [4, 5]. В начале 1950-х гг. реакция щелочь – кремниевая кислота получила известность в Австралии, а с середины 1950-х гг. повреждения отмечались во многих странах (Канада, Дания, Исландия, ЮАР и т. д.). Общественность в Германии обратила внимание на проблему последствий реакции в результате повреждений Лахсверского моста, который был построен в 1965/66 г. и уже в 1968 г. из-за опасности эксплуатации должен был быть снесен. На территории ГДР первые повреждения вследствие реакции щелочь – кремниевая кислота были отмечены в 1979/80 г. в Мекленбурге и в 1983 г. в Саксонии и Тюрингии [4, 5]. Повреждение шпал из предварительно напряженного железобетона вследствие реакции щелочь – кремниевая

Таблица 1

Минерал и вид кремнезема	Виды потенциально реакционноспособных пород	Минимальное содержание минерала, мас. %, при котором возможна щелочная коррозия бетона
Опал	Базальты и другие лавы. Известняки, роговики, сланцы опаловидные	0,25
Кристобалит, тридимит, кристаллические	Расплавы, состоящие из кремнезема (материалы, полученные плавлением)	1
Кварц выветрелый деформированный	Кварцевые витрофиры, кварциты, песчаники, вулканические и метаморфические кислые породы	3
Стекло кислое аморфное	Обсидианы, перлиты, липариты, дациты, андезитодациты, андезиты, туфы и аналоги этих пород, имеющие стекловидную основу	3
Халцедон криптомикроркristаллический	Кремни, известняки, доломиты, песчаники с опалохалцедоновым и халцедонокварцевым цементом, яшмы, роговики	5

Таблица 2

Карьер	Материал	Содержание растворимого кремнезема (SiO ₂), ммоль/л	
		Растворимый SiO ₂	Примечание
15Б	Щебень фр. 5–10, 10–20, 20–40 Песчаник – 40% Известняк – 20% Гранит – 20% Сланцы – 6% Амфиболит – 4% Аргиллит красный – 5%	55,33	ГОСТ 8736–93 ГОСТ 8267–93
Лабидара	Щебень фр. 5–10, 10–20, 20–40 Песчаник – 35% Известняк – 18% Гранит – 20% Сланцы – 2,5% Алевролит – 2,5% Амфиболит – 22%	66,31	
2Б	Щебень фр. 5–10, 10–20, 20–40 Песчаник – 100%	77,33	

Таблица 3

№	Длительность испытания, сут	Среднее относительное удлинение образцов $\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3}$
1	3	0,004
2	4	0,013
3	5	0,023
4	6	0,046
5	7	0,079
6	8	0,097
7	9	0,11
8	10	0,12
9	11	0,129
10	12	0,138
11	13	0,154

кислота привело к огромным потерям на железных дорогах Германии и России. Постоянно становится известно о новых разрушениях.

Под потенциальной реакционной способностью (ПРС) заполнителей для бетона подразумевается их свойство вступать в химическое взаимодействие со щелочами цемента. Это взаимодействие приводит в определенных условиях к проявлению внутренней коррозии бетона [1–11].

Заполнители вступают в химическое взаимодействие со щелочами цемента, если при петрографическом анализе обнаружено наличие одной или нескольких разновидностей минералов, содержащих реакционноспособный кремнезем в количествах, равных или превышающих значения, указанные в табл. 1 [11].

Анализ имеющихся литературных данных показал необходимость оценить возможность использования местных материалов для крупного заполнения бетона при строительстве Рогунской гидроэлектростанции, строящейся в Таджикистане на реке Вахш. Для получения коррозионно-стойких бетонов, позволяющих обеспечить длительную и надежную эксплуатацию конструкций, необходимо произвести оценку свойств мелкого и крупного заполнителя.

Анализ местных материалов, имеющихся в регионе (мелкий и крупный заполнитель), показал, что это в основном песчаник, доломитовый известняк, туф, гранит, гранодиорит. Химический анализ выявил во всех минералах наличие кремниевых пород, кальцита и его модификаций, микрокристаллов кварцита и хлоритовых минералов. По своему минералогическому составу заполнители могут быть реакционноспособными к щелочам цемента. В связи с этим были проведены исследования в соответствии с ГОСТ 8269.0–97 на определение реакционной способности заполнителей к щелочам цемента. Полученные результаты по содержанию растворимого кремнезема показали, что практически все заполнители являются потенциально реакционноспособными, содержание растворимого SiO₂ находится в пределах от 55,33 до 77,33 моль/л (табл. 2). Однако судить о возможности внутренней коррозии бетона только по химическому анализу заполнителей и содержанию растворимого SiO₂ недопустимо [4, 5, 11].

Реакционная способность заполнителей определяется комплексом методов: петрографический и химический методы применяются, как правило, на стадии

разведки месторождения и периодически при его разработке. Ускоренный метод с измерением деформаций необходимо провести на растворных или бетонных образцах в установленные сроки (не более 1 мес), непосредственный метод испытания образцов бетона проводится в течение одного года, в случае, если предыдущие испытания показали, что заполнители являются реакционноспособными.

Были проведены ускоренные испытания с измерениями деформаций на растворных образцах. Полученные данные показали, что величина деформации расширения образцов в растворе гидроксида натрия более 0,1% и одиннадцатый результат испытания отличается от предыдущих на 16,23% (табл. 3), т. е. более чем на 15% (согласно ГОСТ 8269.0–97 п. 4.22.3.4, заполнитель считается потенциально реакционноспособным с щелочами цемента).

Руководствуясь стандартными методами, регламентируемыми соответствующими нормативными документами СНИП 2.03.11–85, ГОСТ 25818, ТУ 21–26–11–90, ТУ 5743–049–02495332–96 и Рекомендациями НИИЖБ по защите бетона от коррозии, вызываемой диоксидом кремния заполнителей со щелочами цемента в целях предотвращения химической активности материалов заполнителей Рогунских месторождений в качестве минерально-активной добавки были рассмотрены зола-уноса (Варзобская ТЭС, Душанбе, Таджикистан) и микрокремнезем (Казахстан) [6, 7]. В табл. 4 приведен результат входного контроля применяемой золы-уноса.

Испытания проводились ускоренным методом с измерением деформаций растворных образцов. Задача эксперимента заключалась в том, что часть цемента заменяется золой-уноса и микрокремнеземом с измерениями деформаций на растворных образцах.

После проведения ряда промежуточных экспериментов (рисунок, а–г) был получен ожидаемый результат (рисунок, д), который подтверждает эффективность использования добавок для предотвращения реакционной способности материалов заполнителей Рогунских месторождений. В табл. 5 приведены составы подобранных растворов.

На рисунке, а показано, что среднее относительное удлинение образцов (без применения минерально-активных добавок) превышает допустимые нормы ($\varepsilon_{cp} < 0,1\%$).

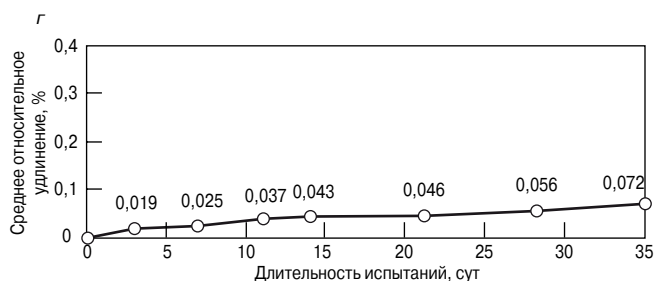
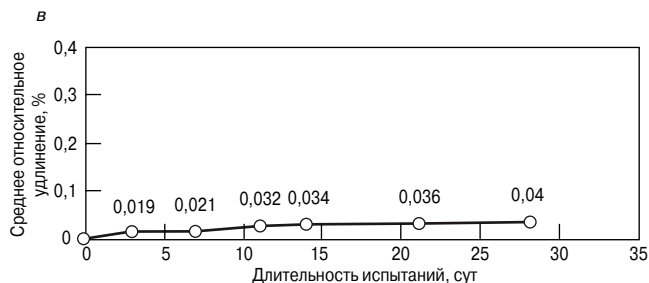
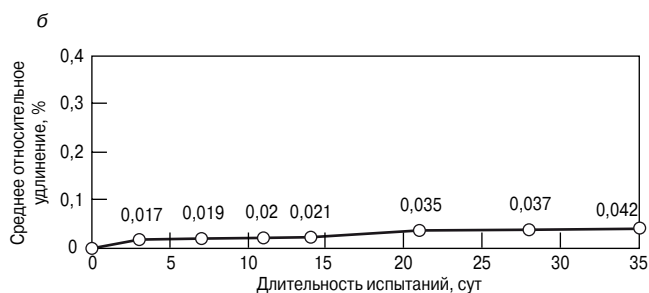
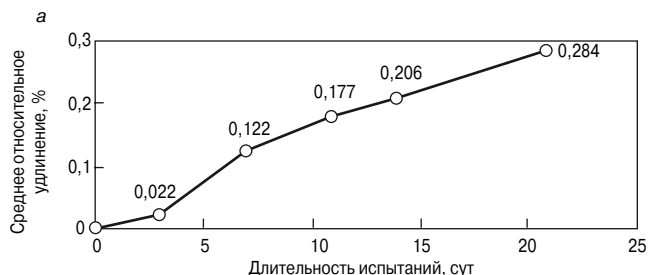
На рисунке, б, в и г показано, что с применением минерально-активных добавок (золы-уноса и микро-

Таблица 4

Оксиды	Содержание, %
Al ₂ O ₃	22,56
Fe ₂ O ₃	4,48
SiO ₂	53,82
CaO	2
MgO	2,45

Таблица 5

Материалы	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4	Состав 5
Цемент, кг	440	308	365,2	356,4	352
Песок, кг	990	990	990	990	990
Вода, л	206,8	206,8	206,8	206,8	206,8
Зола, кг	–	132 (30%)	52,8 (12%)	66 (15%)	66 (15%)
Микрокремнезем, кг	–	–	22 (5%)	17,6 (4%)	22 (5%)



Измерения деформаций растворных образцов (по табл. 5): а – состав 1; б – состав 2; в – состав 3; г – состав 4; д – состав 5

кремнезема) среднее относительное удлинение образцов уменьшилось менее 0,1%, но последние результаты испытаний отличаются от трех предшествующих результатов измерений более чем на 15%, что не соответствует техническим условиям нормативных документов. Соответственно по ГОСТ 82690–97 заполнитель считается потенциально реакционноспособным со щелочами цемента.

На рисунке, д показано, что путем замещения 15% цемента золой-уноса и 5% микрокремнезема найден эффективный путь снижения реакционной способности материалов заполнителей, полученных из местных карьеров. Далее с учетом полученных результатов будут подбираться составы бетонов и исследоваться их физико-механические и коррозионные свойства с целью повышения стойкости против щелочной коррозии. Это является одной из важнейших научно-технических задач, которые предстоит решить для повышения коррозионной стойкости бетонов, а следовательно, и для повышения долговечности железобетонных конструкций в гидротехнических сооружениях Рогунской ГЭС.

Список литературы

- Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Тымчук Е.И. Оценка риска щелочной коррозии геополимерного бетона // *Современные научные исследования и инновации*. 2015. № 3. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/50853> (дата обращения 15.06.2015).
- Рояк Г.С., Грановская И.В., Стржалковская Н.В., Миленин Д.А. Зола-унос в бетоне для уменьшения последней реакции щелочи цемента с кремнеземом заполнителей // *Цемент. Бетон. Сухие смеси*. 2014. № 4–5 (36). С. 80–90.
- Розенталь Н.К., Розенталь А.Н., Любарская Г.В. Коррозия бетона при взаимодействии щелочей с диоксидом кремния заполнителя // *Бетон и железобетон*. 2012. № 1. С. 50–60.
- Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона. Пер. с нем. / Под ред. П. Кривенко. Киев: Оранта, 2004. 301 с.
- Рояк Г.С. Внутренняя коррозия бетона. М.: ЦНИИС, 2002. 156 с.
- Lindgard Jan, Thomas Michael D. A., Sellevold Erik J. Pedersen Bard, Andic-Cakir Ozge, Justnes Harald, Ronning Terhe F. Alkali-silica reaction (ASR) – performance testing: Influence of specimen pre-treatment, exposure conditions and prism size on alkali leaching and prism expansion // *Cement and Concrete Research*. 2013. No. 53, pp. 68–90.
- Rossella Pignatelli, Claudia Comi, Paulo J.M. Monteiro. A coupled mechanical and chemical damage model for concrete affected by alkali-silica reaction // *Cement and Concrete Research*. 2013. No. 53, pp. 196–210.
- M.D.A. Thomas. The effect of supplementary cementing materials on alkali-silica reaction. // *Cement and Concrete Research*. 2011. No. 41, pp. 1224–1231.
- J.W. Pan, Y.T. Feng, J.T. Wang, Q.C. Sun, C.H. Zhang, D. R. J. Owen, Modeling of alkali-silica reaction in concrete // *Frontier of Structural Civil Engineering*. 2012. No. 6, pp. 1–18.



10. Lindgard Jan, Thomas Michael D. A., Sellevold Erik J., Pedersen Bard, Andic-Cakir Ozge, Justnes Harald, Ronning Terhe F. Alkali-silica reaction (ASR) – performance testing: Influence of specimen pre-treatment, exposure conditions and prism size on concrete porosity, moisture state and transport properties // *Cement and Concrete Research*. 2013. No. 53, pp. 145–167.
 11. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. М., 2006. 419 с.
- References**
1. Eroshkina N.A., Korovkin M.O., Timchuk E.I. Risk assessment of alkaline corrosion of geopolymer concrete. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. 2015. No. 3. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/50853> (date of access 15.06.15). (In Russian).
 2. Royak, G.S., Granovskaya, I.V., Strzhalkovskaya, N.V., Milenin, D.A. Fly ash in concrete for mitigating the consequences of the reaction of cement alkalis with silica in aggregates. *Cement. Beton. Suhie smesi*. 2014. No. 4–5 (36), pp. 80–90. (In Russian).
 3. Rozental N.K., Rozental A.H., Lyubarskaya G.V. Corrosion of concrete by reacting alkalis with silica aggregates. *Beton i Zhelezobeton*. 2012. No. 1, pp. 50–60. (In Russian).
 4. Shtark I., Vikht B. Dolgovechnost' betona. Pod red. P. Krivenko [The durability of concrete (trans. from German.). Ed. A.P. Krivenko]. Kiev: Oranta. 2004. 301 p.
 5. Rojak G.S. *Vnutrennyaya korroziya betona* [Internal corrosion of concrete]. Moscow: CNIIS. Moscow. 2002. 156 p.
 6. Lindgard Jan, Thomas Michael D. A., Sellevold Erik J., Pedersen Bard, Andic-Cakir Ozge, Justnes Harald, Ronning Terhe F. Alkali-silica reaction (ASR) – performance testing: Influence of specimen pre-treatment, exposure conditions and prism size on alkali leaching and prism expansion. *Cement and Concrete Research*. 2013. No. 53, pp. 68–90.
 7. Rossella Pignatelli, Claudia Comi, Paulo J.M. Monteiro. A coupled mechanical and chemical damage model for concrete affected by alkali-silica reaction. *Cement and Concrete Research*. 2013. No. 53, pp. 196–210.
 8. M.D.A. Thomas. The effect of supplementary cementing materials on alkali-silica reaction. *Cement and Concrete Research*. 2011. No. 41, pp. 1224–1231.
 9. J.W. Pan, Y.T. Feng, J.T. Wang, Q.C. Sun, C.H. Zhang, D. R. J. Owen, Modeling of alkalisilica reaction in concrete. *Frontier of Structural Civil Engineering*. 2012. No. 6. pp. 1–18.
 10. Lindgard Jan, Thomas Michael D. A., Sellevold Erik J., Pedersen Bard, Andic-Cakir Ozge, Justnes Harald, Ronning Terhe F. Alkali-silica reaction (ASR) – performance testing: Influence of specimen pre-treatment, exposure conditions and prism size on concrete porosity, moisture state and transport properties. *Cement and Concrete Research*. 2013. No. 53, pp. 145–167.
 11. Rozental N.K. Korroziionnaya stoykost cementnih betonov nizkoy i osobo nizkit pronicyayemosti [Corrosion resistance of cement concrete of low and very low permeability]. Moscow: 2006. 419 p.

НОВОСТИ

Медицинские потолки КНАУФ для учреждений с высокими требованиями к гигиене и чистоте



В 2015 г. в ассортименте растровых подвесных потолков КНАУФ появились материалы для учреждений с высокими требованиями к чистоте и гигиене – это плита Danotile. Особенность данной плиты в том, что гипсовый сердечник, армированный стекловолокном, с двух сторон покрыт особой пленкой. Такое покрытие можно мыть щелочными и кислотными растворами не только мягкой тканью, но и щеткой. Пленка с тыльной стороны препятствует намоканию плиты в случае протечек и образования конденсата.



Класс чистоты плиты Danotile – ISO 5, что позволяет применять данный материал в операционных, родовых комнатах, лабораториях и палатах. Даная продукция имеет все необходимые сертификаты и испытания в России, в том числе Сертификат Соответствия и экспертное заключение ФГБНУ «Центр здоровья детей». Danotile уже много лет используется в странах Западной Европы, а в этом году появились первые объекты и в России.

По материалам компании КНАУФ

УДК 691.328.4

М.С. ЕЛСУФЬЕВА, инженер (elsufieva@inbox.ru), В.Г. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук (s_vadim_g@mail.ru), А.Ф. БУРЬЯНОВ, д-р техн. наук (rga-service@mail.ru), М.Р. НУРТДИНОВ, инженер (nikerunner@yandex.ru), В.А. КАКУША (kakushava@gmail.com), инженер

Московский государственный строительный университет (129337, Москва, Ярославское ш., д. 26)

Оценка долгосрочного изменения свойств сталефибробетонов с расширяющими добавками

Приведены результаты двухлетних исследований влияния расширяющих добавок на деформации, прочностные и эксплуатационные свойства сталефибробетона. Установлено, что эффект от введения расширяющих добавок с течением времени значительно снижается и конечные значения усадки сталефибробетонов составляют 0,102–0,451 мм/м при усадке контрольных составов без расширяющих добавок в пределах 0,732–0,764 мм/м. Установлены составы сталефибробетонов, в которых деформации через два года остаются положительными и составляют 0,036–0,092 мм/м. Определены модуль упругости и коэффициент Пуассона сталефибробетонов в возрасте двух лет, которые составляют 29800–38600 МПа и 0,15–0,22 соответственно. Максимальные значения модуля упругости зафиксированы в составах с положительными деформациями в возрасте двух лет, что подтверждает гипотезу о формировании преднапряженного фиброкаркаса в матрице композиционного материала в определенных условиях.

Ключевые слова: сталефибробетон, расширяющие добавки, объемное преднапряжение, модуль упругости, усадка, прочность, коэффициент Пуассона.

M.S. YELSUFIYEVA, Engineer, V.G. SOLOVYEV, Candidate of Sciences (Engineering), A.F. BURYANOV, Doctor of Sciences (Engineering), M.R. NURTDINOV, Engineer, V.A. KAKUASHA, Engineer

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

The estimation of long-term changes in the properties of steel fiber reinforced concretes with expanding producing agents

This article is about the results of two-year studies of influence of expanding producing agents on the deformations, strength and operational properties of the steel fiber reinforced concrete. It is found that the effect from introducing expanding producing agents is significantly reduced over time and final values of shrinkage of steel fiber reinforced concretes are 0,102–0,451 mm/m, and shrinkage of the control compositions without expanding additives are within 0,732–0,764 mm/m. Also found the compositions of steel fiber reinforced concretes in which the deformations after two years are stayed positive with value 0,036–0,092 mm/m. Measured values of the elastic modulus and Poisson's ratio of two-year steel fiber concretes which are 29800–38600 MPa and 0,15–0,22 respectively. The maximal elastic modulus values registered in compositions with positive strains at two-years old, that confirms the hypothesis about the formation of prestressed fiber carcass in the matrix of composite material in specific conditions.

Keywords: Steel fiber reinforced concrete, expanding additives, volumetric prestress, elastic modulus, shrinkage, strength, Poisson's ratio.

Совершенствование технологии производства сталефибробетонных изделий и конструкций осуществляется в различных направлениях. Одним из наиболее интересных и новых путей повышения свойств сталефибробетонов является применение расширяющих добавок и тепловлажностной обработки, создающих условия для формирования объемно-преднапряженного фиброкаркаса. Эффективность данных методов подтверждена результатами серии исследований [1, 2]. Очевидным преимуществом указанных технологических приемов является универсальность их применения, практически не ограниченная внешними факторами. Однако применение объемно-преднапряженных сталефибробетонов возможно после тщательного изучения изменения их свойств во времени, так как при длительной эксплуатации материала возможны значительные изменения структуры и физико-механических свойств, обусловленные ползучестью цементно-песчаной матрицы. Существует вероятность, что произойдет релаксация преднапряжения фибры, которая приведет к снижению физико-механических свойств композита.

Для исследования свойств объемно-преднапряженных фибробетонов была разработана и реализована программа испытаний, в которой физико-механические и деформационные свойства фибробетонов определялись в возрасте 28 сут и через два года после изготовления образцов. Хранение образцов осуществлялось при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ в переменных влажностных условиях: месяц при относительной влажности $50 \pm 20\%$, следующий месяц – при 95–100%. Для изготов-

ления образцов применялись следующие материалы: портландцемент М500Д0 по ГОСТ 10178–85, песок $M_{\text{кп}} 2,3-2,5$ по ГОСТ 8736–2014, расширяющие добавки РД-Н российского производства, РСАМ и КРДэрсаммикс (далее КРД) белорусского производства. В качестве матрицы применялся мелкозернистый бетон с цементно-песчаным соотношением 1:2 при $V/\Pi=0,4$, расширяющие добавки вводились в количестве 5, 10 и 15% от массы цемента, суперпластификатор (Полипласт СП-1) – 0,7% от массы цемента. В качестве армирующего компонента использовалась волновая стальная фибра из высокоуглеродистой проволоки длиной 15 мм диаметром 0,3 мм в количестве ($\mu\text{в}$) 0,3; 1,1 и 1,9 об. %.

Результаты по определению усадки и прочности при сжатии сталефибробетонов с расширяющими добавками в возрасте 28 и 700 сут приведены в таблице.

Наблюдение в течение двух лет за прочностью и деформациями сталефибробетонов с расширяющими добавками позволило установить:

– в сталефибробетонах без расширяющих добавок происходит значительное увеличение усадки с 0,138–0,175 до 0,732–0,764 мм/м, которое зависит от коэффициента армирования в течение всего периода испытаний;

– в сталефибробетонах с расширяющими добавками РД-Н в количестве 10%, КРД – 10% и РСАМ – 5% в течение двух лет также происходят усадочные деформации, которые в итоге достигают значений 0,102–0,451 мм/м, что указывает на отсутствие объемного преднапряжения фиброкаркаса в данных композитах в данном возрасте;

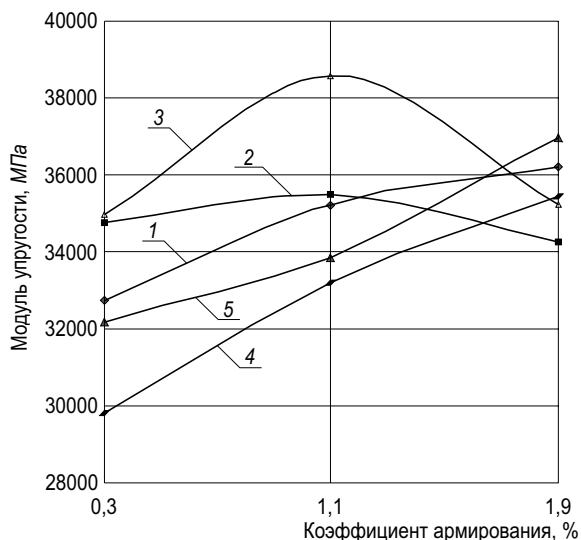


Рис. 1. Зависимость модуля упругости от коэффициента армирования сталефибробетон с расширяющими добавками: 1 – без расширяющей добавки; 2 – с добавкой РД-Н – 10%; 3 – с добавкой РСАМ – 10%; 4 – с добавкой КРДЭрсаммикс – 10%; 5 – с добавкой РСАМ – 5%.

– в сталефибробетоне с расширяющимися добавкой РСАМ в количестве 10% от массы цемента в течение двух лет фиксировалось снижение расширения (по сравнению со значениями, определенными в возрасте 28 сут) с 0,093–0,162 до –0,008–0,092 мм/м, что подтверждает предположение о формировании в них преднапряженного фиброкаркаса;

– прочность при сжатии всех образцов за два года увеличилась приблизительно одинаково – на 22–51 %.

Общий характер развития деформаций сталефибробетон с расширяющей добавкой РСАМ в количестве 10% от массы цемента сопоставим с развитием деформаций бетонов с расширяющими добавками [3]. Развитие деформаций остальных составов сталефибро-

Свойства сталефибробетон с расширяющимися добавками

Наименование расширяющей добавки	μν, %	ε, мм/м		R _{сж} , МПа	
		28 сут	700 сут	28 сут	700 сут
Без добавки	0,3	-0,175	-0,764	38,8	49,6 / 28*
	1,1	-0,156	-0,752	44,2	57,5 / 30
	1,9	-0,138	-0,735	46,8	63,7 / 36
РД-Н, 10%	0,3	-0,107	-0,395	47,9	61,3 / 27
	1,1	-0,096	-0,402	53,4	67,3 / 40
	1,9	-0,074	-0,451	57,1	74,6 / 31
КРД, 10%	0,3	0,042	-0,102	46,8	61,2 / 31
	1,1	0,022	-0,157	48,1	69,1 / 44
	1,9	0,017	-0,12	54,1	74,6 / 38
РСАМ, 5%	0,3	-0,084	-0,34	40,3	52,9 / 31
	1,1	-0,069	-0,382	47,1	62,1 / 31
	1,9	-0,05	-0,357	46,9	57,3 / 22
РСАМ, 10%	0,3	0,162	0,036	43,9	61 / 38
	1,1	0,137	0,092	48,9	74,2 / 51
	1,9	0,093	-0,008	55,4	78,6 / 42

* увеличение прочности по сравнению с контрольным значением того же состава в возрасте 28 сут в %.

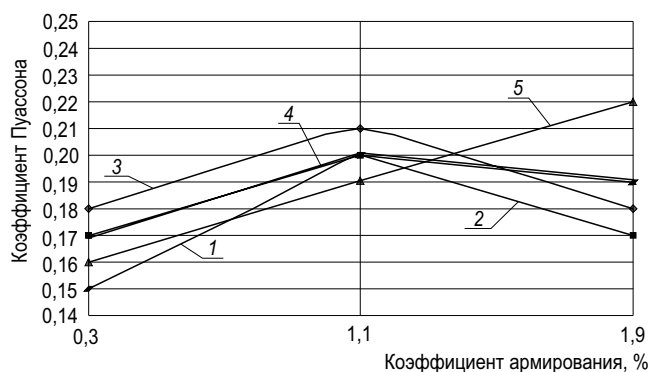


Рис. 2. Зависимость коэффициента Пуассона от коэффициента армирования сталефибробетон с расширяющими добавками: 1 – без расширяющей добавки; 2 – с добавкой РД-Н – 10%; 3 – с добавкой РСАМ – 10%; 4 – с добавкой КРДЭрсаммикс – 10%; 5 – с добавкой РСАМ – 5%

бетонов сопоставимо со значениями, фиксируемыми для сталефибробетон без расширяющих добавок [4]. Вероятно, данные отличия объясняются особенностями формирования структуры в начальный период, которые обусловлены видом и составом расширяющих добавок.

Полученные результаты поставили ряд вопросов, решение которых необходимо для обеспечения долговечности и эксплуатационной надежности изделий и конструкций из сталефибробетон. Прежде всего это значительное развитие усадки образцов сталефибробетона через два года после изготовления. Сложилось устойчивое мнение, что стальная фибра значительно снижает усадку образцов при твердении. Однако, как показали проведенные исследования, это утверждение справедливо для твердения сталефибробетона в начальный период, а его деформации в более поздние сроки необходимо оценивать и определять дополнительно.

В ходе дальнейших исследований образцы сталефибробетон всех составов, приведенных в таблице, в возрасте двух лет, были подвергнуты испытаниям по определению начального модуля упругости и коэффициента Пуассона. Результаты приведены на рис. 1, 2.

Модуль упругости образцов сталефибробетона с расширяющими добавками для большинства составов возрастает с увеличением коэффициента армирования, как и для обычного сталефибробетона. Однако наиболее интересным является изменение модуля упругости состава сталефибробетона с расширяющей добавкой РСАМ в количестве 10% от массы цемента, приведенное на рис. 1. По сравнению с контрольным составом без расширяющей добавки модуль упругости сталефибробетона с РСАМ в количестве 10% от массы цемента увеличился на 7 и 10% при коэффициенте армирования 0,3 и 1,1% соответственно, в то время как в остальных составах изменение модуля упругости незначительно или носит отрицательных характер. Увеличение модуля упругости в составах сталефибробетон обусловлено положительными деформациями в возрасте двух лет и в очередной раз подтверждает гипотезу о формировании преднапряженного фиброкаркаса при определенных условиях и его положительном влиянии на физико-механические свойства бетона.

В результате проведенных исследований установлено, что объемно-преднапряженные сталефибробетон сохраняют эксплуатационные свойства в течение длительного периода, что позволяет использовать данный композиционный материал в конструкциях и сооружениях с длительным периодом эксплуатации при различных влажностных условиях.

Список литературы

1. Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф., Елсуфьева М.С. Особенности производства сталефибробетонных изделий и конструкций // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 18–21.
2. Елсуфьева М.С., Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф. Применение расширяющихся добавок в сталефибробетоне // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 60–63.
3. Титов М.Ю. Бетоны с повышенной прочностью на основе расширяющих добавок // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 84–86.
4. Красновский Р.О., Капустин Д.Е., Рогачев К.В. Зависимость усадки сталефибробетона с цементно-песчаной матрицей от типа фибры и процента армирования // *Интернет-вестник ВолгГАСУ*. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 4(29). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KrasnovskiyKapustinRogachev-2013_4\(29\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KrasnovskiyKapustinRogachev-2013_4(29).pdf)

References

1. Solovyev V.G., Buryanov A.F., Yelsufyeva M.S. Features of the production of steel fibre concrete products and designs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 18–21. (In Russian).
2. Elsufova M.S., Solovyev V.G., Bur'yanov A.F. Applying of expanding additives in the concrete reinforced steel fiber // *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 8, pp. 60–63. (In Russian).
3. Titov M.Y. Concretes with increased strength on the basis of expanding additives. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 2, pp. 84–86. (In Russian).
4. Krasnovskii R.O., D.E. Kapustin, Rogachev K.V. The dependence of shrinkage of steel fiber reinforced concrete with cement-sandy matrix from the type of fiber and reinforcement ratio // *Internet-vestnik VolgGASU*. Seriya: Polytematicheskaya. 2013. Vol. 4 (29). [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KrasnovskiyKapustinRogachev-2013_4\(29\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KrasnovskiyKapustinRogachev-2013_4(29).pdf) (In Russian).

НОВОСТИ

На Казанском ДСК успешно завершена модернизация

1 июля 2015 г. в столице Республики Татарстан состоялось открытие Казанского ДСК после модернизации, приуроченное к проведению в Казани Международной конференции «Развитие крупнопанельного домостроения в России – InterConPan-2015». В торжественной церемонии приняли участие временно исполняющий обязанности Президента республики Р.Н. Минниханов, глава Минстроя России М.А. Мень и другие официальные лица. Министр отметил, что сегодня в России примерно 50% всего вводимого жилья – это продукция индустриального домостроения, по большому счету показателей не уступающая монолиту и кирпичу, при этом сроки возведения таких домов максимально короткие.

Глава республики назвал открытие модернизированного Казанского ДСК знаковым событием, а также подчеркнул, что сегодня Министерством строительства и ЖКХ РТ уделяется огромное внимание жилищному строительству. В Татарстане, по его словам, появился производитель панельных домов мирового уровня, а также новые рабочие места.

Казанский ДСК был организован на базе производственной площадки завода КПД-3. Проект модернизации реализовывался с 2012 г. группой компаний «Ак Барс Девелопмент» совместно с финскими и немецкими специалистами. Реконструированы цеха, поставлено и смонтировано новое оборудование, внедрены современные технологии получения бетонов. Объем инвестиций составил порядка 1,5 млрд р.

Мощности комбината по производству изделий из железобетона на первом этапе позволят комплектовать 150 тыс. м² жилья в год. На втором этапе модернизации мощность завода увеличится до 250 тыс. м² жилья в год. Рассчитано, что за счет применения заводом современных технологий производства строительных материалов будет обеспечено снижение себестоимости строительства и повысится доступность



Символическую кнопку запуска производства завода «Казанский ДСК» нажали (справа налево) М.А. Мень, Р.Н. Минниханов, генеральный директор А.Г. Сидоров и механик Р. Сагиев

жилья, возводимого в Татарстане. Уже сейчас продукция комбината применяется при возведении ЖК «Светлая долина» группы компаний «Ак Барс Девелопмент». В жилом комплексе общей площадью 38 га будет построено порядка 400 тыс. м² жилья, создана вся необходимая инфраструктура, в том числе школа и три детских сада.

В ходе модернизации был сохранен коллектив завода. После запуска обновленной производственной линии количество рабочих мест на заводе вырастет на две трети с начала технического перевооружения и составит 500 человек. Ожидается, что по окончании второй очереди модернизации численность сотрудников достигнет 700 человек, в основном за счет рабочих.

По материалам пресс-службы ГК «Ак Барс Девелопмент»

Е.В. КОРОЛЕВ¹, д-р техн. наук, директор Научно-образовательного центра «Наноматериалы и нанотехнологии» (KorolevEV@mgsu.ru); М.И. ВДОВИН², инженер (ords@list.ru), ген. директор; А.И. АЛЬБАКАСОВ³, канд. техн. наук (post@mail.osu.ru); А.С. ИНОЗЕМЦЕВ¹, канд. техн. наук (InozemcevAS@mgsu.ru)

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

² ГУП «ОренбургРемДорСтрой» (460021, г. Оренбург, ул. 60 лет Октября, 1/1)

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

Основные свойства пропиточно-кольматирующих составов для ингибирования щелочесиликатных реакций

На основе анализа кинетики пропитки пористо-капиллярного тела в работе определены основные требования к пропиточно-кольматирующим композициям, предназначенным для блокирования щелочесиликатной реакции, которая может способствовать возникновению внутренних деформаций бетона и разрушению конструкций (щелочная коррозия). Представлены результаты исследования изменения свойств растворов нитрата и карбоната лития от их концентрации, вида и количества ПАВ. На основе расчетов комплексного параметра проведена оценка эффективности исследуемых пропиточно-кольматирующих составов, осуществлен выбор оптимального содержания и состава. Установлено, что эффективным из исследуемых составов является раствор Li_2CO_3 ($c=1,25\%$), содержащий неионогенный ПАВ ALM-7s концентрацией 0,0001%.

Ключевые слова: щелочная коррозия, щелочесиликатная реакция, пропиточно-кольматирующий состав, модель пористо-капиллярного тела, уравнение Пуазейля.

E.V. KOROLEV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (KorolevEV@mgsu.ru), director, scientific and educational center «Nanomaterials and Nanotechnology»; M.I. VDOVIN², Engineer (ords@list.ru); A.I. AL'BAKASOV³, Candidate of Sciences (Engineering) (post@mail.osu.ru); A.S. INOZEMTCEV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (InozemcevAS@mgsu.ru)

¹ Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

² «OrenburgRemDorStroy» GUP (1/1, 60 let Oktyabrya Street, Orenburg 460021, Russian Federation)

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

Basic Properties of Impregnating-Bridging Compositions to Inhibit the Alkali-Silicate Reactions

The basic demands of impregnating-bridging compositions to inhibit the alkali-silicate reactions and to prevent deformations of concrete and destruction of constructions are identified in the paper based on analysis of the impregnation kinetics of capillary-porous body. The results of studies of changes in properties of solution of lithium nitrate and lithium carbonate from them concentration, kind and amount of surface-active substance are presented. Assessment of efficiency of studied impregnating-bridging compositions was performed by calculation of complex parameter. Selection of the optimal content of the compositions was made. The most effective composition is Li_2CO_3 ($c=1.25\%$) with 0.0001% nonionic surfactant ALM-7s.

Keywords: alkaline corrosion, alkali-silica reaction, impregnating-bridging composition, model of a porous-capillary body, Poiseuille equation.

Щелочесиликатные реакции (ЩСР) – взаимодействие гидроксидов натрия, калия и кальция, содержащихся в порландцементе и/или вносимых с другими компонентами, веществами или эксплуатационной средой, с оксидом кремния заполнителей или минеральных добавок. ЩСР являются широко распространенными химическими реакциями, протекающими как при твердении композитов, так и в процессе их эксплуатации. При реализации только первого варианта такие реакции оказывают положительное влияние на структурообразование материала: увеличивается количество низкоосновных гидросиликатов кальция, повышается плотность структуры и уменьшается содержание порландита. Протекание ЩСР после твердения цементного камня при определенных условиях (необходимое соотношение концентраций $\text{NaO}_{2,\text{э.кв.}}/\text{Ca}(\text{OH})_2$, наличие химически активного кремнезема $\text{SiO}_{2,\text{амф}}$ и воды, температура эксплуатации [1]) может приводить к щелочной коррозии строительных конструкций – образованию и эволюции трещин в бетоне, приводящих к его разрушению. Системные исследования щелочной коррозии были начаты в 1930-х гг. в Канаде и США Т. Стэнтоном [2]; ее решением занимаются ученые разных стран [3–9 и др.*], а примеры деформаций и разрушений конструкций встречаются и сегодня [10–14]. Щелочная коррозия протекает длительно (2–5 лет) и

при первичном анализе конструкций трудно идентифицируется [15, 16], так как по внешним признакам схожа с деструкцией после замораживания-оттаивания или воздействия сульфатной коррозии.

Схематически ЩСР представлены на рис. 1, из которого следует, что кроме наличия химически активных соединений (гидроксиды натрия и калия, а также аморфный кремнезем и вода), образующих гидрогель, большое значение имеет содержание гидроксида кальция, который не только образует гидросиликаты кальция, формирующие в зоне реакции прочную мембрану, но возвращает в зону реакции гидроксиды натрия и калия.

В зависимости от концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ могут реализовываться несколько сценариев развития щелочесиликатной реакции и только одна приводит к щелочной коррозии (рис. 2).

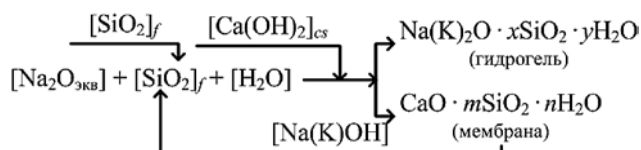


Рис. 1. Схема щелочесиликатных реакций (индексом «f» обозначена дисперсная фаза, индексом «cs» – цементный камень)

* Библиография по указанной проблеме весьма обширна.

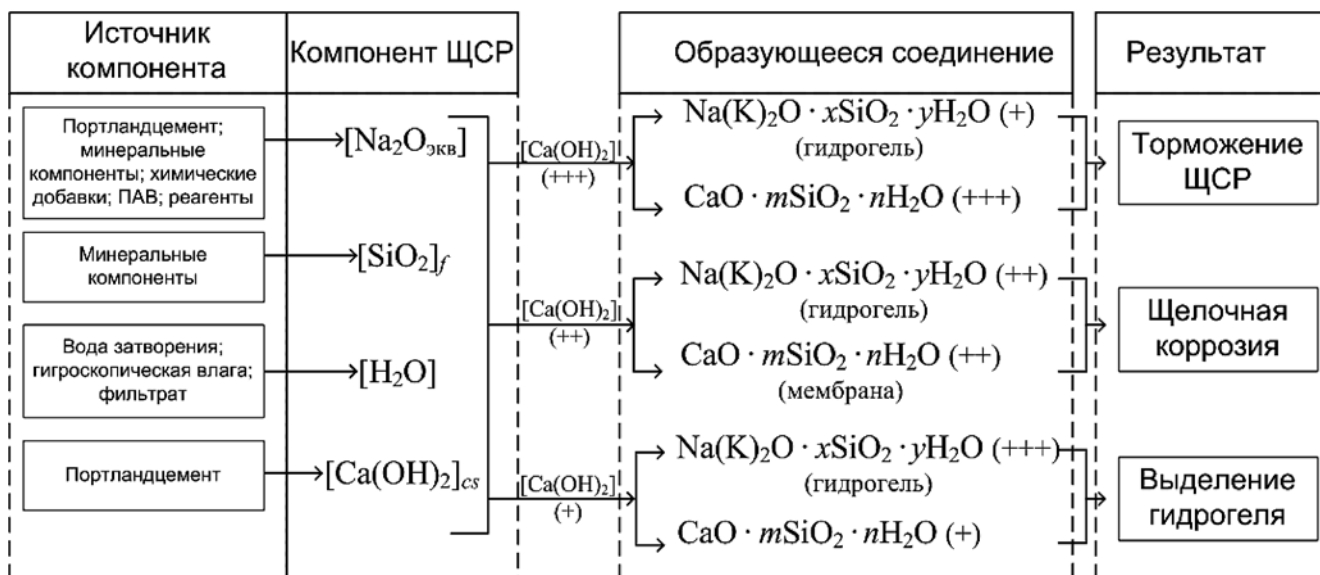


Рис. 2. Сценарии развития щелочесиликатных реакций («+» – малая концентрация соединения; «++» – средняя концентрация соединения; «+++» – большая концентрация соединения)

Основными приемами замедления или предотвращения щелочесиликатной реакции являются:

- в процессе изготовления материала обоснованный выбор компонентов материала (заполнителя, портландцемента, химических добавок, поверхностно-активных веществ); введение соединений, не обладающих хлопьевидным строением; введение химически активных кремнеземсодержащих минеральных добавок;
- в процессе эксплуатации конструкции снижение влажности материала конструкции и/или предотвращение фильтрации воды; пропитка соединениями, образующими водонерастворимые гидросиликаты.

Сложной научно-технологической задачей является торможение ЩСР и щелочной коррозии в эксплуатирующихся строительных конструкциях. Решения указанной задачи представлены в некоторых работах, например в [17–23]. Научно обоснованным способом, имеющим очевидные преимущества, является пропитка эксплуатирующейся строительной конструкции соединениями лития, например глицерофосфатом лития [22], нитратом лития [24] и др. Исследованиями [25–27] установлено, что блокирование щелочесиликатной реакции достигается при условии:

$$\frac{[Li^+]}{[Na^+] + [K^+]} \geq 0,74.$$

Недостатками такого решения является высокая стоимость основных компонентов, необходимость соблюдения особенностей технологии нанесения [2] и реализация градиента концентрации [23].

В процессе эксплуатации на конструкцию могут воздействовать соединения натрия или кальция, например при использовании противогололедных реагентов, и осуществляться фильтрация воды, что в совокупности приводит как к увеличению содержания [Na₂O_{экв}], так и к возникновению градиента концентрации [Na₂O_{экв}] или формированию «мембраны» из гидросиликатов

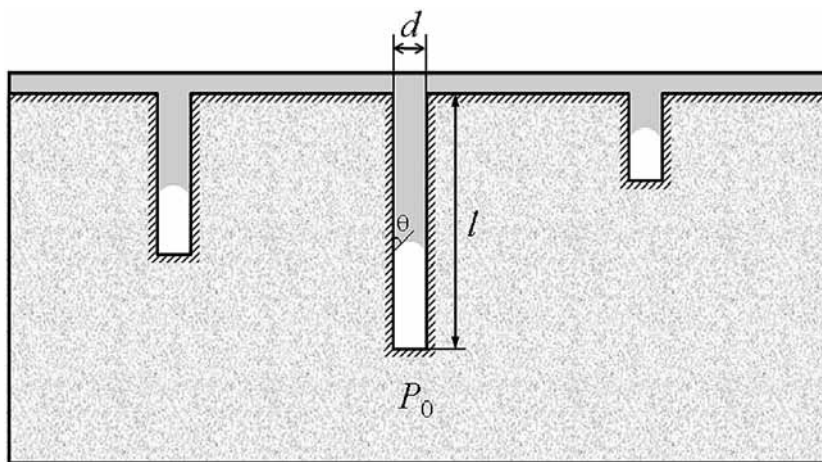


Рис. 3. Модель пористо-капиллярной структуры материала

кальция. Очевидным решением является пропитка материала конструкции литийсодержащими соединениями с последующим уплотнением его пористо-капиллярной структуры кольматирующими составами (общее название – пропиточно-кольматирующие композиции). На первом этапе проводится пропитка составами литийсодержащих соединений, затем на втором этапе – составами, уплотняющими структуру материала, а на завершающем (третьем) этапе – обработка гидрофобизирующей композицией.

Эффективность применения пропиточно-кольматирующих композиций определяется степенью пропитки конструкции, которая зависит как от параметров порового пространства материала, так и от физико-химических и механических характеристик составов композиции.

Цементный материал конструкции обладает пористо-капиллярной структурой, которая может быть охарактеризована величиной открытой пористости $P_{отк}$ и геометрическими характеристиками: средневзвешенными длиной l и диаметром d капилляров (рис. 3). Эффективность пропитки определяется степенью заполнения порового пространства $\Delta\Pi$ и продолжительностью периода заполнения порового пространства t .

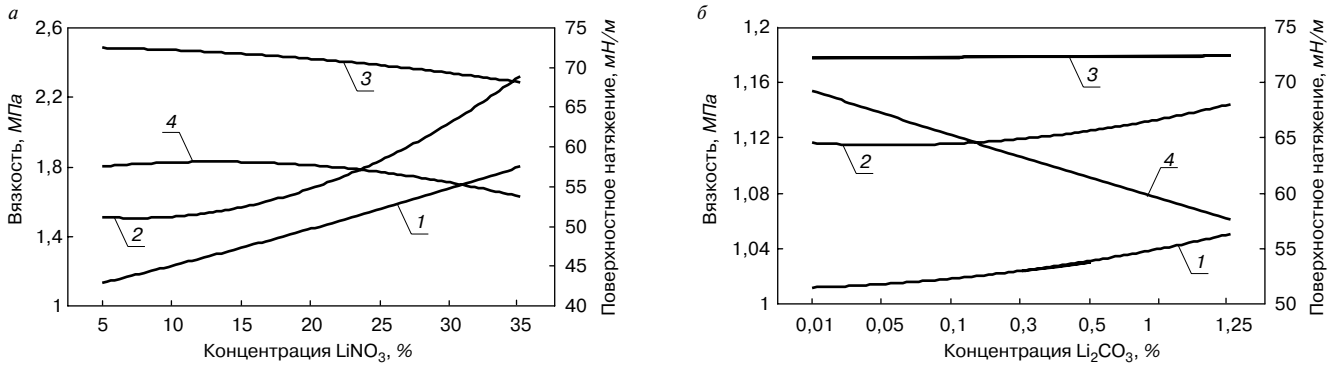


Рис. 4. Зависимость вязкости и поверхностного натяжения растворов нитрата (а) и карбоната лития (б) от концентрации: 1 – μ_{sol}^t ; 2 – $\mu_{sol}^э$; 3 – σ_{sol}^t ; 4 – $\sigma_{sol}^э$; индекс «т» – теоретическое значение, «э» – экспериментальное значение

Они взаимосвязаны в величине объемного расхода пропиточно-кольматирующей композиции:

$$Q = \Delta P / t.$$

Объемный расход жидкости для единичного капилляра цилиндрической формы Q_k описывается законом Пуазейля:

$$Q_k = \frac{2\pi d^4 \Delta P}{\mu l}, \quad (1)$$

где ΔP – разница давления на концах капилляра; μ – вязкость пропиточно-кольматирующей композиции.

Величина ΔP равна разнице давления, создаваемого пропиточно-кольматирующей композицией, двигающейся в капилляре, и численно равного давлению Лапласа, и атмосферного давления P_0 :

$$\Delta P = \frac{\sigma}{d} \cos(\theta), \quad (2)$$

где σ – поверхностное натяжение пропиточно-кольматирующей композиции; θ – краевой угол смачивания на границе пористо-капиллярный материал – пропиточно-кольматирующая композиция.

Отсюда:

$$Q_k = \frac{2\pi d^3}{\mu l} \sigma \cos(\theta). \quad (3)$$

Уравнение (3) при условии:

$$Q = \sum_i^{N_k} Q_{k,i}$$

(здесь N_k – количество капилляров) является моделью процесса пропитки пористо-капиллярного материала пропиточными составами.

Анализ (3) показывает, что для сформировавшегося пористо-капиллярного материала параметры d и l определены и на первом этапе пропитки пропиточно-кольматирующей композицией не могут быть изменены. Управление процессом пропитки может быть осуществлено только посредством варьирования комплексом:

$$k = \frac{\sigma \cos(\theta)}{\mu} \rightarrow \max. \quad (4)$$

Отсюда условием, определяющим требования к пропиточно-кольматирующей композиции, является:

$$K_{\Phi} = \left[\frac{\sigma \cos(\theta)}{\mu} \right]_{\text{пкк}} \cdot \left[\frac{\sigma \cos(\theta)}{\mu} \right]_{\text{в}}^{-1} > 1, \quad (5)$$

где индексом «пкк» обозначен комплекс свойств для пропиточно-кольматирующей композиции, а индексом «в» – то же для воды.

В соответствии с современными представлениями эффективно введение солей электролитов (особенно

сильных, к которым относятся соли лития; в [7] показано, что эффективной солью является LiNO_3). Поверхностное натяжение и вязкость растворов электролитов закономерно зависят от концентрации соли (формируется специфичная структура из гидратированных ионов, характеристики которой оказывают влияние на все свойства растворов, в том числе и коллигативные [28]).

В соответствии с методом Фалькенгагена–Джонса–Дала вязкость разбавленных растворов электролитов описывается функцией:

$$\frac{\mu_{sol}}{\mu_0} = 1 + A\sqrt{c}, \quad (6)$$

где индексом «sol» обозначен раствор электролита, а индексом «0» – растворитель (вода); c – концентрация электролита, моль/л; A – константа.

В случае более концентрированных растворов:

$$\frac{\mu_{sol}}{\mu_0} = 1 + A\sqrt{c} + Bc, \quad (7)$$

а для растворов значительной концентрации (до 1 моль/л):

$$\frac{\mu_{sol}}{\mu_0} = 1 + A\sqrt{c} + Bc + Dc^2, \quad (8)$$

где B, D – константы.

Константа A , зависящая от электрических сил взаимодействия, при равенстве зарядов ионов и их подвижности в случае бесконечного разбавления равна:

$$A = \frac{0,517 z^2}{l_{\infty} \mu_0 \sqrt{\epsilon_0 T}},$$

где z – валентность ионов; ϵ_0 – диэлектрическая постоянная.

Авторами [29] получена эмпирическая формула, описывающая изменения поверхностного натяжения растворов электролитов в зависимости от их мольной концентрации:

$$\sigma_{sol} = \sigma_0 + 1,0124 \omega \lg \left(\frac{1,467}{\omega} \right), \quad (9)$$

где ω – мольная концентрация.

С применением формул (6)–(9) можно теоретически оценить величину динамической вязкости μ_{sol} и поверхностного натяжения σ_{sol} растворов лития, а также комплексное изменение этих параметров от концентрации электролита по соотношению (5) оценить эффективность исследуемой соли. Кроме того, сопоставить теоретические и экспериментальные данные, что имеет очевидный практический интерес.

В качестве примера выбраны растворы LiNO_3 и Li_2CO_3 , приготовленные на дистиллированной воде.

Таблица 1

Концентрация ПАВ, %	ALM-7s				OC-1			
	30% раствор LiNO ₃		1,25% раствор Li ₂ CO ₃		30% раствор LiNO ₃		1,25% раствор Li ₂ CO ₃	
	σ_{sol} , мН/м	θ , град	σ_{sol} , мН/м	θ , град	σ_{sol} , мН/м	θ , град	σ_{sol} , мН/м	θ , град
Вода	72,1	60,3	72,1	60,3	72,1	60,3	72,1	60,3
0	53,9	52,9	57,5	38,7	53,9	52,9	57,5	38,7
0,0001	47,6	34,5	43,1	4,1	47,9	37,5	44,0	36,4
0,0005	36,6	5,3	31,7	0	46,5	36	39,7	26,6
0,001	30,2	0	29,4	0	46,1	36,7	39,6	25,1
0,01	29,7	0	29	0	40,7	36,1	39,7	14,3
0,1	29,6	0	29,1	0	40,5	35,2	39,6	0
0,2	29,4	0	29	0	39,7	35,1	39,5	0

Таблица 2

Концентрация, %	ALM-7s				OC-1			
	30% раствор LiNO ₃		1,25% раствор Li ₂ CO ₃		30% раствор LiNO ₃		1,25% раствор Li ₂ CO ₃	
	$K_{эф}$	k	$K_{эф}$	k	$K_{эф}$	k	$K_{эф}$	k
Вода	35,9	–	35,3	–	35,9	–	35,3	–
0	18,6	0,52	39,3	1,09	18,6	0,52	39,3	1,09
0,0001	22,2	0,62	37,6	1,05	21,7	0,6	30,3	0,86
0,0005	20,6	0,57	27,8	0,77	21,5	0,6	31,4	0,84
0,001	17,1	0,48	25,7	0,71	21,1	0,59	33,6	0,87
0,01	16	0,45	25,4	0,71	18,2	0,51	34,7	0,94
0,1	16,3	0,45	25,4	0,71	18,3	0,51	34,7	0,96
0,2	16,3	0,45	25,4	0,71	18,4	0,51	34,7	0,97

Поверхностное натяжение определялось по методу пластины Вильгельми на тензиометре K100 Kruss* в условиях предварительного термостатирования, а вязкость – на вискозиметре SV-10A. На рис. 4 приведены результаты теоретических расчетов и экспериментальных данных вязкости и поверхностного натяжения исследуемых растворов.

Теоретический анализ формул (6)–(9) показывает, что сложную зависимость от концентрации раствора электролита имеет поверхностное натяжение: при малых концентрациях (менее 1%) электролита поверхностное натяжение возрастает, а при более высоких концентрациях величина σ_{sol} снижается. Изменение вязкости от концентрации электролита имеет практически линейный характер (при высоких концентрациях наблюдается увеличение скорости $d\mu/dc$, что приводит к отклонению от прямолинейности). Фактическое количественное значение вязкости как карбонатов, так и нитратов лития больше, чем расчетное. С учетом (5) кольматирующий состав должен обладать наименьшей вязкостью, а после увеличения концентрации LiNO₃ более 30% вязкость раствора увеличивается до 2,4 мПа·с. Согласно [24, 25] наиболее эффективным считается 30% раствор LiNO₃, применение которого обеспечивает соблюдение условия по содержанию ионов Li. При этом поверхностное натяжение такого раствора составляет 56,5 мН/м. За счет меньшей растворимости Li₂CO₃ изменение μ_{sol} и σ_{sol} растворов на его основе наблюдается в меньшей степени: при концентрации 1,25% вязкость раствора составила 1,14 мПа·с,

а поверхностное натяжение – 56,7 мН/м. Использование предельных концентраций растворов карбоната лития при обеспечении необходимых параметров смачиваемости и поверхностного натяжения потребует повторного использования пропиток для насыщения поровой структуры достаточным количеством соединений лития.

Для повышения смачиваемости цементного камня пропиточно-кольматирующими составами использовали неионогенные ПАВ ALM-7s и OC-1. Краевой угол смачивания растворов лития с различной концентрацией ПАВ определялся по методу Вильгельми на образцах-пластинах цементного камня ($V/C=0,3$). Установлено, что выбранные ПАВ в исследуемом диапазоне концентраций не изменяют вязкости литиевых растворов, поэтому выбор можно осуществлять по параметру σ_{sol} и θ . Значения поверхностного натяжения литиевых растворов с ПАВ и краевого угла смачивания цементного камня представлены в табл. 1.

Согласно (4) наиболее эффективный пропиточно-кольматирующий состав должен обладать максимальным поверхностным натяжением при минимальном краевом угле смачивания и вязкости. Установлено, что такое сочетание на исследуемых растворах достигается при использовании ALM-7s в количестве 0,001%. ПАВ OC-1 обеспечивает минимальный краевой угол смачивания при концентрации более 0,1% только в растворе карбоната лития.

На основе полученных экспериментальных результатов может быть проведен расчет параметра (5), ха-

* Дополнительная информация об используемом оборудовании доступна на сайте www.nocnt.ru/oborudovanie.

рактически характеризующего эффективность исследуемых растворов в качестве пропиточно-кольматирующего состава первого этапа. Из табл. 2 видно, что исследуемые растворы LiNO_3 и Li_2CO_3 обладают большей эффективностью для пропитки по сравнению с контрольной жидкостью (водой). Однако введение пластифицирующих добавок для улучшения смачиваемости снижает обобщенный показатель эффективности $K_{\text{эф}}$, так как приводит к одновременному снижению поверхностного натяжения раствора. Отсюда следует, что скорость изменения краевого угла смачивания от концентрации ПАВ меньше, чем скорость изменения поверхностного натяжения раствора. Полученные результаты (табл. 2) показали, что применение исследуемых неионогенных ПАВ нецелесообразно в количестве более 0,0001%.

Таким образом, показано, что установленные основные свойства пропиточно-кольматирующего состава, предназначенного для блокирования щелочесиликатной реакции и предотвращения возникновения внутренних деформаций бетона и разрушения конструкций, позволяют оценивать эффективность его применения и осуществлять выбор оптимального содержания и состава.

Из полученных экспериментальных данных следует, что для разработки пропиточно-кольматирующего состава на первом этапе – пропитке – целесообразно использовать Li_2CO_3 при использовании ПАВ ALM-7s с концентрацией не более 0,0001%. Однако необходимость обеспечения определенной концентрации ионов Li^+ требует дополнительного изучения применения указанного состава, в том числе поиска эффективных ПАВ.

Список литературы

1. Брыков А.С., Воронков М.Е. Щелочекремнеземные реакции, щелочная коррозия портландцементных бетонов и пуццолановые добавки – ингибиторы коррозии // *Цемент и его применение*. 2014. № 5. С. 87–94.
2. Stanton T.E. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate // *Proc. Amer. Soc. Civil Engineers*. 1940. Vol. 66. № 10. P. 1781–1811.
3. Bogue R.H. The chemistry of Portland cement. NY.: Reinhold publishing corporation, 1947. 572 p.
4. Kühl H. Zement-Chemie. В. 3., 1951.
5. Stark J., Freyburg E., Seyfarth K., Giebson C., Erfurt D. 70 Jahre AKR und keine Ende in Sicht // *International Baustofftagung IBAUSIL*. Weimar, 2009.
6. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
7. Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Любарская Г.В., Розенталь А.Н. Защита бетона на реакционноспособном заполнителе от внутренней коррозии // *Строительные материалы*. 2009. № 3. С. 68–71.
8. Helmuth R., Stark D., Diamond S., Moranville-Regourd M. Alkali-Silica Reactivity: An Overview of Research. SHRP-C-342: *Strategy Highway Research Program*, National Research Council, Washington, DC 1993.
9. Swamy R.N. Alkali-aggregate reaction – the bogeyman of concrete // *Concrete technology past, present and future*. ACISP-144. 1994. P. 105–139.
10. Москвин В. М., Рояк Г.С. Коррозия бетона при действии щелочей цемента на кремнезем заполнителя. М.: Госстройиздат, 1962. 164 с.
11. Fournier B., Bérubé M.A., Folliard K.J., Thomas M.D.A. *Report on the diagnosis, prognosis and mitigation of alkali-silica reaction (ASR) in transportation structures*. FHWA/HIF-09-004, Federal Highway Administration. 2010.
12. Bérubé M.A., Tremblay C. Chemistry of pore solution expressed under high pressure – influence of various parameters and comparison with hot-water extraction method. *12th International Conference on AAR in Concrete*, Beijing, China. 2004. P. 833–842.
13. Pleau R., Bérubé M.A., Pigeon M., Fournier B., Raphaël S. Mechanical Behavior of Concrete Affected by AAR. *8th International Conference on AAR in Concrete*. Kyoto, Japan. 1989. P. 721–726.
14. Villeneuve, V., Fournier, B. and Duchesne, J. Determination of the damage in concrete affected by ASR – the Damage rating Index (DRI). *14th International Conference on AAR in Concrete*. Austin, Texas. 2012.

References

1. Brykov A.S., Voronkov M.Ye. Alkali-silica reactions, alkaline corrosion of Portland cement concretes and pozzolanic additives – corrosion inhibitors. *Tsement i ego primeneniye*. 2014. No. 5, pp. 87–94. (In Russian).
2. Stanton T.E. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *Proc. Amer. Soc. Civil Engineers*. 1940. Vol. 66. No. 10, pp. 1781–1811.
3. Bogue R.H. The chemistry of Portland cement. NY.: Reinhold publishing corporation, 1947. 572 p.
4. Kühl H. Zement-Chemie. В. 3., 1951.
5. Stark J., Freyburg E., Seyfarth K., Giebson C., Erfurt D. 70 Jahre AKR und keine Ende in Sicht. *International Baustofftagung IBAUSIL*. Weimar, 2009.
6. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzev E.A. Korroziya betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of protection]. Moscow: Stroiizdat. 1980. 536 p.
7. Rozental' N.K., Chekhniy G.V., Lyubarskaya G.V., Rozental' A.N. Protection of concrete on the reactive aggregate against internal corrosion // *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 3, pp. 68–71. (In Russian).
8. Helmuth R., Stark D., Diamond S., Moranville-Regourd M. Alkali-Silica Reactivity: An Overview of Research. SHRP-C-342: *Strategy Highway Research Program*. National Research Council, Washington, DC. 1993.
9. Swamy R.N. Alkali-aggregate reaction – the bogeyman of concrete // *Concrete technology past, present and future*. ACISP-144. 1994, pp. 105–139.
10. Moskvina V. M., Royak G.S. Kompozitsiya dlya antikorroziionoi zashchity [Corrosion of concrete under the action of alkali cement on silica filler]. Moscow: Gosstroizdat. 1962. 164 p.
11. Fournier B., Bérubé M.A., Folliard K.J., Thomas M.D.A. *Report on the diagnosis, prognosis and mitigation of alkali-silica reaction (ASR) in transportation structures*. FHWA/HIF-09-004, Federal Highway Administration. 2010.
12. Bérubé M.A., Tremblay C. Chemistry of pore solution expressed under high pressure – influence of various parameters and comparison with hot-water extraction method. *12th International Conference on AAR in Concrete*, Beijing, China. 2004, pp. 833–842.
13. Pleau R., Bérubé M.A., Pigeon M., Fournier B., Raphaël S. Mechanical Behavior of Concrete Affected by AAR. *8th International Conference on AAR in Concrete*. Kyoto, Japan. 1989, pp. 721–726.
14. Villeneuve, V., Fournier, B. and Duchesne, J. Determination of the damage in concrete affected by ASR – the

15. Королев Е.В., Смирнов В.А., Земляков А.Н. Идентификация новообразований, обусловленных щелочесиликатной реакцией // *Вестник МГСУ*. 2013. № 6. С. 109–116.
16. Гришина А.Н., Земляков А.Н., Королев Е.В., Охотникова К.Ю., Смирнов В.А. Статистическое моделирование как метод выявления коррозии цементных композитов // *Вестник МГСУ*. 2014. № 4. С. 87–97.
17. Stark D. Handbook for the Identification of Alkali-Silica Reactivity in Highway Structures. SHRP-C-315, TRB National Research Council, 1991. 49 p.
18. Патент РФ 2258725. *Композиция для антикоррозионной защиты* / Бабакова О.К., Огородникова Т.В., Кочетков В.М., Тимофеев В.С. Заявл. 09.10.2003. Оpubл. 20.08.2005.
19. Патент WO 1993012052. *Improvements in and relating to treatments for concrete* / PAGE, Christopher, Lyndon, Заявл. 17.12.1992. Оpubл. 24.06.1993.
20. Патент WO 2013006662. *Lithium-based concrete admixtures for controlling alkali-silica reactions with enhanced set-time control* / STOKES, David B. Заявл. 05.07.2012. Оpubл. 10.01.2013.
21. Патент WO 1994029496. *Cathodic protection of reinforced concrete* / PAGE, Christopher, Lyndon, Заявл. 22.12.1994. Оpubл. 22.12.1994.
22. Патент WO 2004089844. *Product for treating reinforced concrete constructions* / LUTZ, Theophil, Markus, CHEVRET, Christian, Заявл. 30.03.2004. Оpubл. 21.10.2004
23. Патент WO 1993012052. *Improvements in and relating to treatments for concrete* / PAGE, Christopher, Lyndon, Заявл. 17.12.1992. Оpubл. 24.06.1993.
24. Stokes D.B., Wang H.H., Diamond S. A lithium-based admixture for ASR control that does not increase the pore solution pH. *Proceedings of the 5th CANMET/ACI Int. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, ACI SP-173. American Concrete Institute, Detroit. 1997. P. 855–867.
25. Feng X., Thomas M.D.A., Bremner T.W., Balcom B.J., Folliard K.J. Studies on lithium salts to mitigate ASR-induced expansion in new concrete: a critical review // *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35. P. 1789–1796.
26. Fournier B., Nkinamubanzi P-C., Chevrier R. Comparative field and laboratory investigations on the use of supplementary cementing materials to control alkali-silica reaction in concrete. *Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. Beijing, China. 2004. Vol. 1. P. 528–537.
27. Thomas M.D.A. Field studies of fly ash concrete structures containing reactive aggregates. // *Magazine of Concrete Research*. 1996. Vol. 48 (177). P. 265–279.
28. Кировская И.А. Химическая термодинамика. Растворы. Омск: ОмГТУ, 2009. 236 с.
29. Харнед Г., Оуэн Б. Физическая химия растворов электролитов. М.: Издательский центр «Издательство МГУ», 1952. 628 с.
- Damage rating Index (DRI). *14th International Conference on AAR in Concrete*, Austin, Texas. 2012.
15. Korolev E.V., Smirnov V.A., Zemlyakov A.N. The identification of tumors caused by alkali-silica reaction. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 6, pp. 109–116. (In Russian).
16. Grishina A.N., Zemlyakov A.N., Korolev E.V., Okhotnikova K.Yu., Smirnov V.A. Identification of the corrosion in cement composites by means of statistical modeling. *Vestnik MGSU*. 2014. No. 4, pp. 87–97. (In Russian).
17. Stark D. Handbook for the Identification of Alkali-Silica Reactivity in Highway Structures. SHRP-C-315, TRB National Research Council. 1991. 49 p.
18. Patent RF 2258725. *Композиция для антикоррозионной защиты* [The composition for corrosion protection]. Babakova O.K., Ogorodnikova T.V., Kochetkov V.M., Timofeev V.S., Declared 09.10.2003. Published 20.08.2005. (In Russian).
19. Patent WO 1993012052. *Improvements in and relating to treatments for concrete*. PAGE, Christopher, Lyndon, Declared 17.12.1992. Published 24.06.1993.
20. Patent WO 2013006662. *Lithium-based concrete admixtures for controlling alkali-silica reactions with enhanced set-time control* / STOKES, David B, Declared 05.07.2012. Published 10.01.2013.
21. Patent WO 1994029496. *Cathodic protection of reinforced concrete* / PAGE, Christopher, Lyndon, Declared 22.12.1994. Published 22.12.1994.
22. Patent WO 2004089844. *Product for treating reinforced concrete constructions* / LUTZ, Theophil, Markus, CHEVRET, Christian, Declared 30.03.2004. Published 21.10.2004.
23. Patent WO 1993012052. *Improvements in and relating to treatments for concrete* / PAGE, Christopher, Lyndon, Declared 17.12.1992. Published 24.06.1993.
24. Stokes D.B., Wang H.H., Diamond S. A lithium-based admixture for ASR control that does not increase the pore solution pH. *Proceedings of the 5th CANMET/ACI Int. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, ACI SP-173, American Concrete Institute, Detroit. 1997, pp. 855–867.
25. Feng X., Thomas M.D.A., Bremner T.W., Balcom B.J., Folliard K.J. Studies on lithium salts to mitigate ASR-induced expansion in new concrete: a critical review. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35, pp. 1789–1796.
26. Fournier B., Nkinamubanzi P-C., Chevrier R. comparative field and laboratory investigations on the use of supplementary cementing materials to control alkali-silica reaction in concrete. *Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. Beijing, China. 2004. Vol. 1, pp. 528–537.
27. Thomas M.D.A. Field studies of fly ash concrete structures containing reactive aggregates. *Magazine of Concrete Research*. 1996. Vol. 48 (177), pp. 265–279.
28. Kirovskaya I.A. *Химическая термодинамика. Растворы*. [Chemical thermodynamics. Solutions] Omsk: OmGTU. 2009. 236 p.
29. Kharned G., Owen B. *Физическая химия растворов электролитов* [Physical chemistry of electrolyte solutions]. М.: Izdatinlit. 1952. 628 p.

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА

<http://ejournal.rifsm.ru/>

Д.В. ОРЕШКИН, д-р техн. наук (dmitrii_oreshkin@mail.ru)

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

Теоретическое обоснование использования древесины мягколиственных пород в строительстве

Рассмотрены проблемы сырьевой базы для производства строительных материалов. Проанализированы традиционные теплоизо-ляционные материалы. Целью работы явилось обоснование возможности расширения сырьевой базы строительных материалов за счет малоиспользуемой в настоящее время древесины мягколиственных пород. Рассмотрены недостатки строения мягколиственной древесины, затрудняющие ее использование в строительстве. Установлено, что высокая пористость и низкая прочность исключают ее применение в качестве конструкционного материала без специальной обработки. Обосновано, что при производстве теплоизоляционных материалов из мягколиственной древесины высокая пористость является положительным фактором, снижающим коэффициент теплопроводности и обеспечивающим высокие паро- и воздухопроницаемость. Теплоизоляционные материалы из древесины мягколиственных пород в полной мере отвечают требованиям по экологии и комфортности проживания.

Ключевые слова: строительные материалы, древесина, теплопроводность, сырьевая база, комфорт.

D.V. ORESHKIN, Doctor of Sciences (Engineering) (dmitrii_oreshkin@mail.ru)

Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Theoretical Justification for the Use of Soft-Leaved Wood in Construction

The article considers problems of the raw material base for producing building materials. The traditional heat-insulating materials are analyzed. The aim of this work is to justify the possibility of expanding the raw material base of building materials through the use of soft-leaved wood which is little used now. Shortcomings of the soft-leaved wood structure that hinder its use in construction are considered. It is established that the high porosity and low strength preclude its use as a structural material without special treatment. It is justified that the high porosity is a positive factor for producing heat-insulating materials from soft-leaved wood; this factor reduces the heat conductivity coefficient and ensures high steam and air permeability. Heat-insulating materials made of soft-leaved wood fully meet the requirements for ecology and comfort of living.

Keywords: building materials, wood, heat conductivity, raw material base, comfort.

Интенсивный рост строительного производства в последнее столетие привел к уменьшению запасов минеральных ресурсов – традиционного сырья для получения большинства строительных материалов. Ежегодно в разных странах мира производится более 10 млрд т строительных материалов. После распада СССР в РФ существенно уменьшились объемы геолого-разведочных работ, нет прироста запасов нерудного сырья [1]. Значительную часть природного сырья можно заменить другими его видами. Наиболее перспективным направлением развития промышленности строительных материалов является использование древесины. Это важно с экономической и экологической точки зрения, поскольку древесина является возобновляемым сырьем [2, 3, 4].

Одной из основных проблем современной строительной науки является проблема энергосбережения, решение которой невозможно без использования эффективных теплоизоляционных материалов, обеспечивающих оптимальные температурные параметры жилья [2]. Для исключения воздействия вредных веществ на окружающую среду и человека необходимо также учитывать экологическую и технологическую безопасность материалов, из которых выполнена теплоизоляция.

Основным видом применяемых в России утеплителей являются минераловатные изделия. Их доля на рынке составляет более 60%. Коэффициент теплопроводности минераловатных изделий в зависимости от их средней плотности составляет от 0,035 до 0,045 Вт/(м·°C) [5].

Объем производства пенополистирола составляет около 20% от объема производства теплоизоляционных материалов. Пенополистирол характеризуется низкой теплопроводностью – 0,03–0,04 Вт/(м·°C) при средней плотности 15–40 кг/м³ [6]. Но пенополистирол относится к горючим материалам и производится из ядовитого мономера. Его использование ограничено требованиями пожарной безопасности.

В качестве теплоизоляционных материалов могут применяться древесно-волокнистые (ДВП) и древесно-стружечные плиты (ДСП). ДВП изготавливают из древесного сырья, которое последовательно измельчают в волокнистую массу, формуют и подвергают тепловой обработке. ДСП получают горячим прессованием массы, содержащей около 90% древесной стружки и 8–10% фенолоформальдегидной или карбамидоформальдегидной смол. Для улучшения свойств ДСП добавляют гидрофобизаторы, антисептики и антипирены. Древесные плиты обладают повышенной гигроскопичностью и водопоглощением, легко воспламеняются и могут гнить гораздо дольше, чем природная древесина.

Известен теплоизоляционный материал, изготавливаемый на основе отходов лесозаготовок, деревообработки, – арболит [6–9]. Для производства арболита применяются измельченные отходы лесопиления и деревообработки, костры, соломы, тростника и др. В качестве вяжущего вещества используют цемент и синтетические смолы. Имеется сырьевая база для выпуска арболита из неиспользуемых твердых отходов разных производств на лесозаготовках (более 3 млн м³ в год) [7–8]. Из арболита выпускают крупные стеновые блоки и навесные стеновые панели, перегородочные плиты, теплоизоляционные плиты совмещенных покрытий жилых домов. К недостаткам арболита относится повышенная гигроскопичность [8]. При отрицательной температуре наружного воздуха точка росы находится внутри стены, снижаются ее теплозащитные свойства и такие стены зимой промерзают, загнивают деревянные конструкции.

Для решения этой проблемы используют паро- и гидроизоляцию. В последнее время лучшим решением считается дышащая конструкция стены. При этом конденсат беспрепятственно в виде водяного пара проходит наружу. Однако в таком случае увеличиваются теплопотери [3, 4].

Известно, что для обеспечения и повышения комфортных условий проживания людей необходимо пра-

вильно выбирать строительные материалы. Национальная программа «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» нацелена на выполнение таких требований.

Этим требованиям в полной мере отвечает древесина, имеющая низкие среднюю плотность и теплопроводность, достаточные показатели по паропроницаемости и воздухообмену. Это обеспечивает человеку максимально благоприятные условия проживания и невысокую стоимость жилья. Красивая текстура древесины подчеркивает эстетическую выразительность интерьеров, создает уют. Достоинством древесины также является доступность и возобновляемость ресурсов. Однако следует подчеркнуть, что требования по паропроницаемости и воздухообмену для стен оправданы только при отсутствии принудительной вентиляции и кондиционирования. Для элитного жилья паропроницаемость и воздухообмен будут приводить к существенной потере тепла или охлажденного воздуха через стены во время отопительного сезона или работы кондиционеров.

В Российской Федерации имеются большие возможности для развития малоэтажного домостроения. На сегодняшний день в частном секторе наиболее распространенными являются деревянные дома из бревен, бруса, щитов, а также современные быстровозводимые каркасные дома. В настоящее время в России доля деревянного домостроения не превышает 20%, но строительство деревянных домов имеет хорошие перспективы.

Россия располагает крупнейшей в мире лесосырьевой базой объемом более 83 млрд м³ древесины. Однако по использованию древесных материалов в строительстве Россия существенно отстает от других стран. Например, в России на 1 м² построенного жилья приходится 0,05 м³ древесных материалов, что почти в 10 раз ниже, чем в промышленно развитых странах. Древесина хвойных и твердолиственных пород, имеющая хорошие прочностные показатели, широко применяется в строительстве, но ее запасы постоянно уменьшаются. А древесина мягколиственных пород практически не используется [6, 7].

Целью статьи является обоснование возможности расширения сырьевой базы строительных материалов за счет малоиспользуемой в настоящее время древесины мягколиственных пород. Для этого необходимо установить область применения строительных изделий из мягколиственных пород с учетом их экологической безопасности.

Известно, что конструкционные материалы должны обладать хорошими прочностными показателями, иметь достаточные водо- и морозостойкость. Теплоизоляционные – должны обеспечивать низкую теплопроводность, отделочные – высокие эксплуатационные и декоративные свойства. Обычно подбирают материал таким образом, чтобы результирующий показатель Y_p имел максимальное значение:

$$Y_p \rightarrow \max.$$

Другие показатели свойств материала Y_i должны быть в пределах:

$$Y_{i \min} \leq Y_i \leq Y_{i \max}.$$

Себестоимость продукции S должна быть минимальной:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m n_i m_j \rightarrow \min,$$

где n_i – стоимость каждого из видов сырья и материалов; m_j – стоимость переработки сырья и материалов каждой операции.

В дальнейшем производство строительных материалов из древесины будет становиться все более перспективным. В условиях постоянно дорожающих энергоресурсов стоимость строительных материалов из минерального сырья постоянно возрастает, а стоимость заготовленной древесины увеличивается незначительно.

Свойства строительных материалов из минерального сырья во многом достигаются регулированием параметров процесса производства (X_i) – вида и дозировки компонентов, условий приготовления и др., т. е.:

$$Y_i = f(X_i).$$

Свойства строительных материалов из древесины в большей степени будут определяться строением, химическим составом используемого сырья и компонентов и др.

Самыми важными показателями для строительных материалов являются прочностные характеристики. Особенностью древесины является анизотропия – различие свойств в различных направлениях. Известно, что прочность древесины при одинаковой влажности увеличивается при росте средней плотности.

В жилищном строительстве в настоящее время древесина используется при производстве несущих конструктивных элементов зданий и сооружений, изделий для внутренней отделки. Эксплуатационные свойства древесины лиственных пород ниже, чем у древесины хвойных пород. Поэтому древесина лиственных пород мало используется в настоящее время в строительстве.

В лесах Европейской части РФ из древесины мягколиственных пород распространены: осина, ольха, тополь и липа [6, 7]. Все эти породы имеют меньшую прочность по сравнению с прочностью древесины твердолиственных или хвойных пород. Они склонны к растрескиванию и загниванию. Без специальной обработки их нельзя применять в строительстве. Текстура осины и тополя однородная, невыразительная. Это исключает их использование в качестве отделочного материала. Липа применяется для отделки парилок в банях. Древесина ольхи имеет более развитую текстуру по сравнению с древесиной осины, тополя и поэтому может применяться для отделки.

Теоретической основой для расширения области использования древесины мягколиственных пород в строительстве является следующее:

– максимальное использование строения древесины этих пород;

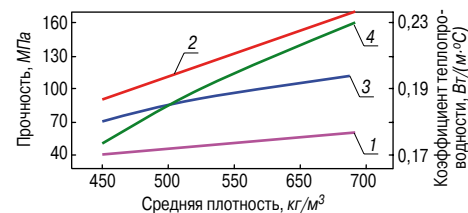
– установление областей применения, где недостатки строения становились бы преимуществами.

Древесина является природным полимером. Это и определяет ее структурные особенности, которые непосредственно отражаются на ее свойствах. Древесина мягколиственных пород ольхи, осины, тополя имеет меньшую среднюю плотность и прочностные показатели по сравнению с хвойной древесиной из-за большей пористости. Поэтому пористое строение осины, ольхи и тополя является их недостатком как конструкционного материала. Однако повышенная пористость обеспечит повышение качества пропитки древесины модификаторами, антисептиками или антипиренами. Высокая пористость способствует увеличению количества поглощенных веществ. В результате этого у пропитанной древесины с пористым строением технические характеристики будут выше, чем у других пород.

Повышенная пористость указанной древесины будет являться преимуществом при ее использовании в качестве конструкционно-теплоизоляционного материала. В таблице приведены значения средней плотности и коэффициента теплопроводности лиственных пород.

На рисунке показаны зависимости, характеризующие влияние средней плотности древесины на ее прочность и теплопроводность. У древесных пород с высокими прочностными показателями выше и средняя плотность, что, как известно, снижает теплоизоляционные свойства. Коэффициент теплопроводности, напри-

Показатели	Порода					
	Дуб	Береза	Ольха	Осина	Липа	Тополь
Средняя плотность, кг/м ³	690	630	520	495	495	455
Пористость, %	53,4	59,3	66,2	68	68,5	70,6
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,23	0,21	0,19	0,181	0,18	0,168
Предел прочности, МПа:						
– при статическом изгибе	108,5	109	80,5	78	88	69
– при растяжении вдоль волокон	176	168	101	125	121	91
– при сжатии вдоль волокон	57,5	55	44	42	45,5	39



Влияние средней плотности древесины на: 1 – прочность при сжатии вдоль волокон; 2 – прочность при растяжении вдоль волокон; 3 – прочность при статическом изгибе; 4 – коэффициент теплопроводности

мер, у тополя на 36% ниже, чем у дуба, за счет более низкой средней плотности.

Другой немаловажной характеристикой строительных материалов для обеспечения комфортных условий проживания является воздухопроницаемость. Для древесины средней плотностью 690 кг/м³ воздухопроницаемость составляет 0,00013 см³/(см²·с), а для древесины плотностью 500 кг/м³ воздухопроницаемость составляет 0,0026 см³/(см²·с) [6–8], т. е. при снижении средней плотности в 1,4 раза воздухопроницаемость возрастает в 20 раз.

Пористость структуры будет являться положительным фактом при использовании древесины мягколиственных пород в качестве материала с теплоизоляционными функциями. Это обеспечит хорошую теплоизоляцию, паро- и воздухопроницаемость, что немаловажно для обеспечения комфортных условий проживания людей. Паропроницаемость необходима для исключения конденсата в утеплителе. Одним из вариантов такой конструкции является ячеистая стеновая панель [6].

Важным преимуществом изделий из древесины является их экологическая безопасность. Теплоизоляционные материалы из древесины мягколиственных пород в полной мере отвечают требованиям по экологии и комфортности проживания. Экологическим требованиям также отвечает гофрокартонная плита. Она представляет собой теплоизоляционное изделие, изготавливаемое из отходов упаковочной тары [7].

Таким образом, использование мягколиственных пород древесины в качестве возобновляемой сырьевой базы производства строительных материалов и изделий является актуальной технической, экологической и экономической задачей. Существующие материалы и изделия с теплоизоляционными функциями не всегда отвечают требованиям пожарной и экологической безопасности при монтаже и эксплуатации. Более того, установлено, что основным фактором, сдерживающим применение древесины мягколиственных пород, является высокая пористость структуры и невысокая прочность по сравнению с другими породами. Без термической стабилизации, модифицирования эта древесина не может применяться в качестве строительного конструкционного материала. Определено, что оптимальной областью применения древесины мягколиственных пород можно считать производство материалов и изделий с функцией теплоизоляции.

Список литературы

1. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // *Жилищное строительство*. 2013. № 1. С. 9–12.
2. Орешкин Д.В. Проблемы строительного материаловедения и производства строительных материалов // *Строительные материалы*. 2010. № 11. С. 6–8.
3. Орешкин Д.В. Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства // *Строительные материалы*. 2010. № 6. С. 34–37.

4. Орешкин Д.В., Беляев К.В., Семенов В.С. Теплофизические свойства, пористость и паропроницаемость облегченных цементных растворов // *Строительные материалы*. 2010. № 8. С. 51–55.
5. Некрасов Н.К. Теплоизоляционные материалы: их характеристики // *Технологии строительства*. 2003. № 2 (24). С. 32–35.
6. Лукаш А.А., Плотников В.В., Ботаговский М.В. Ячеистые стеновые панели из древесных материалов // *Строительные материалы*. 2009. № 2. С. 72–73.
7. Лукаш А.А., Лукутцова Н.П. Гофрокартонная плита – эффективный теплоизоляционный материал // *Строительные материалы*. 2014. № 10. С. 24–29.
8. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции. М.: ИНФРА-М, 2003. 268 с.
9. Stark, N.M., Rowlands, E.R. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood and Fiber Science*. 2003. №35(2), p. 167–174.

References

1. Lesovik V.S. Architecturnaya geonika. *Zhilichnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2013. No. 1, pp. 9–12. (In Russian).
2. Orshkin D.V. Problems of Building Materiology and Production of Building Materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 11, pp. 6–8. (In Russian).
3. Orshkin D.V. Light-Weight and Superlight Cement Mortars for Construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 6, pp. 34–37. (In Russian).
4. Orshkin D.V., Belyaev K.V., Semenov V.S. Thermophysical Properties, Porosity and Vapour Permeability of Light-Weight Cement Mortars. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 8, pp. 51–54. (In Russian).
5. Nekrasov N.K. Thermal-insulating materials: their properties. *Tehnologii stroitel'stva*. 2003. No. 2 (24), pp. 32–35. (In Russian).
6. Lukash A.A., Plotnikov V.V., Botagovsky M.V. Cellular Wall Panels Made of Timber Materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 2, pp. 72–73. (In Russian).
7. Lukash A.A., Lukuttsova N.P. Corrugated Cardboard Plate – Efficient Heat Insulating Material. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 10, pp. 24–29. (In Russian).
8. Bobrov Ju.L., Ovcharenko E.G., Shojhet B.M., Petuhova E.Ju. Teploizoljacionnye materialy i konstrukcii [Heat-insulating materials and structures]. Moscow. INFRA–M. 2003. 268 p.
9. Stark N.M., Rowlands E.R. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood and Fiber Science*. 2003. No. 35 (2), pp. 167–174.

Не бойтесь за стены!

КНАУФ-суперлист — это универсальный отделочный материал, который сочетает в себе все необходимые характеристики для специальных помещений.

Реклама



КНАУФ-суперлист — это:

- Высокая ударопрочность
- Звукоизоляция до 66 дБ
- Класс пожарной опасности КМ1
- Предел огнестойкости до EI 150



www.knauf.ru

KNAUF
Немецкий стандарт

Среда жизнедеятельности – национальный приоритет России



Вопросы создания безопасной и комфортной среды жизнедеятельности обсуждали градостроители, архитекторы и материаловеды – члены Российской академии архитектуры и строительных наук на ежегодном Общем собрании, которое состоялось в Курске на базе Юго-Западного государственного университета 21–24 апреля 2015 г. В работе научной части Общего собрания РААСН приняли участие ученые из различных вузов и исследовательских организаций, руководители и ведущие специалисты крупных строительных и производственных предприятий. На пленарном заседании выступил с докладом губернатор Курской области А.Н. Михайлов.

Несмотря на жесткую реорганизацию, которую претерпевает Российская академия архитектуры и строительных наук, ежегодное Общее собрание ее членов состоялось в традиционном формате.

22 апреля прошли заседания Академических круглых столов: по направлению «Технологическая платформа «Строительство и архитектура», ведущий – ректор МГСУ, член-корр. А.А. Волков; по направлению «Архитектура» на тему «Роль и место архитектора в создании контекста городской жизни», ведущий – член-корр. А.А. Скокан; по направлению «Градостроительство» на тему: «Современные подходы к формированию городской среды», ведущие – и. о. академика секретаря отделения градостроительства член-корр. М.В. Шубенков, член-корр. О.В. Малинова; по направлению междисциплинарных исследований на тему: «Город и Биосфера», ведущий – академик В.А. Ильичев.

Также были проведены заседания Совета по охране, реставрации и реконструкции архитектурно-градостроительного наследия (председатель – академик А.П. Кудрявцев), Совета молодых ученых и специалистов РААСН (куратор – академик Г.В. Есаулов), и Совета по интеграции академической и вузовской науки (председатель – первый вице-президент РААСН академик В.И. Теличенко), на котором было уделено особое внимание развитию направления взаимодействия РААСН, Ассоциации строительных вузов (АСВ) и отраслевой науки (ОАО «НИЦ Строительство»); на заседании Совета были подписаны Соглашения о сотрудничестве между РААСН и Юго-Западным государственным университетом, Волгоградским государственным архитектурно-строительным университетом, Брянской государственной инженерно-технической академией.

В фойе университета была развернута выставка научных и творческих работ – лауреатов конкурса на медали и дипломы РААСН за период 2009–2015 гг., видео-презентация спортивных объектов Олимпиады-2014, в строительстве которых принимали участие члены РААСН, и видео-выставка студенческих и дипломных работ ЮЗГУ.

Темой научной части сессии РААСН стала «Среда жизнедеятельности – национальный приоритет России. Формирование и реализация». 23 апреля на пленарном заседании присутствовал губернатор Курской области А.Н. Михайлов. Приветствуя гостей, он особо подчеркнул, что процессы в строительстве, в том числе градостроении, напрямую зависят от экономического развития региона. Курская область – динамично развивающийся регион. Позитивные процессы в экономике, в бюджетной сфере, успешное решение вопросов инвестиционной привлекательности сказываются и на строительной отрасли. Объем выполненных в 2014 г. в строительной отрасли работ оценивается в 42,1 млрд. р., что на 10,3% больше по сравнению с 2013 г. Объем ввода жилья в 2014 г. составил почти 560 тыс. м² и вырос по сравнению с 2013 г. на 12,5%.

Самая масштабная стройка региона – станция замещения КуАЭС-2, общий объем инвестиций в которую должен составить не менее 400 млрд р.

Не менее важны для жителей региона и социальные объекты. Только в последние годы в эксплуатацию введены перинатальный центр, новая поликлиника в Курске, лечебный корпус областного противотуберкулезного диспансера, два пусковых комплекса областного онкологического диспансера, спортивно-концертный комплекс, фехтовальный центр, центр ядерной медицины. Практически ежегодно появляются новые школы, детские сады, спортивные объекты.



Дворцово-парковый ансамбль «Марьино» – бывшее имение князей Барятинских, в настоящее время здесь размещен санаторий



Несмотря на перипетии истории, Курский край сумел сохранить прекрасные образцы российской архитектуры. В их числе: Знаменский кафедральный собор, дом бывшего Дворянского собрания, Марьинский дворец, комплекс палат бояр Ромодановских, дворец графа Нелидова и др.

С основным докладом по теме научной части Общего собрания Академии выступил президент РААСН академик А.В. Кузьмин. Он отметил, что каждый человек ищет подходящую среду для своей жизни. Важными критериями для определения уровня жизни являются социальная гарантия – то, что предоставляет государство, – и стандарт качества – то, на что надо ориентироваться и к чему стремиться.

«Забытую тему» доступного жилья поднял академик РААСН А.В. Боков (отделение архитектуры); член-корр. Г.С. Юсин (отделение градостроительства) рассмотрел научные основы формирования благоприятной территориально-пространственной среды; безопасность среды жизнедеятельности стала темой доклада вице-президента РААСН академика В.И. Травуша (отделение строительных наук). С особым вниманием участники собрания встретили доклад главного ученого секретаря президиума РААСН, члена-корр. П.А. Акимова «О формировании, реализации и мониторинге качества выполнения Плана фундаментальных научных исследований РААСН и Минстроя России», что неудивительно, ведь фетишизация количественных показателей в виде статей и ссылок на них со стороны Минобрнауки РФ едва ли не отодвигает на второй план саму научную деятельность.

О целостном подходе к управлению территорией и новом генеральном плане Курска рассказал заместитель главы администрации Курска Ю.С. Косырев.

В торжественной обстановке в присутствии Губернатора Курской области А.Н. Михайлова ректор Юго-Западного государственного университета С.Г. Емельянов и директор Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского С.И. Федоркин подписали соглашение о сотрудничестве.

Президент РААСН А.В. Кузьмин вручил С.Г. Емельянову Грамоту Академии коллективу Юго-Западного университета за вклад в развитие архитектурно-строительного образования и в связи с 80-летием со дня его основания.

24 апреля Общим собранием членов РААСН утверждены Программа деятельности академии на 2015 г., предложения по Приоритетным направлениям развития исследований в сфере архитектуры, градостроительства и строительных наук и документов, регламентирующих деятельность РААСН. Вице-президентом РААСН по направлению «Архитектура» избран академик А.П. Кудрявцев, вице-президентом по направлению «Инновации» – академик В.А. Ильичев.

Общее собрание членов РААСН завершилось вручением наград лауреатам XVIII конкурса РААСН за лучшие научные и творческие работы в области архитектуры, градостроительства и строительных наук за 2014 г.

Благодаря организаторам Общего собрания со стороны ЮЗГУ гости Курска смогли совершить увлекательные экскурсии по городу и окрестным достопримечательностям, не только пополнить копилку впечатлений, но и проникнуться доброжелательностью и открытостью курян.



Фокус на цифровые технологии в строительстве зданий



Осенью 2014 г. во Франции была запущена программа по внедрению цифровых технологий в строительстве зданий с целью мобилизации всех участников строительной индустрии и поддержания развития инноваций – все для строительства большего количества жилья лучшего качества за меньшие деньги. Эта программа также входит в План мероприятий по развитию строительства, опубликованный в мае 2014 г. Министерством по жилищному строительству Франции.

Приоритетным направлением программы являются технологии BIM (Информационное моделирование зданий – Building Information Model), способные значительно улучшить качество строительства и уменьшить затраты к 2017 г. (дата, указанная в Плате мероприятий по развитию строительства). *Цифровое моделирование – это основная инновационная технология в отрасли, влияющая на все ее сегменты.* Многие цифровые технологии уже широко представлены в строительной отрасли:

- программы для 3D-моделирования;
- перевод документации в цифровой формат;
- 3D-печать.

BIM

Проект создается подрядчиком с помощью программы информационного моделирования зданий, все участники проекта имеют к нему доступ (с ограничениями доступа, связанными с их профессиональной деятельностью и уровнем исполнения). Все изменения, вносимые в проект архитектором, сметным бюро или инженерами по коммуникациям, сразу становятся известны всем участникам.

Существует несколько уровней цифрового макета: от уровня города до уровня X-BIM, т. е. уровня элементов конструктивных систем. Состоящая из различных цифровых «комплектующих», модель BIM – это не просто виртуальное представление (визуализация) объекта – это мощное информационное средство, помогающее принимать решения по планированию (моделирования уличного движения, уровня загрязнения воздуха, городского освещения, электромагнитного излучения, потенциала производства солнечной энергии, размещения зданий). Поэтому технология BIM относится не только к строительству зданий, но и к созданию городской инфраструктуры.

Уже существуют программы, работающие по технологии BIM: Revit (Autodesk), Allplan, ArchiCAD, Microstation, Vector Works.

С развитием технологии BIM у проектировщиков и застройщиков возникает необходимость в дополнительных технических консультациях, так как программы достаточно сложны в использовании. Поэтому они вынуждены обращаться в специализированные технические консалтинговые компании, в результате возрос спрос на новую профессию – **BIM-менеджер**.

Министерство образования Франции организовало семинар по необходимости включения обучения технологиям BIM в программу обучения специалистов строительной отрасли. Семинар проходил в лицее Людовика Великого в Париже. Среди выступающих были Бернар Делькамбр (президент научно-технического центра строительства зданий (Centre scientifique et technique du bâtiment CSTB) и Бенуа Тьелэн, президент Национального совета цифровых технологий. Они презентовали магистерский курс обучения «BIM – интегрированная концепция. Жизненный цикл здания и инфраструктуры», начавшийся 24 сентября 2014 г. в Высшей школе мостов и дорог (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC)). В 2015 г. курс насчитывает 37 слушателей, среди которых архитекторы, инженеры, производители, а также экономисты, специализирующиеся в строительстве.

Цель, поставленная правительством Франции, – к 2017 г. сделать повсеместным использование технологии BIM в строительстве. Некоторые большие проекты, например, проект Большой Париж, требуют от подрядчиков использования технологии BIM во всех составляющих проекта. Это также повышает конкуренцию на международном уровне.

НОРМЫ И РЕГЛАМЕНТЫ

В ходе преобразования европейских директив в начале 2014 г. было решено, что использование технологии BIM должно стать обяза-

тельным при заключении новых государственных контрактов. Каждая европейская страна осуществляет преобразование своего законодательства в соответствии с директивами. Во Франции инженеры-проектировщики очень довольны внедрением этой технологии и ждут, когда подрядчики и предприятия отрасли также начнут пользоваться ею в полной мере.

НОРМЫ И СТАНДАРТЫ IFC

Формат IFC (Industry Foundation Classes) – это формат данных с открытой спецификацией, которая не контролируется ни одной компанией или группой компаний. Этот формат был разработан для упрощения взаимодействия в строительной индустрии и используется как формат для обеспечения лучшего взаимодействия между программным обеспечением в отрасли. Формат IFC – один из форматов, используемых для обмена данными между разными платформами BIM. Однако повсеместно используемая в настоящий момент версия IFC (v2.3) не позволяет обеспечить полный обмен данными в BIM.

Для соответствия этому стандарту производители в настоящее время переводят свои каталоги продукции в формат IFC, чтобы включить свою продукцию в программу. Это позволяет архитекторам и проектным бюро иметь точное представление о размерах, свойствах, цене, ограничениях и другую информацию, необходимую для использования.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗНЫХ СТРАНАХ

Технология BIM активно развивается в Европе, свидетельством чему являются недавно реализованные проекты в **Германии и Финляндии**.

Министерство экономики и энергетики Германии поддерживает исследовательский проект по внедрению технологии BIM в строительной отрасли. Проект BIM iD направлен, в частности, на поддержку проектных бюро, малых и средних предприятий строительного сектора.

Цель: продемонстрировать, как технология BIM может быть применена как интегрированный процесс внутри малых и средних предприятий при передаче исполнительной документации подрядчикам для того, чтобы оптимизировать управление полным циклом строительства и эксплуатации зданий.

Проект включает: определение процессов BIM, совместную деятельность участников в рамках BIM, нормы Open BIM, мастер-классы для обучения методологии использования и передачи исполнительной документации в цифровом виде.

Проектом руководят специалисты из Института Фраунгофера (Fraunhofer Institute) в сотрудничестве с компаниями Building SMART, AEC 3, Университетами Мангейма и Ольденбурга. Подрядчиком BIM iD стала компания Volkswagen Financial Services (WVFS) – крупнейший банк в Европе, специализирующийся на финансировании автомобильной отрасли, так как этот инвестор уже начал внедрять технологию BIM в своем департаменте культурного наследия, используя программу Revit.

В финской программе PRE (Construction Environment Processus Re-Engineering), реализованной с 2010 по 2014 г., приняли участие 37 предприятий и 6 научно-исследовательских институтов, в том числе корпорация Текла и Университет Аалто. При поддержке Агентства Текес (основной государственной финансирующей организации для инноваций в Финляндии) по меньшей мере 21,8 млн. евро были инвестированы в развитие новых процедур BIM и бизнес-моделей. Значительные результаты были также достигнуты в развитии технологий и концепций, основанных на моделях BIM, с открытым доступом, позволяющим управлять и передавать информацию.

BIM на BATIMAT

На выставке Batimat будет организован специальный демонстрационный сектор, полностью посвященный использованию цифровых технологий в строительстве. Этот сектор будет расположен в павильоне 5b, в центре раздела, посвященного IT и новым технологиям.

Представительство выставки в России, странах СНГ и Балтии: Агентство ACM. Тел.: +7 (495) 229 47 90 E-mail: office@ism-agency.ru

BATIMAT

Все для успешного строительства

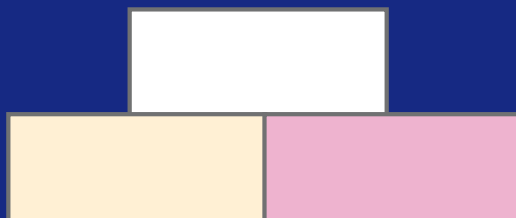


СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ
ЗАКАЖИТЕ СВОЙ БЕСПЛАТНЫЙ БАДЖ*
НА САЙТЕ WWW.BATIMAT.COM - КОД: PAR9UNHFY

*стоимость входного билета на выставке при отсутствии электронного баджа: 65€

BATIMAT le mondial
IDÉOBAIN du bâtiment
INTERCLIMA+ELEC

СИЛИКАТЭКС



IX Международная научно-практическая конференция

21–22 октября 2015 г.

Воронеж



*В программе конференции посещение
ЗАО «Воронежский комбинат строительных материалов»*



Организатор конференции – журнал «Строительные материалы»®

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**

Генеральный спонсор:



Спонсоры конференции:

«ИНВЕСТ-ТЕХНОЛОГИЯ»



Оргкомитет:

Руководитель проекта – Юмашев Алексей Борисович Менеджер проекта – Горегляд Светлана Юрьевна

Телефон/факс: (499) 976-22-08, 976-20-36, (916) 123-98-29

silikatex@bk.ru mail@rifsm.ru www.silikatex.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3,
редакция журнала «Строительные материалы»®

**Bridging the Platform
Between India and the World !**



CERAMICS ASIA 2015

2015 Asia International Ceramics Industry Exhibition

DEC. 3-5, 2015

Gujarat University Exhibition Center



**Add Official WeChat
Get Latest Info**



**Visit Official Website
Scan This QR Code**

Contact



UNIFAIR
EXHIBITION SERVICE

**Tel: (86-755) 8663 5807
ceramicsasia@unifair.com**



KNAUF



НЕМЕЦКИЙ СТАНДАРТ. ЕДИНОЕ КАЧЕСТВО ДЛЯ ВСЕХ СТРАН

Высокие корпоративные принципы и традиции производства материалов КНАУФ — это залог качества в строительстве и ремонте!

УДК 622.367.8: 691-492: 691-405.8

А.И. НИЖЕГОРОДОВ, д-р техн. наук (nastromo_irkutsk@mail.ru)

Иркутский национальный исследовательский государственный технический университет (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83)

Производство и применение полистирол-вермикулитовых строительных смесей

В статье рассматриваются вопросы производства, составов и применения полистирол-вермикулитовых строительных смесей (ПВС), получаемых смешиванием компонентов – зерен вспученного вермикулита и гранул вспененного полистирола. Приводятся физические свойства материала: насыпная плотность, теплопроводность, угол естественного откоса, внутреннее трение, плотность и теплопроводность в уплотненном – объемно-напряженном состоянии. Рассматривается процедура технологической усадки массивов ПВС в трехслойных стенах и критерий, обоснованный результатами экспериментов, обеспечивающий безопасную эксплуатацию ПВС в течение всего срока службы. Приводятся составы полистирол-вермикулитобетона и его свойства, рассматриваются аспекты возможного применения конструкционно-теплоизоляционных бетонов на основе ПВС.

Ключевые слова: полистирол-вермикулитовая смесь (ПВС), вспученный вермикулит, вспененный полистирол, усадка массива ПВС, полистирол-вермикулитобетон.

A.I. NIZHEGORODOV, Doctor of Sciences (Engineering) (nastromo_irkutsk@mail.ru)
Irkutsk National Research State Technical University (83, Lermontov street, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

The Production and Application of Polystyrene-Vermiculite Mixes

The article deals with the production, composition and application of polystyrene-vermiculite mixes obtained by mixing the components of the grains of blown-out vermiculite and prills of foamed polystyrene. The article presents the physical material properties such as packed density, thermal conductivity, slope of repose, internal friction, density and conductivity in a packed volume-intensive state. The technological shrinkage of solid masses PVM in a three-layer walls and criteria of reasonable results of experiments that provides unshrinkable operation of PVM for the whole service life period is considered. It provides the composition of polystyrene vermiculite concrete and its behavior. The aspects of the possible application of heat insulating concretes based on PVM are examined.

Keywords: polystyrene-vermiculite mix (PVM), blown-out vermiculite, foamed polystyrene, shrinkage of solid masses PVM, polystyrene vermiculite concrete.

Производство вспученного вермикулита в нашей стране имеет более чем пятидесятилетний опыт. Пройден большой путь от первых огневых печей, построенных еще в конце 50-х [1, 2], до электрических модульно-спусковых агрегатов и технологических комплексов для переработки вермикулитовых концентратов и конгломератов, появившихся в начале нынешнего века [3, 4].

Оборудование совершенствовалось, но применение вермикулита за малым исключением оставалось прежним. В строительстве – для засыпной теплоизоляции при утеплении трехслойных стен, чердачных и подвальных перекрытий, приготовления легких строительных растворов для выравнивающих стяжек полов и внутреннего оштукатуривания наружных стен, а также для огнезащиты строительных конструкций [5, 6].

В настоящее время применение вермикулита и изделий на его основе переместилось в основном в область

малоэтажного строительства, но и эта ниша весьма обширна: сейчас на рынке больше ощущается дефицит сырья, а не отсутствие спроса на вспученный продукт.

Но вермикулит имеет ряд недостатков: сравнительно большая насыпная плотность (80–130 кг/м³) и, как следствие, не самая низкая теплопроводность (0,052–0,061 Вт·м/°С); гигроскопичность в пределах 5–6% и относительно высокая стоимость. Сгладить указанные недостатки можно за счет применения полистирол-вермикулитовых смесей (ПВС).

На рис. 1 показаны компоненты ПВС: вспененный полистирол и вспученный вермикулит фракции 2–5 мм.

Теплоизоляционная полистирол-вермикулитовая смесь (марка ПВС-75) относится к группе неорганических материалов с содержанием компонентов минерального происхождения более 50% по массе (ГОСТ 16381–77. Материалы и изделия строительные



Рис. 1. Компоненты полистирол-вермикулитовых смесей: а – вспененный полистирол (фракция 2–5 мм); б – вспученный вермикулит (фракция 2–5 мм)

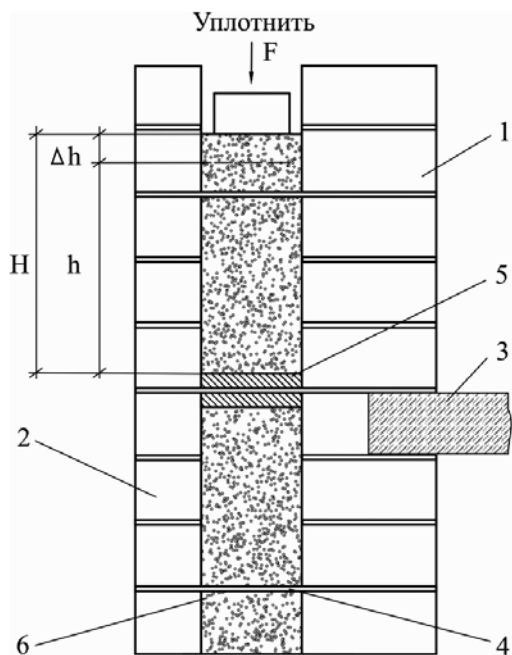


Рис. 2. Трехслойная стена с элементами конструкции и схема уплотнения ПВС: 1 – несущий слой; 2 – облицовочный слой; 3 – перекрытие; 4 – гибкие связи (арматура); 5 – противопожарная рассечка; 6 – ПВС

теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования) и состоит из смеси гранул вспененного полистирола (40% по объему) и зерен вспученного вермикулита (60%) с размерами от 0,6 до 10 мм. При этом ТУ 5761-001-15003850–2004 «Смесь строительная теплоизоляционная полистирол-вермикулитовая. Технические условия» допускается присутствие зерен других размеров в пределах до 10%.

Для приготовления легких бетонных (растворных) смесей марки ПВС-100 (ТУ 5761-001-15003850–2004) применяются составы из гранул и зерен компонентов с размерами от 0,6 до 2,5 мм.

ПВС не является материалом, поддерживающим горение: при воздействии открытого огня полистирол плавится, массив смеси проседает, уменьшаясь в объеме, и на поверхности остается только вермикулит, защищающий смесь от огня и предотвращающий распространение пламени.

Для утепления ПВС применяется в качестве теплоизоляционной засыпки колодцевой кладки наружных стен, трехслойных стен, а также чердачных и подвальных перекрытий с последующим устройством цементно-песчаной стяжки прочностью не ниже 4,9 МПа. Находясь в замкнутом пространстве, полистирол-вермикулитовая смесь с пожарной точки зрения является безопасной.

Стены, утепленные ПВС, дышат, так как за счет межзерновых пустот даже уплотненный массив обладает высокой паропроницаемостью [6].

На рис. 2 схематично показана конструкция трехслойной стены с ее основными элементами.

Применение ПВС для приготовления бетонных смесей и дальнейшего формования, например, стеновых блоков делает конечное изделие негорючим, тогда как широко распространенные блоки на основе вспененного полистирола при плотности 600 кг/м³ и менее относятся к слабогорючим материалам с группой горючести Г1 (ГОСТ Р 51263–99. Полистиролбетон. Технические условия).

По результатам тестирования теплоизоляционной полистирол-вермикулитовой смеси, проведенного испы-

Таблица 1

Показатель	Марка ПВС-75
Влажность, мас. %	1,1
Плотность в насыпном состоянии, кг/м ³	51
Коэффициент теплопроводности при 25°С, Вт·м/°С	0,047

тательным центром ОАО «ИРКУТСКГИПРОДОРНИИ» (Иркутск), установлены следующие показатели, табл. 1.

Достоинства ПВС очевидны: смеси легче и «теплее», чем чистый вспученный вермикулит. Но есть еще не менее важное преимущество – стоимость 1 м³ вспененных гранул полистирола примерно в 2,5 раза дешевле того же объема вермикулита.

В настоящее время 1 м³ вспученного вермикулита стоит в среднем 3600 р., примерная стоимость второго компонента смеси составляет 1440 р. Средневзвешенная стоимость ПВС при соотношении компонентов по объему 40/60 будет равна: 1440·0,4 + 3600·0,6 = 2736 р./м³, что на 24% дешевле чистого вермикулита.

Это касается отпускных цен. В себестоимости производства ПВС процент удешевления несколько снизится из-за дополнительной технологической операции, но не существенно, так как технология дополняется лишь механическим перемешиванием компонентов в модернизированном гравитационном смесителе, схема которого показана на рис. 3.

Перед смешиванием оба материала предварительно обрабатывают: вермикулитовый концентрат обжигают в печах, полистирол обрабатывают паром в специальных вспенивателях.

Смеситель поднимают до вертикально-наклонного положения (рис. 3), откидывают конусную насадку, засыпают отмеренные порции компонентов и устанавливают конус на место. Затем в горизонтальном положении их перемешивают в течение 25–30 с. Несмотря на то что истинные плотности зерен вспученного вермикулита и гранул вспененного полистирола отличаются почти в три раза (в зависимости от качества вспенива-

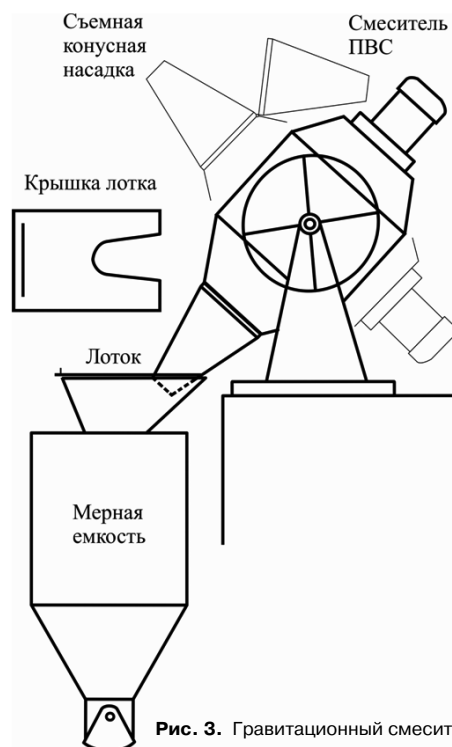


Рис. 3. Гравитационный смеситель для ПВС



Рис. 4. Полистирол-вермикулитовая смесь

ния и вспучивания), приготовление ПВС — легкая и непродолжительная операция.

Всем известно, как полистирол при малейшем трении за счет статического электричества прилипает к рукам, одежде и любым предметам. Этот эффект при смешивании компонентов ПВС настолько усиливается, что полученная смесь ведет себя скорее не как сыпучий материал, а как неньютоновская жидкость. При наклоне поверхности смесь сначала удерживается на ней, а затем стекает, образуя массив, больше похожий на расплывшееся цементное тесто с небольшим холмиком, чем на конус сыпучего материала. При наложении даже слабой вибрации эффект текучести усиливается.

Готовую ПВС (рис. 4), высыпают в мерный бункер через лоток с плотной крышкой, служащей для устранения пыления.

Свойства слитности и текучести смеси обеспечивают возможность заполнения ею пустот и пазух в пространствах сложной формы. Кроме того, при высыпании расфасованная в мешки ПВС не распадается и не расслаивается, сохраняя однородный состав.

Но есть и недостаток. Слитность смеси, обеспечиваемая статическим электричеством и возникающая при смешивании компонентов, сохраняется недолго: в зависимости от крупности зерен и гранул от 6–8 дней (для крупных компонентов 5–10 мм), до двух-трех недель для более мелких (0,6–2,5 мм). Хранение свыше указанных сроков приводит к уменьшению слитности и при высыпании смеси ее компоненты расслаиваются. Вермикулит, более тяжелый компонент, тяготеет книзу, полистирол стремится остаться на поверхности.

Однако если в указанные сроки ПВС не использована, ее исходное свойство слитности можно восстановить повторным перемешиванием уже на строительной площадке в любом гравитационном смесителе.

Еще один вопрос, связанный с применением ПВС в качестве засыпной теплоизоляции, — это ее усадка с течением времени. Для исключения усадки смеси, находящейся в пространстве трехслойной стены, ее необходимо ввести в объемно-напряженное состояние, чтобы максимально увеличить внутреннее и внешнее трение.

Как известно, коэффициент внутреннего трения определяется тангенсом угла естественного откоса $tg\varphi$.

Таблица 2

ε , %	0	2,3	3,3	4,2	6,2	7,6	8,8
σ , Н/м ²	0	0,014	0,021	0,31	0,39	0,044	0,054
$tg\varphi$	0,78	0,81	0,83	0,87	0,91	0,96	0,97

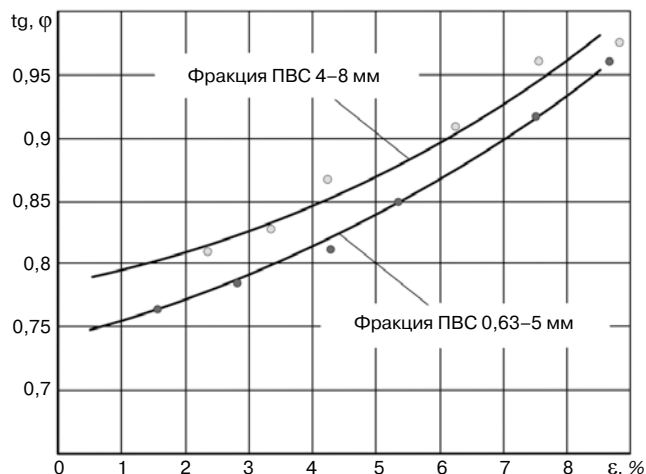


Рис. 5. Графики зависимости коэффициента внутреннего трения ($f = tg\varphi$) от относительной усадки массива ПВС различных фракций

Для его определения в объемно-напряженном состоянии были проведены соответствующие опыты. Небольшой массив ПВС ($\sim 0,008 \text{ м}^3$) рассыпался на плоской поверхности, и на срезанную вершину холмика устанавливались нормированные грузы в виде плоских цилиндрических дисков. С одной стороны массива рассыпавшийся материал убирался лопаткой, чтобы образовался естественный откос, отходящий точно от края диска. До установки груза измерялась исходная высота массива h , после установки — его абсолютная усадка Δh и по формуле:

$$\varepsilon = (\Delta h/h) \cdot 100\% \quad (1)$$

определялась относительная усадка ε .

Напряжение в массиве материала σ рассчитывалось по формуле:

$$\sigma = F/s, \quad (2)$$

где F — сила тяжести грузов; s — площадь нижнего груза, находящегося в контакте с массивом.

Угол откоса, образовавшийся после очередного нагружения массива, определялся соотношением:

$$\varphi = (h - \Delta h)/a, \quad (3)$$

где a — ширина откоса в нижней части.

В табл. 2 приведены результаты опытов для ПВС фракции 4–8 мм, а на рис. 5 — экспериментальные зависимости тангенса угла естественного откоса, равного коэффициенту внутреннего трения f , от относительной усадки массива ПВС различных фракций.

Для фракции 0,63–5 мм эффект увеличения внутреннего трения проявляется еще более значительно, хотя коэффициент внутреннего трения в ненапряженном состоянии у нее меньше.

Исследования показали, что коэффициент внутреннего трения ПВС в



Рис. 6. Уплотненная ПВС на основе ковдорского вермикулита. На заднем плане — уплотненный татарский вермикулит с противопожарной рассечкой

Таблица 3

Плотность в уплотненном состоянии, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности в объемно-напряженном состоянии, Вт/(м·°С)	Расход материала на 1 м ³ пространства в стене
~ 56–60	0,051–0,052	1,1

Таблица 4

Цемент	Зола-уноса	Вермикулит	Вспененный полистирол	Прочность при сжатии, Н/м ²	Средняя плотность, кг/м ³
1	2	3	1	4,2	1063
1	2	4	1	3,5	971
2	1	3	2	3,3	901
1	2	1	3	2,8	862
1	2	4	2	2,6	842
1	2	1,5	4	2,3	742

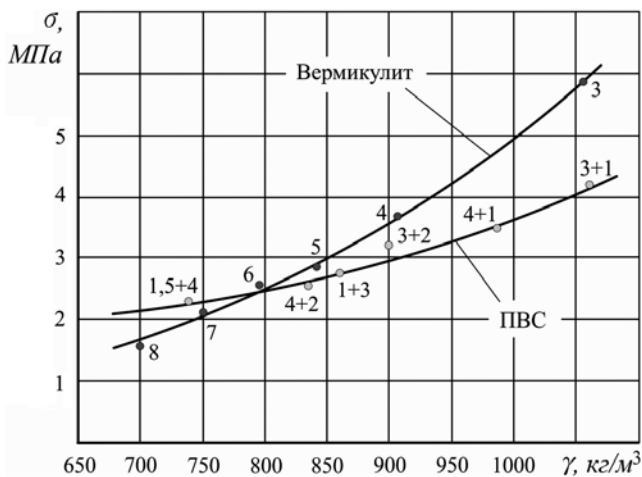


Рис. 7. Зависимость прочности от плотности образцов из вермикулито-бетона и ПВХ-бетона: 3–8 – объемные доли вермикулита; 3+1–1,5+4 – объемные доли вермикулита и полистирола

объемно-напряженном состоянии достигает значения, близкого к единице, поэтому силы трения, удерживающие ее в стене, практически равны ее весу. Но для разных фракций материала такой баланс достигается при различной степени уплотнения.

Для ПВХ с крупными зернами и гранулами достаточной является технологическая усадка в 9–10 %. При относительно малых размерах компонентов – чуть больше 10–12%.

Технология уплотнения ПВХ, как и чистого вермикулита, очень проста (рис. 2). Типовая трехслойная стена образована несущим и облицовочным слоями, соединенными гибкими связями (кладочной сеткой, металлическими или стеклопластиковыми стержнями, размещенными в кладочных швах через 5–8 рядов кирпича, с шагом 150–250 мм. В местах установки перекрытий выполнены поэтажные противопожарные рассечки, а внутреннее пространство заполнено ПВХ.

Противопожарные рассечки выполняют толщиной 35–40 мм из легкого бетона на основе ПВХ-100 путем омоноличивания связей.

ПВХ засыпают слоями высотой $H = 300–400$ мм и уплотняют, осаживая на величину Δh (7–10%) до уровня h . Материал вводится в объемно-напряженное состояние. Так как зерна и гранулы компонентов обладают упругостью, массив расширяется давлением и за счет внутреннего трения удерживается в пространстве стены. При этом утепление лучше выполнять по мере возведения стены.

Так достигается беззачадность массивов теплоизоляционных вермикулитовых и полистирол-вермикулитовых засыпок в течение всего срока службы [6].

В табл. 3 приведены характеристики уплотненной ПВХ. Очевидно, что для получения 1 м³ уплотненного в стене материала следует израсходовать исходной смеси примерно на 10% больше.

На рис. 6 показана ПВХ, уплотненная в колодезной кладке, приготовленная на основе ковдорского вермикулита. На заднем плане – уплотненная засыпка из чистого вермикулита, полученного обжигом концентрата Татарского месторождения.

Опыты, рассмотренные выше, и уплотнение массивов вермикулита и ПВХ в экспериментальном фрагменте стены были проведены еще в 2006 г. Прошло уже более восьми лет, а экспериментальная засыпка не дала усадки, хотя за эти годы в Иркутске было несколько четырех- и пятибалльных землетрясений, а цех ООО «Квалитет», в котором расположен фрагмент стены, подвергается постоянной транспортной вибрации,

так как находится в непосредственной близости к оживленной транспортной магистрали.

Однако собственные частоты вермикулитовых зерен и полистирольных гранул, обладающих высокой упругостью и очень малой массой, на несколько порядков превышают самые высокие гармоники спектра транспортных и сейсмических возмущений [7], поэтому возникновение резонансных явлений в технологически уплотненных массивах и их усадка невозможны.

Смесь ПВХ-100 предназначена для приготовления легких конструкционно-теплоизоляционных бетонов и может применяться для заполнения трехслойных стен, замоноличивания пустот и пазух в различных строительных конструкциях, для утепления плоской кровли и т. п. [6].

Для приготовления легких бетонных (растворных) смесей применяются составы из гранул и зерен компонентов с размерами от 0,6 до 2,5 мм. В композиции таких смесей на основе ПВХ дополнительно входят следующие материалы: портландцемент М400 и мелкодисперсные пластифицирующие добавки, например зола-уноса тепловых электростанций [8].

Для подбора составов было проведено несколько серий опытов, результаты которых сведены в табл. 4 (компоненты смесей приведены в объемных долях), а на рис. 7 показаны зависимости прочности от плотности образцов вермикулитобетона и бетона на основе ПВХ.

Испытания образцов проводились в лаборатории «Стройконтроль» завода ЖБИ Строительно-монтажного треста № 14 Восточно-Сибирской железной дороги.

Применение золы-уноса вместо песка в вермикулитобетонных композициях позволяет при тех же прочностных показателях получать значительно более легкие бетоны. Средняя плотность уменьшается на 100–150 кг/м³, снижаются нагрузки на строительные конструкции, а теплотехнические свойства материала (теплопроводность, теплоотдача) улучшаются. Кроме того, золы существенно дешевле.

Данные графиков показывают, что для получения легких бетонов со средней плотностью ниже 800 кг/м³ (а это как раз зона конструкционно-теплоизоляционных бетонов) целесообразно отказаться от чистого вермикулитового наполнителя и применять полистирол-вермикулитовые смеси, так как при той же плотности, они обладают более высокой прочностью при сжатии.

Для изделий из легких конструкционных бетонов плотностью 800–1200 кг/м³ наилучшим наполнителем остается вспученный вермикулит.

Список литературы

1. Попов Н.А. Производство и применение вермикулита. М.: Стройиздат, 1964. 128 с.
2. Подоляк Ф.С. Сравнительная эффективность печей для обжига вермикулита // *Строительные материалы*. 1973. № 7. С. 9–11.
3. Нижегородов А.И. Технологии и оборудование для переработки вермикулита: оптимальное фракционирование, электрический обжиг, дообогащение. Иркутск: ИрГТУ, 2011. 172 с.
4. Нижегородов А.И. Опыт эксплуатации технологического оборудования и комплексов для переработки вермикулитовых концентратов и конгломератов // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2014. № 9. С. 14–21.
5. Подоляк Ф.С. Вермикулит в строительстве: обзор. М.: Стройиздат, 1966. 87 с.
6. Нижегородов А.И. Вермикулит и вермикулитовые технологии: исследования, производство, применение. Иркутск: БизнесСтрой, 2008. 96 с.
7. Емельянов С.Г., Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Колчунов В.И., Яковенко И.А. Особенности расчета сейсмостойкости крупнопанельных зданий // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 12. С. 64–70.
8. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Битуев А.В., Урханова Л.А. Эффективность применения золы-уноса Гусиноозерской ГРЭС в составе цементов низкой водопотребности // *Строительные материалы*. 2011. № 7. С. 76–78.

References

1. Popov N.A. Proizvodstvo i primeneniye vermikulita [Production and use of vermiculite]. Moscow: Stroyizdat. 1964. 128 p.
2. Podoliak F. Comparative Efficiency of Kilns for Vermiculite. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1973. No. 7, pp. 9–11. (In Russian).
3. Nizhegorodov A.I. Tekhnologiya i oborudovaniye dlya pererabotki vermikulita: optimalnoye fraktsionirovaniye, elektricheskii obzhig, do'obogashcheniye [Technologies and equipment for the vermiculite to be processed: optimum fractioning, electrical burning, vermiculite dressing to the necessary concentration]. Irkutsk: IrGTU. 2011. 172 p.
4. Nizhegorodov A.I. The Field Experience of Process Equipment and Systems for the Processing of Vermiculite Concentrates and Conglomerates. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika*. 2014. No. 9, pp. 62–64. (In Russian).
5. Podoliak F.S. Vermiculite in Building: survey by F. Podoliak. Moscow: Stroyizdat. 1966. 87 p.
6. Nizhegorodov A.I. Vermikulit i vermikulitovye tekhnologii: issledovaniya, proizvodstvo, primeneniye [Vermiculite and Vermiculite Methods: Research, Production, Application] Irkutsk: Biznes Stroy Publishing. 2008. 96 p.
7. Emelyanov S.G., Nemchinov Y.I., Mar'enkov N.G., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. Features of Calculation of Seismic Stability of Large-Panel Buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 12, pp. 64–70. (In Russian).
8. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Bituev A.V., Urgkhanova L.A. Efficiency of Application of Fly Ash of Gusinozerskaya SDPP (State District Power Plant) in the Concrete Mix of Low Water Requirements. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 7, pp. 76–78. (In Russian).

При поддержке: APCC Ассоциация развития стального строительства Российский союз поставщиков металлопродукции

Организатор: МЕТТАМА ЭКСПО

Международная специализированная выставка

**Металло
Конструкции
2016**

22-25
марта 2016

Москва
ЦВК «Экспоцентр»

Генеральный информационный партнер:
ММ «Металлоснабжение и сбыт»

Оргкомитет выставки:
+7 (495) 734-99-66

www.mc-expo.ru

Б.А. БОНДАРЕВ, д-р техн. наук, А.Б. БОНДАРЕВ, канд. техн. наук,
П.В. БОРКОВ, канд. техн. наук (borkovpv@mail.ru), Р.Ю. САПРЫКИН, инженер, В.А. ЖАРИКОВ, инженер
Липецкий государственный технический университет (398600, Российская Федерация, Липецк, ул. Московская, 30)

Адгезионная прочность и выносливость защитных покрытий из полимерных композиционных материалов в элементах конструкций мостовых сооружений

Рассмотрена проблема обеспечения долговечности конструкций транспортных сооружений из бетона и железобетона в условиях интенсивного разрушения при эксплуатации. Представлены результаты натурных обследований мостовых сооружений. Приведены наиболее часто встречающиеся дефекты, причины их возникновения, влияющие на долговечность городских автодорожных мостов. Изучено влияние песчано-солевых смесей и других агрессивных реагентов, приводящих к снижению долговечности транспортных сооружений. В качестве решения предлагается использование защитных покрытий на основе полимерных композиционных материалов на поверхности бетонных и железобетонных конструкций. Представлены результаты исследований адгезионной прочности и циклической долговечности бетонных образцов с защитными покрытиями различной толщины на основе методов математического планирования эксперимента.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, выносливость, защитное покрытие, адгезионная прочность.

B.A. BONDAREV, Doctor of Sciences (Engineering), A.B. BONDAREV, Candidate of Sciences (Engineering),
P.V. BORKOV, Candidate of Sciences (Engineering) (borkovpv@mail.ru), R.Yu. SAPRYKIN, Engineer, V.A. ZHARIKOV, Engineer
Lipetsk State Technical University (30, Moscovskaya Street, 398600, Lipetsk, Russian Federation)

Adhesion Strength and Durability of Protective Coatings Made of Polymeric Composite Materials in Elements of Structures of Bridgeworks

The problem of ensuring the durability of structures of transport works made of concrete and reinforced concrete under conditions of their intensive destruction in the course of operation is considered. Results of the on-site inspections of bridgeworks are presented. The most common defects, reasons for their appearance influencing on the durability of urban automobile bridges are given. The impact of sand-salt mixes and other aggressive reagents, which reduce the durability of transport works, has been studied. As a solution, it is proposed to use protective coatings on the basis of polymeric composite materials on surfaces of concrete and reinforced concrete structures. Results of the study of adhesion strength and cyclic durability of concrete samples with protective coatings of various thicknesses on the basis of methods of mathematical planning of the experiment are presented.

Keywords: polymeric composite material, durability, protective coating, adhesion strength.

В настоящее время обеспечение долговечности бетонов при эксплуатации транспортных сооружений (тоннели, мосты, путепроводы и т. п.) является основной проблемой при проектировании и строительстве. При этом в бетонных и железобетонных конструкциях из-за снижения качественных показателей наблюдается интенсивное дефектообразование в виде трещин, отслоений, вывалов [1]. Долговечность железобетонных конструкций транспортных сооружений зависит от внешних воздействий различных нагрузок и воздействия окружающей агрессивной среды. Под воздействием указанных факторов реальный срок службы мостовых конструкций значительно сокращается по сравнению с проектным [2].

На сегодняшний день наиболее эффективными материалами для защиты транспортных сооружений являются полимеры, а также различные композиты на их основе [3, 4]. Широкое применение полимерных композиционных материалов в строительстве зачастую ограничивается из-за сложности прогнозирования их напряженно-деформированного состояния во времени при длительном и кратковременном нагружении [5–7].

Богатый опыт, результаты многочисленных обследований мостов и путепроводов различных схем, систем, конструкций и материалов убедительно показывают, что наиболее нагруженными, подверженными воздействию общих и местных многократно повторяющихся динамических временных нагрузок, окружающей среды (температура, вода, лед, инсоляция и др.) и солей, являются элементы проезжей части.

Проезжую часть составляют конструкции, служащие для размещения на мосту движущихся транспортных

средств, безопасного плавного их проезда, передвижения пешеходов и защищающие все сооружения от воздействия внешней среды, а именно: плиту проезжей части, систему гидроизоляции – водоотвод, деформационные швы, въездные приспособления, дорожную одежду, тротуары и перила, барьеры безопасности, конструкции освещения и контактной сети автотранспорта, приспособления для укладки и сохранности инженерных коммуникаций, конструкции распределения полос движения, дорожные знаки [8, 9].

Дефекты элементов конструкций проезжей части мостового сооружения вызваны тем, что уровень напряжений в тонкостенных элементах проезжей части от постоянных нагрузок весьма мал. В результате этого при прохождении по мосту временных нагрузок и при неровном покрытии и ударах колес автомобилей в элементах покрытия и плитах проезжей части возникают пульсирующие однозначные, знакопеременные и ударные режимы нагружения, при которых быстро происходит накопление усталостных повреждений, возникают трещины.

В табл. 1 приведены наиболее часто встречающиеся дефекты, причины их возникновения, влияющие на долговечность городских автодорожных мостов.

Система гидроизоляция–водоотвод является наиболее уязвимым элементом конструкции проезжей части мостового сооружения [8].

На рис. 1 и 2 приведены наиболее характерные дефекты и повреждения гидроизоляции мостовых сооружений.

Применение для борьбы с гололедом песчано-солевых смесей и других агрессивных реагентов приво-

Таблица 1

Дефекты элементов конструкции моста, причины их возникновения	Последствия развития дефектов и их влияние на долговечность моста	Меры по ликвидации дефектов
Неровности дорожного полотна, наплывы, образование колеи высотой до 5–10 см вследствие низкого качества, недостаточного уплотнения асфальтобетона	Повышение динамического воздействия на несущие конструкции, сокращение сроков службы	Ремонт, полная замена покрытия
Выбоины, ямы на покрытии из-за некачественного выполнения, малой толщины. Песок, грязь, снег и лед, вода на ездовом полотне и тротуарах	Снижение скорости движения, повышение динамических нагрузок, сокращение долговечности искусственных сооружений	Поверхностная обработка, ямочный ремонт полотна
Трещины и разрывы в асфальтобетонном покрытии над деформационными швами, ребрами жесткости, диафрагмами, стыками из-за температурных воздействий, неисправностей закрытых деформационных швов, различной жесткости элементов плиты и балок	Увеличение динамических воздействий, снижение безопасности движения и сроков службы моста	Ремонт, замена элементов деформационных швов, повышение жесткости элементов плиты
Застой – скопление воды на покрытии и под ним, замокание, вспучивание асфальтобетона вследствие несоблюдения проектных уклонов, неисправностей водоотводных трубок (забиты асфальтом, землей), неровностей защитного слоя	Разрушение покрытия, гидроизоляции, защитного слоя, снижение безопасности, долговечности пролетного строения	Ремонт покрытия и гидроизоляции, защитного слоя, восстановление уклонов, работы водоотводных трубок
Разрушение покрытия в зоне закрытых деформационных швов, отсутствие температурного зазора между торцами блоков пролетного строения, разрушение (подвижность) закладных элементов деформационных швов, ослабление прижимных элементов и фиксирующих приспособлений, разрушение лотков компенсаторов под проезжей частью и тротуарами, засорение грязью. Фильтрация воды через деформационный шов	Разрушение элементов главных балок. Снижение несущей способности, безопасности движения, долговечности пролетного моста	Спецобследование, ремонт деформационных швов с укреплением ослабленных элементов
То же самое в деформационных швах открытого типа. Кроме того, отрыв (срезание) элементов окаймления деформационных швов, креплений перекрывающих листов ввиду воздействий ударов колес проходящего транспорта	То же	Обследование технического состояния спецбригадой, разработка проекта ремонта и усиления деформационных швов
Дефекты гидроизоляции и системы водоотвода: низкое качество выполнения, отсутствие или несоблюдение продольных и поперечных уклонов проезжей части, отсутствие гидроизоляции на тротуарах, слезников на консольных свесах пролетного строения и тротуарных блоках, недостаточная длина водоотводных трубок, застой и фильтрация воды через стыки	Коррозия бетона и металла пролетного строения и опор. Снижение долговечности сооружения	Ремонт элементов гидроизоляции и водоотвода. Обеспечение регулярного водоотвода



Рис. 1. Замокание, разрушение бетона в нижней части насадки опоры с обнажением и интенсивной коррозией арматуры из-за повреждения гидроизоляции (мост через р. Липовку по ул. Фрунзе в Липецке)

дит к снижению долговечности плит проезжей части и всего сооружения в целом. Хлориды, беспрепятственно проникающие в толщу бетона, делятся на три вида:

- свободные ионы хлорида;
- хлориды, тесно связанные с гидроксидом силиката кальция;
- хлориды в виде компаундов.



Рис. 2. Разрушение защитного слоя бетона с оголением и коррозией арматуры в плите проезжей части из-за повреждения гидроизоляции (мост через р. Липовку по ул. Фрунзе в Липецке)

Считается, что хлориды-компаунды не вызывают коррозии арматурной стали. Связанные хлориды могут оказывать и не оказывать агрессивного воздействия на арматуру. Однако свободные ионы хлорида могут вызвать процесс коррозии; при этом хлориды сами по себе не являются причиной коррозии, они лишь создают коррозионную атмосферу. До применения NaCl для

борьбы с гололедом проблем с коррозией не существует, арматурная сталь не корродирует в железобетоне, изготовленном на портландцементе, в связи с высоким рН (12–13). В результате высокого рН на поверхности арматуры образуется пленка, которая играет роль защитного покрытия. Когда растворимые хлориды попадают в бетон, защитная среда с высоким содержанием рН начинает нейтрализоваться. После нарушения нормальной пассивности стали и необходимой щелочности начинается процесс коррозии стали с увеличением объема железобетона. Это увеличение вызывает появление напряжений, которые превышают прочность бетона на растяжение, в результате чего в бетоне образуются трещины.

Для борьбы с этим явлением существует несколько способов:

- защита поверхности арматуры эпоксидной смолой;
- гальванизирование стали;
- применение латексного бетона;
- пропитка бетона полимерами.

В настоящее время исследуются такие способы, как катодная защита, нейтрализация хлоридов и пропитка полимерами. Степень требования к антикоррозионной защите в предварительно напряженных плитах проезжей части сталежелезобетонных мостов должна быть выше, чем в конструкциях из обычного железобетона в связи с тем, что в предварительно напряженных конструкциях применяется гладкая арматура в виде проволок, в результате чего относительно малая потеря сечения оказывает большее влияние на несущую способность плит проезжей части. Кроме того, наличие в стали постоянно высоких растягивающих напряжений делает ее более восприимчивой к коррозии. Прочный непроницаемый бетон обычно является хорошей антикоррозионной защитой предварительно напряженной арматуры. Увеличение защитного слоя вплоть до определенных границ приводит к повышению защиты. Сравнительно тонкий слой плотного и высокопрочного бетона может обеспечивать соответствующую защиту против карбонизации. Вполне очевидно, что с помощью соответствующих мер необходимо бороться с образованием трещин, нарушающих эту защиту.

В настоящее время за рубежом (США, Великобритания и др.) находят все большее применение способ, который заключается в двухэтапной укладке бетона, когда вначале укладывается слой из обычного бетона, а затем устраивается слой плотного бетона. В нашей стране и странах СНГ получил широкое применение способ использования модифицированных фурановых смол для гидроизоляционных и антикоррозионных мероприятий плит проезжей части мостов и путепроводов [4].

В работах И.М. Елшина, Р.М. Окоповой получены новые материалы, которые отличаются от других видов композиционных материалов высокой технологичностью, повышенной трещиностойкостью, способностью к отверждению как в сухой, так и во влажной среде. Рекомендуемыми материалами для ремонта элементов конструкций плит проезжей части являются:

- смола ФАЭИС-30 (ТУ 6-05-211-1313–84), получаемая путем смешивания фурфурол ацетонового моно-

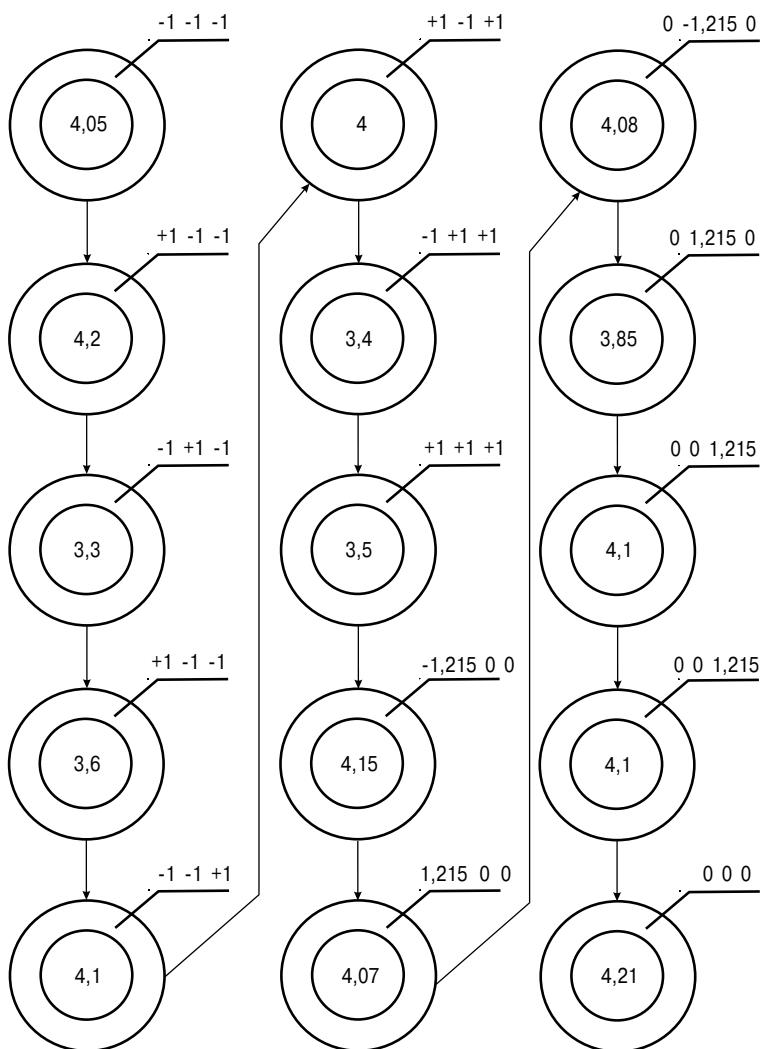


Рис. 3. Матрица планирования эксперимента

Таблица 2

Факторы	Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень	Интервал варьирования
Содержание СКН-18-1А (X ₁)	20	25	30	5
Содержание ПЭПА (X ₂)	25	50	75	25
Содержание тонкомолотого наполнителя	40	65	80	20

мера ФАМ (ТУ 59-02-039-07–79) с алкилрезорциновой смолой ЭИС-1 (ТУ 38-109-1–71) или АРЭМ-2-20. Соотношение смол 70:30 в массовых частях;

- смола ФАЭД-30, получаемая смешиванием при подогреве на водяной бане мономера ФАМ с диановой эпоксидной смолой ЭД-20 (ГОСТ 10587–84);
- пластификатор, жидкий нитрильный каучук СКН-18-1А или СКН-26-1А (ТУ 38-103-16–70);
- отвердитель, полиэтиленполиамин (ТУ 6-02-594–80) или кубовые остатки гексаметилендиамина (ТУ 733-03-20-71–83),
- стеклоткань Т-10, Т-11, Т-13.

Смола ФАЭИС-30 – низковязкая темно-коричневая жидкость, характеризующаяся следующими показателями:

- плотность – 1,14 г/см³;
- вязкость (по ВЗ-4) – 26 с;
- содержание сухого остатка – 82%;

Результаты статистической обработки опытных данных

№ серии	Толщина защитного полимербетонного слоя, мм	\bar{y}	\bar{x}	σ_x	σ_y	$m_{1/1}$	r	Y
1	Без покрытия	19,793	5,633	3,585	0,347	-7,166	-0,96	$y = 75,958 - 9,918x$
2	2	19,793	5,739	3,585	0,373	-7,671	-0,956	$y = 72,253 - 9,188x$
3	4	19,793	5,853	3,585	0,377	-7,444	-0,917	$y = 70,831 - 8,72x$
4	6	19,793	6,122	3,585	0,44	-8,902	-0,941	$y = 66,73 - 7,667x$

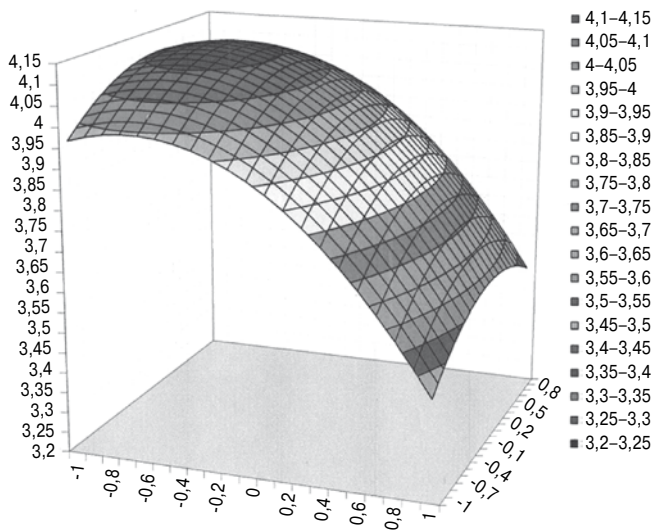


Рис. 4. Поверхность отклика экспериментов на адгезионную прочность

— скорость желатинизации при 120°C с 20% ПЭПА — 266 с. [4].

Система гидроизоляция—водоотвод является наиболее уязвимым элементом конструкции проезжей части мостового сооружения.

Основными показателями долговечности защитных покрытий на основе модифицированных фурановых

смола является адгезионная прочность и циклическая долговечность (сопротивление усталости) элементов конструкций с защитным покрытием [10]. Подбор эффективного способа нанесения фурановых композиций производился по величине предела прочности на разрыв образцов, склеенных между собой. Испытания проводились на адгезиметре DINA Z6, матрица планирования эксперимента приведена в табл. 2. Для установления оптимального соотношения компонентов лакокрасочной композиции (ФАЭС-30, ПЭПА, СМК-18-1А, наполнитель) реализован эксперимент. В качестве отклика была принята адгезионная прочность к бетону в возрасте 100 сут:

$$R_{\text{адг}} = 4,04 + 0,03X_1 - 0,26X_2 + 0,01X_3 - 0,1X_1^2 - 0,2X_2^2 - 0,17X_3^2 + 0,04X_1X_2 - 0,06X_1X_3 + 0,02X_2.$$

Для испытания на выносливость были изготовлены призмы размером 4×4×16 см из бетонной смеси с осадкой конуса 4–6 см и В/Ц=0,55. В качестве заполнителя использовался гранитный щебень Павловского карьера, наполнитель — песок Сенцовского карьера и портландцемент М400. После тепловлажностной обработки в производственных условиях образцы хранились в лаборатории в нормальных условиях до момента их испытания. Всего было испытано четыре серии по шесть образцов. При этом первую партию составляли бетонные образцы без покрытия, на другие было нанесено защитное покрытие толщиной 2; 4; 6 мм по боковым граням. Испытания образцов на выносли-

проектный институт

ООО "ЛипецкНИИСтройпроект"

Основные направления проектной деятельности:

- Проектирование зданий промышленного и гражданского назначения
- Техническое обследование зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения
- Техническое обследование испытание транспортных сооружений (мостов, путепроводов, эстакад и т.д.)
- Диагностика и паспортизация автомобильных дорог
- Проектирование автомобильных дорог и транспортных сооружений
- Разработка проектов по эксплуатации автомобильных дорог и транспортных сооружений
- Услуги по авторскому надзору и строительному контролю за объектами транспортного назначения
- Выполнение функций генерального проектировщика
- Консультирование и экспертиза
- Разработка методов строительства, ремонта и реконструкции транспортных сооружений с использованием композиционных материалов

398002, Российская Федерация, г. Липецк, ул. Балмочных С.Ф., д.15, оф. 602
Тел: 8(4742) 72-42-01, 8 (920) 240 4440; 8 (920) 509 0002.
E-mail: Insp-48@mail.ru; сайт: Insp.ru

Основные направления исследовательской деятельности:

- Разработка рекомендаций по повышению уровня эксплуатационной надежности транспортных сооружений
- Разработка и применение современных технологий при ремонте автомобильных дорог
- Исследование и применение композиционных материалов при ремонте элементов конструкций транспортных сооружений
- Лабораторные исследования долговечности дорожно-строительных материалов
- Исследования циклической долговечности полимерных композиционных материалов в элементах конструкций транспортных сооружений
- Разработка составов древесностекловолоконного композиционного материала для конструкций верхнего строения пути железнодорожных и трамвайных шпал и брусьев стрелочных переводов
- Исследования долговечности конструкций, армированных стеклопластиковой арматурой

вость проводились на испытательной машине ИР-5113-100. Частота приложения нагрузки составляла 670 циклов в минуту, коэффициент асимметрии цикла был принят равным 0,2.

Целью испытаний являлось установление связи между уровнем максимальных напряжений цикла и числом циклов до разрушения, определение коэффициента корреляции и уравнения регрессии. Исходя из того, что уровень напряжений цикла задается соотношением $\sigma_{\max}/\sigma_{\text{разр}}$, где $\sigma_{\text{разр}}$ – величина случайная, число циклов до разрушения также является случайным. Для установления связей между указанными величинами применялся корреляционный анализ, который проводился по следующей схеме при определении:

– среднего значения $X(\ln N)$:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (1)$$

– среднего значения $Y(\sigma_{\max}/\sigma_{\text{разр}})$:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i; \quad (2)$$

– дисперсии:

$$D_x = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2; \quad D_y = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2; \quad (3)$$

– среднего квадратичного отклонения:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}; \quad \sigma_y = \sqrt{D_y}; \quad (4)$$

– смешанного центрального момента:

$$m_{1/1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}); \quad (5)$$

– коэффициента корреляции:

$$r = \frac{m_{1/1}}{\sigma_x \sigma_y}. \quad (6)$$

Объем испытаний, т. е. количество опытных образцов в каждой серии, определялся по формуле при доверительной вероятности $P=0,95$ и максимальной относительной ошибке $m=5\%$. При этом гарантийный коэффициент t принимался равным 2,5:

$$k = \frac{\sigma}{x}, \quad (7)$$

Список литературы

1. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Каменев В.В. Проблемы долговечности цементных бетонов // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 38–41.
2. Овчинников И.И. Долговечность железобетонных конструкций транспортных сооружений // *Строительные материалы*. 2011. № 2. С. 60–62.
3. Артамонова Т.А., Савченкова Г.А., Шашункина О.В. Герметизирующие материалы серии Абрис® для защиты транспортных сооружений // *Строительные материалы*. 2012. № 3. С. 70–74.
4. Бондарев А.Б., Борков П.В., Бондарев Б.А., Жариков В.А. Ремонт и восстановление элементов конструкций транспортных сооружений с использованием полимерных композиционных материалов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2015. № 39 (58). С. 17–25.
5. Борков П.В., Корнеев А.Д., Бондарев Б.А., Мелешкин М.Ф. Долговечность композиционных

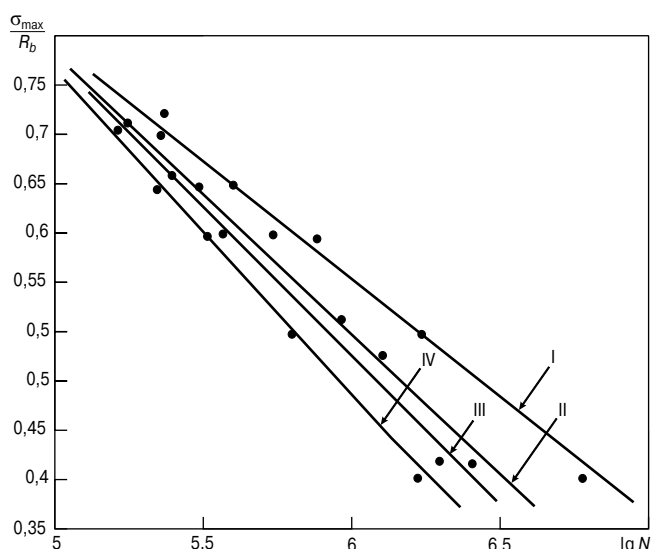


Рис. 5. Линии выносливости четырех серий с различной толщиной защитного слоя: I – толщина защитного покрытия на образце 6 мм ($k_{(b,pul)}=0,527R_b$); II – толщина защитного покрытия на образце 4 мм ($k_{(b,pul)}=0,455R_b$); III – толщина защитного покрытия на образце 2 мм ($k_{(b,pul)}=0,415R_b$); IV – образец без покрытия ($k_{(b,pul)}=0,385R_b$)

где k – коэффициент вариации (изменчивости).

Получение значения коэффициента корреляции подтверждает наличие тесной линейной связи между относительным пределом выносливости и числом циклов приложения нагрузки до разрушения и эмпирическим выведением уравнения регрессии (табл. 3) [11].

На рис. 5 представлены эмпирические линии выносливости, полученные по испытаниям четырех серий образцов, которые соответствуют уравнениям регрессии, приведенным в табл. 3.

Выводы:

- увеличение толщины покрытия приводит к возрастанию предела выносливости бетона;
- установлена закономерность повышения предела выносливости бетона за счет полимерного покрытия. Разрушение бетона происходит в результате развития дефектов структуры бетона до критических размеров;
- адгезионная прочность покрытия достаточна для применения его в качестве гидроизоляционного слоя проезжей части мостовых сооружений.

References

1. Rapoport P.B., Rapoport N.V., Kochetkov A.V., Vasil'ev Yu.E., Kamenev V.V. Durability of composite materials based on monomer furfuralaceous. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 5, pp. 38–41. (In Russian).
2. Ovchinnikov I.I. Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruksii transportnykh sooruzhenii. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 2, pp. 60–62. (In Russian).
3. Artamonova T.A., Savchenkova G.A., Shashun'kina O.V. Sealing materials series Abris® to protect transportation facilities. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 3, pp. 70–74. (In Russian).
4. Bondarev A.B., Borkov P.V., Bondarev B.A., Zhari- kov V.A. Repair and restoration of structural elements of transport facilities using polymer composite materials. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno- stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. № 39 (58), pp. 17–25. (In Russian).

- материалов на основе фурфуrolацетонoвoгo мoнoмeрa // *Стрoитeльнe мaтeриaлy. 2013. № 5. С. 64–65.*
6. Бoндaрeв Б.А., Бoркoв П.В., Кoмaрoв П.В., Бoндaрeв А.Б. Экспeримeнтaльнe иcслeдoвaния цикличeскoй дoлгoвeчнoсти пoлимeрнyх кoмпoзициoннyх мaтeриaлoв // *Сoврeмeннe прoблeмы нaуки и oбрaзoвaния. 2012. № 6; URL: www.science-education.ru/106-7974 (дaтa oбрaщeния: 08.07.2015).*
 7. Бoчaрникoв А.С., Гoнчaрoвa М.А., Глaзунoв А.В. Гeрмeтики нa эпоксиднoй oснoвe с фeррoмaгнитнyм нaпoлнитeлeм // *Стрoитeльнe мaтeриaлy. 2010. № 1. С. 66–67.*
 8. Лившиц Я.Д., Винoгрaдский Д.Ю., Рудeнкo Ю.Д. *Автoдoрoжнe мoсты (Прoеждяя чaсть).* Кieв: Бyдiвeльник, 1980. 160 с.
 9. Кaрaбyтoв Н.Н., Бoндaрeв Б.А., Шмьирин А.М. Синтeз мaтeмaтичeских мoдeлeй для иcслeдoвaния свoйств пoлимeрбeтoнa в систeмe aвтoмaтизирoвaннoй диaгнoстики дoрoжнyх пoкрытий // *Прибoры и систeмы. Упрaвлeниe, кoнтрoль, диaгнoстикa. 2006. № 4. С. 27–30.*
 10. Бoндaрeв Б.А., Бoндaрeв А.Б., Сaпрькин Р.Ю., Кoрвьякoв Ф.Н. Мeтoд стpуктyрнyх диaгрaмм и вибрoпoлзчeсть пoлимeрнyх кoмпoзициoннyх мaтeриaлoв // *Стрoитeльнe мaтeриaлy. 2014. № 7. С. 74–77.*
 11. Кoжин В.В. Рaбoтa кoмплeкснyх цeнтрaльнo-сжaтyх призм при дeйствии мнoгoкpaтнo прилoжeннyх нaгрyзoк // *Мeжвyзoвский сбoрник нaучнyх тpyдoв МИИТa. М.: МИИТ, 1985. Вып. 76. С. 102–105.*
 5. Borkov P.V., Korneev A.D., Bondarev B.A., Meleshkin M.F. The durability of composite materials based on the monomer furfurolatsetonovogo. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 64–65. (In Russian).*
 6. Bondarev B.A., Borkov P.V., Komarov P.V., Bondarev A.B. Experimental studies of the cyclic durability of polymer composite materials. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. № 6. ; URL: www.science-education.ru/106-7974 (date of access: 08.07.2015).*
 7. Bocharnikov A.C., Goncharova M.A., Glazunov A.V. Epoxy based sealants with a ferromagnetic filler. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. 2010. No. 1, pp. 66–67. (In Russian).*
 8. Livshits Ya.D., Vinogradskii D.Yu., Rudenko Yu.D. *Avtodorozhnye mosty: (Proezhaya chast')* [Highway bridge (roadway)]. Kiev: Budivel'nik. 1980. 160 s.
 9. Karabutov N.N., Bondarev B.A., Shmyrin A.M. The synthesis of mathematical models to study the properties polimerobetona in the automated diagnostics pavements. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 2006. № 4, pp. 27–30. (In Russian).*
 10. Bondarev B.A., Bondarev A.B., Saprykin R.Yu., Korvyakov F.N. The method of structural diagrams and vibrocreep polymer composite materials. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 74–77. (In Russian).*
 11. Kozhin V.V. The work of complex centrally compressed by the action of the prisms repeatedly applied loads. *Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov MIIT(a). 1985. V. 76, pp. 102–105. (In Russian).*

НОВОСТИ

Китайский асфальтобетонный завод заработал в Удмуртии

10 июля 2015 г. состоялось открытие завода компании «D&G Machinery» в г. Сарапул. Владельцы компании, китайские предприниматели, уже поставляют асфальт в 12 стран мира. На этот проект ими совместно с Удмурской Республикой было потрачено около 84 млн р. Подобное оборудование компания поставляет в Казахстан, Индию, Австралию, Саудовскую Аравию, ОАЭ, Эфиопию, Кению, Алжир, Конго и Ливию. На территории России эксплуатируются 25 АБЗ.

Новый завод построен для нужд ОАО «Дорожное предприятие «Ижевское». Его мощность доходит до 180 т/ч. На новом заводе в Сарапуле будут производить асфальт по циклической схеме с использованием инертных материалов, битума, минерального порошка и добавок. Процесс контролируется компьютеризированной системой управления на русском языке, имеется система удаленного мониторинга и диагностики завода посредством сети Интернет.

Среди преимуществ заводов компании «D&G»: приемлемые цены на фоне европейских аналогов при высоком качестве оборудования и технологий, способность выполнять заказы быстро, наличие системы защиты от мусора. Принимавший участие в церемонии открытия глава Удмурдского региона А.В. Соловьев рассказал, что теперь республика планирует приобрести такой же завод для г. Глазов. Политик также добавил, что в ходе переговоров с китайской стороной были заключены предварительные договоренности о возможной реализации совместного проекта по производству на территории Удмуртии комплектующих на китайские асфальтобетонные заводы.



По материалам портала «ДорИнфо»

В.Н. МОРГУН¹, канд. техн. наук (morgun_vlad@bk.ru),
Л.В. МОРГУН², д-р техн. наук (konst-lvm@yandex.ru), А.В. ВИСНАП², бакалавр

¹ Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета (344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42)

² Ростовский государственный строительный университет (344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162)

Применение арматуры в изделиях из фибропенобетонов

Из анализа проблем строительного комплекса следует, что многослойные стеновые конструкции обладают рядом эксплуатационных недостатков, которые налагают ограничения на их эксплуатационную надежность. Поэтому ограждающие стеновые конструкции целесообразно изготавливать однослойными. Использование для этих целей фибропенобетона позволяет не только расширить номенклатуру крупногабаритных энергосберегающих строительных изделий, но и прогнозировать успешное применение для их изготовления стеклопластиковой арматуры.

Ключевые слова: фибропенобетон, арматура стеклопластиковая, арматура металлическая, однослойные ограждающие конструкции.

V.N. MORGUN¹, Candidate of Sciences (Engineering) (morgun_vlad@bk.ru);

L.V. MORGUN², Doctor of Sciences (Engineering) (konst-lvm@yandex.ru), A.V. VISNAP², Bachelor

¹ Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University (105/42, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation)

² Rostov State University of Civil Engineering (162, Socialisticheskaya Street, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation)

The Use of Reinforcement in Products Made of Fiber-Foam-Concretes

The analysis of the building complex problems demonstrates that multilayer wall structures possess some operational shortcomings which limit their operation reliability. Therefore, enclosing wall structures is reasonable to produce single-layer. The use of fiber-foam-concrete for these purposes makes it possible not only to expand the nomenclature of large-size energy-saving building products, but also forecast the successful application of glass-plastic reinforcement for their manufacturing.

Keywords: fiber-foam concrete, glass-plastic reinforcement, metal reinforcement, one-layer enclosing structures.

Для обеспечения строительного комплекса конкурентоспособными строительными материалами отраслевая наука должна динамично соответствовать его потребностям и быть восприимчивой к достижениям технического прогресса. Важнейшими инновационными направлениями развития производства строительных материалов являются повышение качества, энергоэффективности и экологичности продукции, а также снижение энергоёмкости ее изготовления [1]. Снижение средней плотности стеновых строительных материалов позволяет увеличивать объемы строительства, способствует снижению материалоемкости возводимых сооружений, улучшает их теплотехнические свойства и энергосбережение.

Особенно важно снижение материалоемкости строительных конструкций при сохранении или улучшении эксплуатационных свойств материалов, из которых они изготовлены, потому что в настоящее время сформировалась устойчивая тенденция к повышению этажности зданий, увеличению габаритов сооружений и массы технологического оборудования. Это предопределяет рост нагрузок на основания, которые далеко не всегда обладают достаточно высокой несущей способностью и их свойства могут налагать ряд конструктивных ограничений на возводимые сооружения.

Повышение энергоэффективности и снижение материалоемкости сооружений в современном строительном комплексе РФ достигается преимущественно за счет применения трехслойных ограждающих конструкций. Опыт их эксплуатации показывает, что многослойные стены возводятся с многочисленными дефектами. В них часто отсутствуют анкера и гибкие связи для крепления облицовок, а опорные уголки не всегда устанавливаются. Опирающиеся кирпичной облицовки на перекрытия или металлические уголки не соответствуют проекту и т. д. Достаточно часто при проектировании и возведении зданий с трехслойными стенами не учитываются параметры их паро- и воздухопроницаемости. Пересечение сеток или стеклопластиковых связей с пароизоляцией приводит к ухудшению санитарно-гигиенических свойств жилья (плесень внутри помеще-

ний) и к существенному ухудшению сопротивления стен теплопередаче [2, 3].

Основными причинами повреждений и разрушений кирпичной облицовки многоэтажных зданий со стенами из трехслойных конструкций, по мнению специалистов ЦНИИСК им. Кучеренко, являются низкое качество и нарушение технологии производства строительных работ [4]. Многие специалисты полагают, что важнейшим направлением, повышающим качество и энергоэффективность зданий, является фактор «сборности» и применение однослойных ограждающих конструкций [2, 3], которые предопределяют снижение количества операций и трудозатрат на стройплощадке и значительно повышают качество строительно-монтажных работ.

Именно поэтому у строителей существует распространенное и достаточно обоснованное мнение, что автоклавный газосиликат в настоящее время один из лучших стеновых материалов. И если во второй половине XX в. [4] из него изготавливали не только блоки, но и армированные стеновые панели, то сейчас — преимущественно мелкоштучные изделия. Необходимость соблюдения высоких требований к сопротивлению теплопередаче предопределила широкое распространение в практике строительства трехслойных ограждающих конструкций и применение для устройства стен только мелкоштучных изделий из автоклавного газосиликата.

И если ранее согласно требованиям в конструкции панели было достаточно толщины газосиликата в 150–200 мм при плотности 500–600 кг/м³, то в настоящее время ее следовало бы как минимум удвоить. А свойства материала по прочности при растяжении не позволяют соблюсти это требование. Прочность при растяжении и изгибе у автоклавных газосиликатов составляет 8–10% от прочности при сжатии, т. е. ее недостаточно, для того чтобы крупногабаритное изделие значительной толщины можно было бы распалубить и транспортировать на объект без накопления в нем дефектов в виде трещин. Именно поэтому, несмотря на прекрасные теплотехнические свойства и достаточную прочность при



Рис. 1. Испытание фибропенобетонной перемычки, содержащей металлический каркас

сжатии, панели из автоклавного газосиликата строительной индустрией в настоящее время практически не производятся. Хотя многоэтажные здания из них по-прежнему прекрасно эксплуатируются во многих городах [2, 3], но по величине сопротивления теплопередаче они уже не соответствуют требованиям СНиПа.

Развитие технологии пенобетонов неавтоклавного твердения позволило в начале XXI в. создать промышленную технологию пенобетона, дисперсно-армированного синтетическими волокнами, — фибропенобетона [5, 6]. Дисперсное армирование пенобетонов синтетическими волокнами позволяет в разы повышать прочность при растяжении и энергоемкость разрушения строительных конструкций, существенно улучшать санитарно-гигиенические свойства помещений. В таблице представлены физико-механические свойства фибропенобетонов.

Из таблицы следует, что фибропенобетон плотностью 600 кг/м^3 обладает такой же паропроницаемостью, что и древесина сосны, а при плотности 800 кг/м^3 соответствует кладке из облегченного кирпича. Пенобетон, дисперсно-армированный синтетическими волокнами, по характеру и энергоемкости разрушения под действием нагрузок принципиально отличается от известных разновидностей ячеистых бетонов.

На рис. 1 представлен фрагмент испытаний перемычки из фибропенобетона плотностью 700 кг/м^3 , изготовленной на предприятии стройиндустрии в г. Ростове-на-Дону. Фибропенобетон армирован металлическим каркасом, идентичным тому, который используется для армирования перемычек, изготавливаемых из тяжелого бетона классов В15–В20. На снимке видно, что под действием нормативной нагрузки в растянутой зоне армированного металлическим каркасом газонаполненного бетона появились трещины, однако до разрушения ему еще далеко. Из этого следует, что пенобетон, дисперсно-армированный волокнами и обладающий прочностью при сжатии существенно меньшей, чем бетон литой структуры класса В20 (см. таблицу), утрачивает способность к хрупкому разрушению и обеспечива-

ет повышение несущей способности железобетонной строительной конструкции за счет весьма существенного повышения прочности на растяжение при изгибе. Под действием изгибающих нагрузок фибропенобетон претерпевает следующие стадии деформирования:

1. Совместная упругая деформация фибры и бетона, которая проявляется в стадии упругого деформирования бетона (в бетонах, не содержащих дисперсной арматуры, предел упругой деформативности соответствует моменту разрушения или разделения материала на части).

2. При появлении в растянутой зоне бетона первой трещины в работу сопротивления механической нагрузке включаются те объемы материала, которые связаны с фиброй силами поверхностного сцепления. Поэтому материал не разделяется на части. В случае снятия нагрузки берега полученных трещин смыкаются. Если нагрузка продолжает расти, то развитие берегов трещин идет в замедленном темпе, вплоть до достижения предела упругой деформативности фибры.

3. Достижение предела упругой деформативности фибры переводит фибропенобетон в состояние пластического течения дисперсной арматуры.

4. Разрыв или выдергивание волокон из бетона характеризует полное разрушение материала, которое не всегда выражается разделением изделия на части.

Последнее особенно важно для строительных объектов, попадающих в условия чрезвычайной ситуации, обусловленной землетрясением или взрывом, потому что лавинообразно разрушающиеся строительные конструкции приводят к большому числу жертв. В то время как постепенное разрушение конструкций из фибропенобетона позволит либо избежать их вообще, либо резко снизить тяжесть их последствий.

Учитывая преимущества фибропенобетона по показателям прочности при растяжении по сравнению с пенобетоном и даже тяжелыми бетонами литой структуры, была разработана и создана армированная металлическим каркасом плита перекрытия с габаритными размерами $4800 \times 900 \times 300 \text{ мм}$ [7]. При плотности фибропенобетона 730 кг/м^3 испытываемое изделие показало, что его деформативность по величине прогибов под длительной действующей нагрузкой меньше, а несущая способность в момент достижения предельного прогиба выше в 2,4 раза относительно соответствующих деформаций при использовании тяжелого бетона класса В17,5.

В строительных изделиях, содержащих арматурные каркасы, сцепление возникает в результате трения бетона о сталь. Со временем оно возрастает в результате усадки цементного камня и обжата им арматурных стержней. Наибольшее влияние на сцепление металлической арматуры с бетоном оказывает сопротивление бетона усилиям смятия и среза, возникающее между выступами на поверхности арматуры, т. е., механическое зацепление арматуры за бетон обеспечивает около 75% от общей величины сцепления. Сцепление стержневой арматуры периодического профиля с бетоном в 2–3 раза выше по сравнению со сцеплением гладкой арматуры.

Плотность, кг/м^3	Прочность, МПа		Относительная паропроницаемость, $\text{мг/м}^2 \cdot \text{ч}$	Морозостойкость, циклы	Теплопроводность, $\text{Вт/(м} \cdot \text{°C)}$		
	при сжатии	растяжение при изгибе			сухого	А	Б
600	1,5–3,5	0,7–2,5	0,15	Более 80	0,113	0,17	0,21
700	2,5–4	1,0–2,8	0,13	Более 80	0,142	0,21	0,24
800	3,5–5	1,5–3	0,1	Более 100	0,171	0,24	0,27
900	5–7,5	1,5–3	0,07	Более 100	0,21	0,27	0,31

Повышение максимальных напряжений в бетоне при вырыве арматуры периодического профиля специалисты объясняют повышением качества контактной зоны между бетоном и арматурой. При этом подчеркивается, что такое явление имеет место только в том случае, когда затвердевший материал обладает минимальной пористостью [8].

Любые разновидности ячеистых бетонов обладают пористостью, многократно превышающей объем пор в бетонах слитной структуры. Поэтому на прочность их сцепления с арматурой периодического профиля, безусловно, влияют все вышеперечисленные факторы, но дополнительно, по нашему мнению, должны влиять явления массопереноса в период начального формирования структуры, т. е. до начала схватывания цемента. Именно поэтому был выполнен ряд экспериментальных исследований по оценке влияния вида и средней плотности пенобетонов на прочность их сцепления с металлической и стеклопластиковой арматурой периодического профиля.

Они показали, что эффективность, проявляемая конструкционным ФПБ при изготовлении плит перекрытия, при армировании их металлическими каркасами может быть повышена (рис. 2). Основанием для такого утверждения являются результаты эксперимента по оценке прочности сцепления металлической (МА) и соответствующего диаметра стеклопластиковой арматуры (СПА) с фибропенобетонами конструкционного назначения.

Испытаниям на сцепление с арматурными стержнями подвергались образцы, изготовленные из равноплотных материалов, армированных стержнями обоих видов арматуры диаметром 12 мм. Результаты механических испытаний на продавливание показали, что прочность сцепления фибропенобетона с арматурой периодического профиля имеет важную для практики особенность. Стеклопластиковая арматура обладает существенно лучшим сцеплением по сравнению с металлической (рис. 2).

Список литературы

1. Федеральный закон № 261–ФЗ от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности»
2. Копсов Э.В., Тарасевич Б.П., Сулейманов А.М. Строительство и проекты домов: строить трехслойные стены и жить в них нельзя! Материалы круглого стола в Республике Татарстан. 25.05.2012 г. <http://rekonstroy-oskol.ru/a73522-stroit-trehslonnye-steny.html> (дата обращения 04.02.2015).
3. Пинскер В.А., Вылегжанин В.П. Газобетон в жилищном строительстве с максимальным его использованием. *Ячеистые бетоны в современном строительстве-2007: материалы международной научно-практической конференции*. СПб. 2007. С. 8–21.
4. Лившиц Д.В., Пономарев О.И., Фролов А.А., Ломова Л.М. Особенности монолитных зданий с фасадами из облегченной кладки // *СтройПРОФИль*. 2009. № 6. С. 53–58.
5. Моргун В.Н., Моргун Л.В., Богатина А.Ю., Смирнова П.В. Достижения и проблемы современного крупнопанельного домостроения // *Жилищное строительство*. 2013. № 3. С. 41–45.
6. Yoo-Jae K. and J. Hu. Mechanical properties of fiber reinforced lightweight concrete containing surfactant. *Advances in Civil Engineering*. 2010. No. 1, pp. 1–8.
7. Патент РФ 106636. Плита перекрытия / Набоков С.М., Набокова Я.С., Чумакин Е.Р. Заяв. 11.03.2011. Опубл. 20.07.2011. Бюл. № 20.
8. Шахова Л.Д. Технология пенобетона (теория и практика). М.: АСВ, 2010. 246 с.

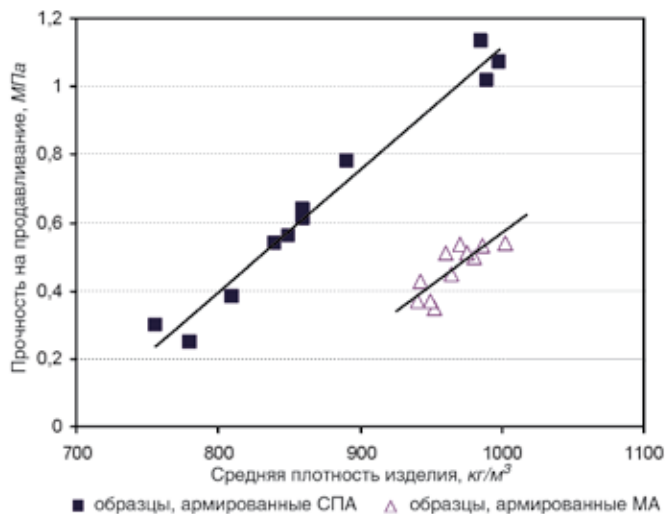


Рис. 2. Влияние вещественной природы стержневой арматуры на прочность ее сцепления с фибропенобетонами

Анализируя полученный результат, можно утверждать, что такие существенные различия в прочности сцепления predetermined прежде всего более плотным и прочным контактным слоем фибропенобетонной матрицы. Причиной упрочнения фибропенобетона в зоне контакта со стеклопластиковой арматурой является интенсификация массопереноса в период раннего формирования структуры смеси за счет более высокого энергетического потенциала поверхности полимера по сравнению с металлом.

Отсюда следует, что при изготовлении строительных изделий из фибропенобетона в тех случаях, когда противопожарные требования не накладывают ограничений на возможность применения стеклопластиковой арматуры, для повышения несущей способности энергоэффективных строительных конструкций целесообразно применять стержневую стеклопластиковую арматуру либо сочетать ее с металлической.

References

1. The federal law No. 261-FZ of November 23, 2009. "About energy saving and increase of power effectiveness".
2. Kopsov E.V., Tarasevich B.P., Suleimanov A.M. Construction and projects of houses: it is impossible to build triplex walls and to live in them! Materials "A round table in the Republic of Tatarstan" of 25.05.2012. <http://rekonstroy-oskol.ru/a73522-stroit-trehslonnye-steny.html> (date of access 04.02.2015). (In Russian).
3. Pinsker V.A., Vylegzhanin V.P. Aerocrete in housing construction with its maximal use. *Cellular concretes in the modern construction-2007. Materials of the international scientific and practical conference*. SPb. 2007, pp. 8–21. (In Russian).
4. Livshits D. V., Ponomarev O. I., Frolov A. A., Lomova L. M. Features of monolithic buildings with facades from the facilitated laying. *StroiPROFIl'*. 2009. No. 6, pp. 53–58. (In Russian).
5. Morgun V.N., Morgun L.V., Bogatina A.Yu., Smirnova P.V. Achievements and problems of modern large-panel housing construction *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 3, pp. 41–45. (In Russian).
6. Yoo-Jae, K. and J. Hu. Mechanical properties of fiber reinforced lightweight concrete containing surfactant. *Advances in Civil Engineering*. 2010. No. 1, pp. 1–8.
7. Patent RF 106636. Plita perekrytiya [Overlapping plate] Nabokov S.M., Nabokova Ya.S., Chumakin E.R. Declared 11.03.2011. Published 20.07.2011. Bulletin No. 20. (In Russian).
8. Shakhova L.D. Tekhnologiya penobetona (teoriya i praktika). [Technology of foam concrete (theory and practice)] Moscow: ASV. 2010. 246 p.

УДК 624.011.14

А.Д. ЛОМАКИН, канд. техн. наук (lomakin0840@mail.ru)

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» (109428, Москва, ул. 2-я Институтская, 6, стр. 1)

Защита большепролетных несущих клееных деревянных конструкций

Рассмотрены вопросы сохранности большепролетных несущих клееных деревянных конструкций (КДК) в процессе хранения на строительной площадке и при проведении монтажных работ. Приведены результаты длительных наблюдений за изменением влажности клееных элементов массивного сечения при экспонировании на открытом воздухе. Показано, что стабилизировать влажностное состояние КДК в процессе эксплуатации можно путем использования лакокрасочных покрытий, обладающих низкой паро- и водонепроницаемостью. Обоснованы меры по комплексной защите большепролетных КДК от увлажнения, биоповреждений и возгорания. Предложены меры по защите конструкций от появления трещин и расслоений на стадии строительства и эксплуатации. Отмечена важность использования для защиты конструкций от возгорания вспучивающихся огнезащитных составов, обеспечивающих снижение конструкционной пожарной безопасности КДК и совместимых с биолагодозащитными. Обращается внимание на необходимость строгого соблюдения технологии защитной обработки КДК на заводах-изготовителях.

Ключевые слова: клееная деревянная конструкция, усушечная трещина, расслоения, лакокрасочное покрытие.

A.D. LOMAKIN, Candidate of Technical Sciences, (lomakin0840@mail.ru)

TSNIISK named after V.A. Koucherenko AO RCC "Stroitel'stvo" (6-1, Institut'skaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

Protection of the large-span bearing glued wooden constructions

In article are considered the questions of safety of large-span bearing glued wooden constructions (GWC) during storage on a building site and when carrying out installation works. Presented the results of long observations for change of moisture conditions glued massive elements when exhibiting in the open air. It is shown that for stabilize the moisture condition of the GWC in exploitation process, it is necessary to use paint coatings with low vapor- and water permeability. Substantiated the measures of complex protection of large-span GWC from wetting, biologic damage and fire. Proposed measures to protect constructions from cracking and delamination during the building and exploitation. Noted the importance of using swelling-up flame retardants for the protection of constructions against fire, that reduce structural fire safety GWC, and compatible with bio- and waterproof. Paid attention to the necessity for adherence of technology of GWC's protective processing at manufacturing plants.

Keywords: glued construction, shrinkage crack, delamination, paint coating.

Большепролетные несущие клееные деревянные конструкции (КДК) и их элементы поступают на строительную площадку с комплексной биолагодозащитной обработкой, выполненной в заводских условиях. КДК, предназначенные для эксплуатации внутри помещений, к внешнему виду которых предъявляют высокие эстетические требования, требуют особо бережного обращения и надежной защиты от атмосферных осадков и солнечных лучей. Таким образом, заводская защитная обработка должна предохранить конструкции не только от эксплуатационных, но и от атмосферных воздействий, которым они могут подвергаться в период строительства (рис. 1).

В клееных деревянных элементах массивного сечения, слои которых имеют ярко выраженную анизотропию строения и жестко соединены между собой клеевыми прослойками, при переменном увлажнении и высыхании возникают внутренние напряжения, вызывающие появление таких дефектов, как усушечные трещины и раскрытие клеевых швов [1]. Поэтому воздействие на них атмосферных осадков и солнечных лучей во время хранения и монтажа крайне нежелательно.

Как показывает опыт, ввод в эксплуатацию крупных объектов с использованием большепролетных КДК связан, как правило, с затягиванием сроков строительства.

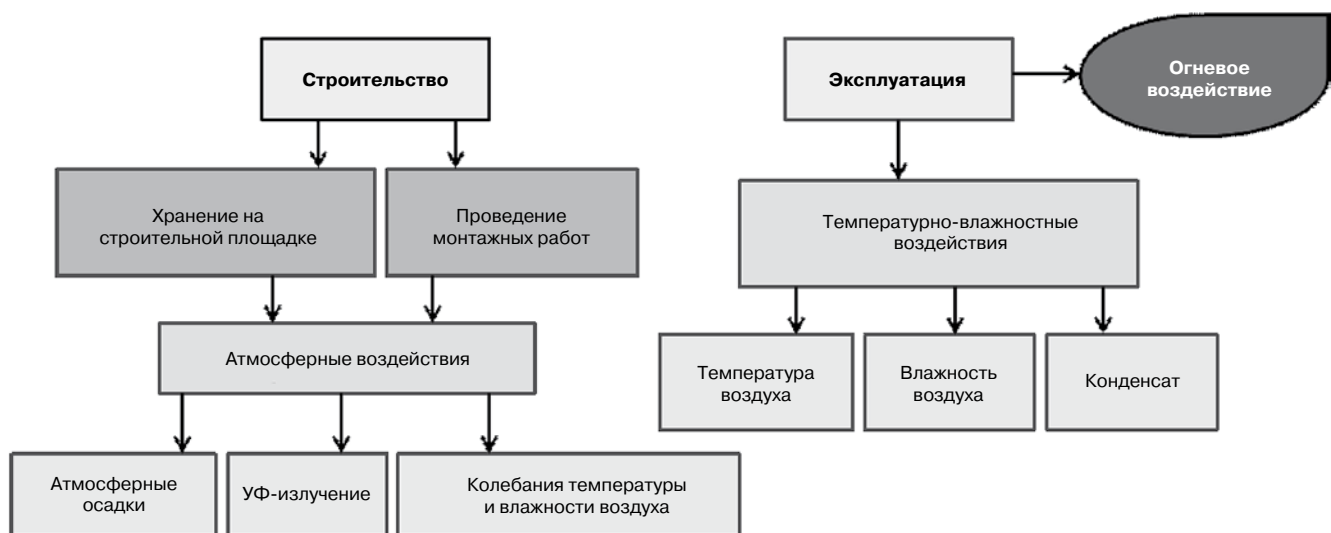


Рис. 1. Основные факторы, влияющие на сохранность большепролетных КДК в процессе строительства и эксплуатации



Рис. 2. Хранение КДК на строительной площадке: а – элементы КДК в заводской упаковке; б – полная потеря декоративного вида элементов в результате длительного хранения без защиты от атмосферных воздействий



Рис. 3. Хранение элементов КДК под стационарным навесом (а) и временным укрытием (б)

В результате конструкции хранятся на стройплощадке длительное время, иногда более 1–2 лет.

На строительную площадку элементы КДК поступают с завода-изготовителя в виде транспортных пакетов, обернутых со всех сторон пароводонепроницаемой полимерной пленкой (рис. 2, а). Такая упаковка предназначена для обеспечения сохранности элементов на время транспортировки, т. е. на относительно короткий срок. Однако, как показывает практика, элементы конструкций в нераспакованном виде хранятся на стройплощадке до начала монтажа, который может затянуться на неопределенное время. Если герметичность упаковки не нарушена, то внутри ее создаются условия для возникновения парникового эффекта. При повреждении пленки по тем или иным причинам внутрь пакета проникает дождевая или талая вода, что приводит к намоканию древесины. В дальнейшем при вводе объекта в эксплуатацию, когда конструкции попадают в условия с низкой относительной влажностью и повышенной температурой воздуха, в них появляются усушечные трещины и расслоения. Эти дефекты могут появиться и раньше, до монтажа КДК, если при длительном хранении заводская упаковка была значительно повреждена или ее не было вообще. При этом лакокрас-

очное покрытие может потерять не только защитные, но и декоративные свойства (рис. 2, б).

Сложившаяся ситуация на ряде объектов порой сводит на нет все усилия завода-изготовителя по обеспечению качества как самих КДК, так и их защитно-декоративной обработки. Это ведет к дополнительным расходам, связанным с привлечением специалистов для оценки состояния КДК на предмет возможности их дальнейшего использования и в ряде случаев с принятием мер по восстановлению защитных покрытий.

Опыт строительства убедительно показывает, что постоянное проветривание элементов КДК и защита их от атмосферных осадков и УФ-излучения в процессе хранения являются мерами крайне необходимыми. После доставки конструкций на строительную площадку заводскую упаковку следует открыть снизу, обеспечив таким образом проветривание конструкций и стекание

воды, попавшей случайно через поврежденную пленку. При этом необходимо следить за сохранностью пленки и в случае повреждений принимать меры по их устранению.

Для длительного хранения элементов КДК на стройплощадке можно использовать стационарные навесы (рис. 3, а) или устраивать временные укрытия (рис. 3, б). При этом элементы КДК должны быть полностью освобождены от заводской упаковки и уложены на прокладки. Выполнение этих условий должно быть обеспечено.

Отсутствии должного внимания к сохранности конструкций в период хранения, которое, к сожалению, имеет место практически на всех крупных объектах, ведет в дальнейшем к дополнительным расходам по механической очистке поверхности и возобновлению защитных покрытий (рис. 4).

Конструкции большого пролета имеют, как правило, сечение, состоящее из двух и более элементов, сплоченных между собой с помощью вклеенных стержней [2]. При этом если конструкции не находятся во время хранения под навесом, не укрыты от атмосферных осадков гидроизоляционным материалом, то вода, попадая в зазоры между сплоченными элементами, увлажняет древесину. Это приводит к ее разбуханию, в



Рис. 4. Потеря внешнего вида КДК в результате неправильного хранения на стройплощадке



Рис. 5. Деформация сечений клееных элементов в результате прямого воздействия атмосферных осадков: а – отсутствие укрытия при хранении на стройплощадке; б – отсутствие кровли после монтажа КДК



Рис. 6. Провисание ленточного герметика в месте стыка спаренных балок (а) и варианты защиты верхних граней балок (б)

результате чего происходит деформация поперечного сечения элементов и одновременное увеличение ширины зазора между ними в верхней зоне (рис. 5, а). Такое же явление наблюдается при несвоевременном устройстве кровельного покрытия (рис. 5, б).

При монтаже конструкций также должны быть приняты меры по предохранению их от атмосферных воздействий. Время между установкой конструкций на место и устройством кровли должно быть по возможности минимальным.

Наиболее подвержены увлажнению верхние грани конструкций, особенно горизонтальные и имеющие небольшую уклон. В заводских условиях верхние грани несущих КДК защищают самоклеящейся герметизирующей лентой Герлен-Д или Липс-ЛТ. Эффективность этих материалов подтверждена опытом их применения на различных объектах.

Защиту верхних граней балок, сплавляемых по ширине, рекомендуется выполнять по одному из вариантов, показанных на рис. 6, б. Вариант 1, при котором кромки балок в месте сплавления закруглены, предусматривает перед приклеиванием герметизирующей ленты введение в устье зазора акрилового герметика. Такая мера позволяет выровнять поверхность верхних граней спаренных балок и исключить провисание ленточного герметика, что наблюдается на практике (рис. 6, а). Вариант 2 предусматривает отказ от закругления ребер балок в месте состыковки по ширине, что также снизит вероятность деформаций герметизирующей ленты при эксплуатации.

В процессе эксплуатации для массивных КДК без влагозащитных покрытий реальную опасность может представлять только смена длительных периодов увлажнения и сушки, что наблюдается обычно на открытом воздухе или в помещениях со специфическим режимом эксплуатации. Суточные и даже недельные колебания

температуры и относительной влажности воздуха не оказывают какого-либо заметного влияния на изменение влажности древесины даже в поверхностном слое толщиной 3–5 мм. Наличие же на поверхности клееных элементов покрытия с хорошими влагозащитными свойствами позволяет снизить амплитуду колебаний влажности древесины, а в некоторых случаях (при коротких периодах увлажнения-сушки) свести ее практически к нулю, стабилизируя тем самым влажностное состояние клееного элемента [3, 4].

Самый простой и достаточно эффективный способ защиты КДК от растрескивания и расслоения – нанесение на боковые поверхности лакокрасочного покрытия (ЛКП), которое позволяет предотвратить быстрые и резкие изменения влажности древесины в периферийной зоне клееного элемента [5].

Длительными наблюдениями за изменением влажности клееных элементов на открытом воздухе установлено, что сезонные колебания влажности древесины в наружных слоях элементов с ЛКП, обладающих низкими паро- и водопроницаемостью, примерно в два раза ниже, чем в элементах без ЛКП. При этом градиент влажности по сечению у элементов с ЛКП в 2–3 раза меньше, чем у элементов без ЛКП или обработанных только грунтовочным составом (рис. 7).

Следует отметить, что качество и долговечность защитных покрытий во многом зависят от соблюдения технологии их нанесения. Сегодня не все отечественные заводы, выпускающие несущие КДК, имеют специализированные цеха по нанесению и сушке защитных покрытий. Поэтому все технологические операции по подготовке поверхности к обработке защитными составами, по нанесению и сушке составов производят на тех же площадях, на которых конструкции изготавливают. Особую сложность вызывает обработка элементов большепролетных КДК, имеющих большую длину и сечение.

Всякие действия, связанные с перемещениями их по цеху и переворотами, необходимыми для нанесения защитных составов на все участки поверхности, причем в несколько слоев, в значительной степени осложняют технологический процесс. Поэтому производители иногда идут по пути сокращения некоторых операций технологического цикла (уменьшение количества наносимых слоев, расхода защитного состава, сокращение времени сушки), что ведет к снижению качества защитного покрытия и в конечном итоге к преждевременному выходу его из строя.

На рис. 8 и 9 показаны два объекта на санно-бобслейной трассе в г. Сочи, где в качестве несущих были применены клееные деревянные конструкции [6]. На одном из объектов ЛКП, нанесенные на конструкции, из-за недостаточной толщины уже через год получили значительные повреждения под влиянием атмосферных воздействий. В то же время на другом объекте, где толщина ЛКП была в пределах нормы, покрытия полностью сохранились без повреждений (рис. 9).

Учитывая специфику производства, на заводах КДК предпочтение отдается составам бесцветным, так как добиться качественного и равномерного окрашивания



Рис. 7. Изменение влажности древесины клееных элементов в процессе экспонирования на открытом воздухе: а – элемент с датчиками влажности; б – влажность элемента без ЛКП; в – влажность элемента с яхтным лаком Merit jahti. Даты измерения влажности: 2013 г.: 1 – 24.01; 2 – 11.02; 3 – 14.03; 4 – 16.04; 5 – 13.05; 6 – 27.06; 7 – 24.07; 8 – 03.09; 9 – 12.11. 2014 г.: 10 – 10.01; 11 – 25.02; 12 – 14.03; 13 – 01.07; 14 – 29.08

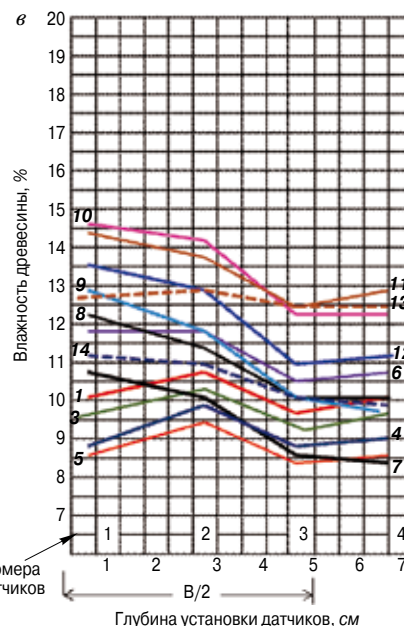
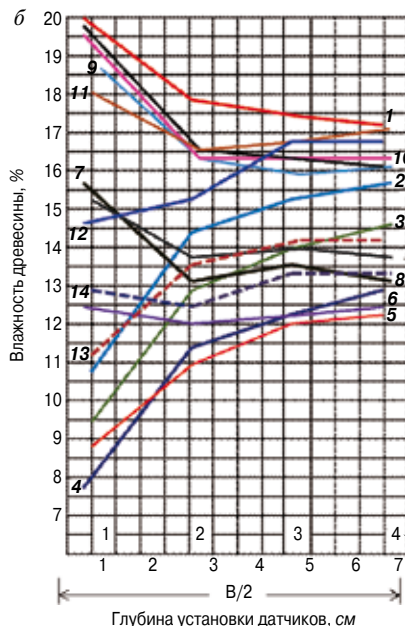


Рис. 8. Состояние лакокрасочного покрытия после года эксплуатации на открытом воздухе в результате нарушения технологии защитной обработки (г. Сочи, санно-бобслейная трасса)



Рис. 9. Лакокрасочное покрытие на несущих КДК (г. Сочи, санно-бобслейная трасса)

большой поверхности с использованием ручного инструмента, преимущественно валиков и кистей, тонированными составами весьма проблематично. Использовать же распылители для нанесения составов, особенно органических, по экологическим соображениям и требованиям пожарной безопасности нельзя из-за непригодности сборочных цехов для этих целей.

Важную роль для обеспечения пожарной безопасности объектов, где применяют большепролетные КДК, играет огнезащита последних. Она предназначена для снижения пожарной опасности объектов и обеспечения их требуемой огнестойкости. К числу объектов, для которых проблема оптимальной огнезащиты имеет особенно большое значение, относят конструкции с нормируемыми пределами огнестойкости. Это прежде всего несущие конструкции, которые в условиях пожара подвергаются совместному действию силовых нагрузок и высокотемпературного нагрева.

Применение большепролетных КДК в общественных зданиях, спортивных сооружениях, бассейнах, аквапарках, развлекательных и торговых центрах и др. связано с повышенными требованиями к их внешнему виду. Поэтому огнезащитные составы для них должны сохранять естественную текстуру древесины. Для этих целей наиболее пригодны высокоэффективные и долговечные вспучивающиеся составы, которые образуют прозрачные покрытия.

Обязательным условием при использовании огнезащитного состава должна быть совместимость его с теми составами, которые были нанесены на конструкции на заводе-изготовителе. При этом заводская обработка КДК не должна снижать эффективности огнезащитного покрытия.

В настоящее время для защиты КДК от возгорания применяют прозрачный терморасширяющийся состав на водной основе Феникс ДП и огнезащитную лаковую композицию

Латек-КД. Помимо того что эти вспучивающиеся покрытия позволяют перевести древесину в группу слабогорючих и трудновоспламеняемых материалов, они снижают конструкционную пожарную опасность КДК [7, 8].

Согласно СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП П-25–80», нанесение огнезащитных покрытий должно выполняться, как правило, после устройства кровли. Это требование вызвано тем, что на строительной площадке не всегда удается сохранить огнезащитное покрытие, нанесенное в заводских условиях, в целостности до момента сдачи объекта в эксплуатацию. Кроме того, покрытий, которые выдерживали бы атмосферные воздействия в период проведения монтажных работ, очень мало. В то же время следует заметить, что качество огнезащитной обработки, выполненной в заводских условиях, выше, чем непосредственно на строительной площадке.

Список литературы

1. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. М.: РИФ «Стройматериалы», 2005. 334 с.
2. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Преображенская И.П. Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). М.: РИФ «Стройматериалы». 2013. 300 с.
3. Ломакин А.Д. Мониторинг влажностного состояния клееных деревянных конструкций. *Промышленное и гражданское строительство в современных условиях: Сб. научных трудов. Международная научно-техническая конференция*. М.: МГСУ, 2011. С. 84–87.
4. Славик Ю.Ю., Ломакин А.Д. Мониторинг покрытий зданий с каркасом из большепролетных деревянных клееных конструкций. *Сб. научных трудов «Современные строительные конструкции из металла и древесины»*. Ч. 2. Одесса, 2008. С. 32–40.
5. Ломакин А.Д. Защита несущих клееных деревянных конструкций // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2007. № 3. С. 15–18.
6. Суменко В.А., Ломакин А.Д., Погорельцев А.А. Проектирование каркасов из клееной древесины центра санного спорта «Санки» к Олимпиаде 2014 г. в г. Сочи // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 10. С. 47–49.
7. Устрехов А.И., Гарашенко Н.А. Показатели конструктивной пожарной опасности деревоклееных конструкций, защищенных вспучивающимися покрытиями, и перспективы их использования // *Монтажные и специальные работы в строительстве*. 2006. № 6. С. 12–16.
8. Ломакин А.Д., Устрехов А.И. Огнезащита клееных деревянных конструкций для зданий и сооружений // *Жилищное строительство*. 2013. № 5. С. 36–40.

References

1. Koval'chuk L.M. Proizvodstvo derevyannykh kleenykh konstruktstii [Glued wooden structures production]. Moscow: RIF «Stroimaterialy». 2005. 334 p.
2. Turkovskii S.B., Pogorel'tsev A.A., Preobrazhenskaya I.P. Kleenye derevyannye konstruktstii s uzlamy na vkleennykh sterzhnyakh v sovremennom stroitel'stve (sistema TsNIISK) [Glued wooden structures with nodes on the rods glued in modern construction (system CNIISK)]. Moscow: RIF «Stroimaterialy». 2013. 300 p.
3. Lomakin A.D. Monitoring humidity condition glued wooden structures. *Industrial and civil construction in modern conditions. Collection of scientific works. International Scientific and Technical Conference*. Moscow: MGSU. 2011, pp. 84–87. (In Russian).
4. Slavik Yu.Yu., Lomakin A.D. Monitoring of covering buildings with a framework of long-span glued wooden structures. *Collection of scientific works «Modern constructions of metal and wood» Part 2*. Odessa: 2008, pp. 32–40. (In Russian).
5. Lomakin A.D. Protection carrying glued wooden structures. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*. 2007. No. 3, pp. 15–18. (In Russian).
6. Sumenko V.A., Lomakin A.D., Pogorel'tsev A.A. Design skeletons of plywood center Luge «Sledge» for the 2014 Olympics in Sochi. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 10, pp. 47–49. (In Russian).
7. Ustrekhov A.I., Garashchenko N.A. Indicators of structural fire danger derevokleenykh designs protected intumescent coatings, and the prospects for their use *Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve*. 2006. No. 6, pp. 12–16. (In Russian).
8. Lomakin A.D., Ustrekhov A.I. Fire-Protection of timber glued structures for building and facilities. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Building Construction]. 2013. No. 5, pp. 36–40. (In Russian).

Реклама

Международная отраслевая конференция «Белый камень» 2015

БЕЛЫЙ КАМЕНЬ • Индустрия развития силикатных строительных материалов

Сочи
29-30 сентября 2015г.

при сотрудничестве: **KALKSANDSTEIN** **masa** **EIRICH** **HOCH**
Bundesarverband Industrie eV Milestone to your success.

генеральный спонсор: **masa**
Milestone to your success.

спонсор: **EIRICH**

при поддержке: **HOCH**

Организатор: Ассоциация производителей силикатных изделий
8(8313) 255-525
bk@apsi-rf.ru, info@apsi-rf.ru
http://apsi-rf.ru

А.А. ФЕДУЛОВ, канд. техн. наук (fedulov.alexey@mail.ru)

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

Полы для жилых и общественных зданий

Обоснована необходимость разработки единой терминологии и методов определения физико-технических свойств самовыравнивающихся растворов смесей. Рассмотрены конструкции полов жилых и общественных зданий, современные материалы для устройства разных слоев пола. Предложены понятия и определения слоев пола, методы испытаний самовыравнивающихся растворов смесей для устройства оснований пола.

Ключевые слова: пол, основание под покрытие пола, подвижность растворной смеси, потеря подвижности, напольные сухие смеси.

A.A. FEDULOV, Candidate of Sciences (Engineering) (fedulov.alexey@mail.ru)

Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

Floors for Residential and Public Buildings

The need for development of the uniform terminology and methods for determining physical-technical properties of self-leveling mortar mixes is substantiated. Designs of floors for residential and public buildings, modern materials for arrangement of different layers of the floor are considered. Concepts and definitions of floor layers, methods for testing self-leveling mortar mixes for arrangement of subfloors are proposed.

Keywords: floor, flooring underlay, mobility of mortar mix, loss of mobility, floor dry mixes.

Написать данную статью автора побудило выступление одного из докладчиков ежегодного международного строительного форума «Цемент. Бетон. Сухие смеси» (декабрь 2014 г.), который рассказал о новых сухих напольных смесях, выпускаемых на его предприятии. В завершение выступления докладчик отметил необходимость разработки терминологии, классификации и определения ряда понятий для напольных сухих смесей, множество которых появилось на отечественном строительном рынке. Это связано с тем, что практически каждый производитель смесей использует собственную терминологию как в названиях, так и в характеристиках смесей, а также различные методики определения технических характеристик растворов смесей.

В настоящее время в России насчитывается более 240 заводов сухих смесей, из которых не менее трети выпускают напольные. При таком количестве производителей, естественно, существуют и разные названия продукции, а порой и разные понятия и определения их характеристик. Напомним, что в 1996 г. в России было всего восемь заводов сухих смесей, из которых ни один не выпускал напольные сухие смеси.

Первые сухие напольные смеси появились на российском рынке в 1995 г. Это были смеси для устройства самовыравнивающихся оснований пола FE 80 и FE 50 (Fussbodenestrich), а также различные напольные самовыравнивающиеся шпаклевочные смеси (Nivelierspachtelmasse), производимые немецкой фирмой «КНАУФ». Поскольку автор имеет практический опыт работы не только с материалами для устройства полов, но и разработки для них нормативной и технической документации, проведения исследований физико-технических характеристик, а также обладает обширным библиографическим материалом, вниманию специалистов предлагается профессиональная точка зрения на проблему классификации и терминологии материалов и технологий для устройства полов.

В данной статье не будут рассматриваться полы для промышленных зданий, к которым предъявляются совершенно другие требования, чем к полам для жилых и общественных зданий.

В первую очередь необходимо дать определение: что такое пол.

Пол — это горизонтальная многослойная конструкция (иногда с некоторым уклоном), предназначенная для постоянного или временного пребывания людей,

состоящая из нескольких слоев, имеющих различное функциональное назначение.

Покрытие — верхний или лицевой слой пола, являющийся неотъемлемой частью интерьера помещения, непосредственно подвергающийся эксплуатационным воздействиям, связанным с пребыванием людей.

В жилых и общественных зданиях, в зависимости от назначения помещений, в качестве покрытия применяют паркет, паркетную доску, ламинат, поливинилхлоридную плитку, керамическую плитку, ворсовые материалы, линолеум, «жидкий» линолеум (многослойные наливные полимерные покрытия) и др.

Прослойка — промежуточный слой пола, связывающий покрытие с нижележащим слоем или компенсирующий небольшие неровности основания, не превышающие 2 мм (создающий «упругую постель»). В качестве прослойки могут использоваться соответствующие клеи для различных покрытий, натуральные или поризованные рулонные материалы (натуральная пробка, вспененный полиуретан и т. п.). В санитарно-технических помещениях, где в большинстве случаев покрытием является керамическая плитка, перед клеевым слоем наносится *гидроизоляционный слой*, препятствующий проникновению жидкости через неплотности примыкания плит, дефекты или другие места.

Основание под покрытие пола (в дальнейшем — *основание пола*) — слой пола, имеющий заданную прочность и служащий для выравнивания поверхности нижележащего слоя, укрытия трубопроводов или других инженерных коммуникаций, распределения нагрузок по тепло- и звукоизоляционным слоям, обеспечения нормируемого теплоусвоения.

В СНиП 2.03.13–88 «Полы» [1] данный слой назван стяжкой, но в скобках дается и другое название — «основание под покрытие пола», которое, по мнению автора, является более общим названием данного функционального слоя, так как в это понятие входят кроме собственно стяжки самовыравнивающееся основание пола и сборное основание пола. Рассмотрим их более подробно.

Стяжка — слой из бетона класса не ниже В12,5 или строительного раствора с прочностью при сжатии не ниже 15 МПа. В большинстве случаев для устройства стяжки используют растворную или мелкозернистую бетонную смесь. Данный слой назвали стяжкой исходя из традиционной технологии его устройства. По заранее выставленным направляющим, которые создают гори-

Физико-технические характеристики растворяемых смесей «КНАУФ» на ангидритовом вяжущем

Вид смеси	Наименование	Водотвердое отношение	Подвижность смеси, см, при V=1,33 л (диаметр распыла)	Потеря подвижности, мин	Время обработки растворяемой смеси, мин
Самовыравнивающиеся шпаклевочные смеси	Флиссшпатель 315	0,24–0,26	60–62	≥20	10–15
	Дюнэстрих 325	0,16–0,17	50–52	≥30	10–15
	Нивелиршпательмассе 415	0,24–0,26	58–60	≥30	10–15
	Нивелирэстрих 425	0,22–0,23	52–54	≥30	10–15
Самовыравнивающиеся основания пола	Флиссэстрих 80	0,2–0,22	48–50	≥60	40
	Флиссэстрих 50	0,17–0,18	42–45	≥60	40
	Флиссэстрих 25	0,16–0,17	43–45	≥60	40

горизонтальную поверхность и задают толщину слоя, растворяемую или бетонную смесь укладывают от окна к двери. Укладка смеси может осуществляться как ручным способом с применением правила, которому придают частые возвратно-поступательные движения, так и механизированным – с использованием виброрейки. В обоих случаях смесь подвергается поверхностной вибрации, разжижается и уплотняется, а ее излишки *стягивают* на себя. Отсюда и образовалось название «стяжка». С помощью стяжки можно создавать уклоны в полах.

Самовыравнивающееся основание пола – слой из строительного раствора с прочностью при сжатии не менее 15 МПа. Для устройства самовыравнивающегося основания пола применяют специальные нерасплаиваемые растворяемые смеси с высокой подвижностью, которые заливаются как ручным, так и механизированными способами. Для регулирования и контроля толщины заливки устанавливаются инвентарные маяки, выполненные в виде треног из проволоки диаметром 4 мм. Центральный стержень треноги выставляется на нужную высоту с помощью гидравлического уровня или лазерного нивелира, что позволяет следить за толщиной слоя.

Такие растворяемые смеси приготавливаются из изготовленных только в заводских условиях сухих напольных смесей на основе цементного, ангидритового, а иногда и магнезиального вяжущих. Поверхность слоя или конструкции, на которую выливается высокоподвижная растворяемая смесь, не должна впитывать влагу во избежание потери ее подвижности. Для этих целей заливаемая поверхность тщательно покрывается гидроизоляционными мастиками, грунтовками или рулонной парафинированной бумагой с нахлестом 20 см. Предварительно по всему периметру захватки ко всем ограждающим конструкциям крепится кромочная лента с полиэтиленовым фартуком, который не дает возможность затекать растворяемой смеси в различные пазухи.

Чтобы избежать каких-либо незначительных неровностей при заливке таких оснований пола, а главное, для удаления воздушных пузырьков, вовлеченных во время приготовления растворяемой смеси, несхватившуюся растворяемую смесь обрабатывают игольчатым валиком или шваброй с длинным и довольно толстым ворсом в двух взаимно перпендикулярных направлениях по всей поверхности пола. В этот момент происходит разжижение смеси, почти идеальное выравнивание ее по горизонтали и удаление заземленного воздуха.

Стяжки и самовыравнивающиеся основания пола должны иметь определенную толщину, оптимальный размер которой составляет 40–60 мм, что позволяет сделать скрытыми межкомнатные трубопроводы и электросети. Если прочность стяжки или самовыравнивающегося основания пола составляет не менее 20 МПа, то они могут применяться для любых видов покрытий, включая и наливные полимерные.

При устройстве стяжек и самовыравнивающих оснований пола, особенно на больших площадях, иногда выявляются некоторые неровности глубиной от 1 до 10 мм, а

порой и более, которые нельзя устранить с помощью различных подложек под покрытие. Такие неровности устраняются с помощью самовыравнивающих шпаклевочных смесей, которые имеют более высокую подвижность и прочность, чем основания пола. С их помощью устраняются неровности до 20 мм с применением игольчатых валиков необходимых размеров. Для наглядности в таблице приведены характеристики растворяемых смесей «КНАУФ» на ангидритовом вяжущем [2].

Данные таблицы показывают, что диапазон подвижности указанных смесей довольно широк. Поэтому, учитывая большое количество выпускаемых в настоящее время напольных смесей, их логично разделить на *самовыравнивающиеся смеси для оснований пола*, которые применяются толщиной от 30 до 100 мм и более, и *самовыравнивающиеся шпаклевочные смеси*, которые заливаются толщиной от 1 до 20 мм. Естественно, для их изготовления будут применяться пески разного фракционного состава. У первых максимальная крупность зерен может быть до 1,25 мм, а у вторых – до 0,315 мм (по российской классификации сит). Необходимо отметить, что подвижность шпаклевочных смесей всегда больше, чем смесей оснований пола.

Подвижность напольных самовыравнивающих растворяемых смесей является одной из их основных характеристик, однако единой гостированной методики определения подвижности до сих пор нет. Существующий метод определения подвижности растворяемых смесей по погружению стандартного конуса массой 300 г с углом вершины конуса 30° и длиной 145 мм совершенно не подходит для этих целей: конус после погружения всплывает, в чем автор сам неоднократно убеждался.

Производители напольных самовыравнивающих смесей определяют подвижность своей продукции по диаметру распыла растворяемой смеси и выражают ее в миллиметрах. Но емкости, которые они используют для этих целей, могут быть совершенно разными. Вот некоторые из них: кольцо по EN 12706, диаметр 30 мм, высота 50 мм; кольцо Weber-Vetonit, диаметр 68 мм, высота 35 мм; конус прибора Вика, нижний диаметр 75 мм, верхний диаметр 65 мм, высота 40 мм; цилиндр Суттарда, диаметр 50 мм, высота 100 мм. Могут быть и другие приборы. Встает законный вопрос: как сравнить подвижность напольных растворяемых смесей разных производителей? Например, на мешке состава из семейства напольных смесей одного из известных производителей сухих смесей указано: растекаемость 260–280 мм. Однако не дано понятия растекаемости, а такого слова в русском языке нет, и не указан прибор, с помощью которого ее определяли. Поэтому сравнивать подвижности напольных смесей разных производителей и определять их эффективность невозможно.

Из всех методик определения подвижности растворяемых смесей, которыми автору приходилось пользоваться, наиболее удобной и точной была методика по DIN EN 13279-1 [Вяжущие и штукатурка гипсовые. Часть 1. Определения и требования] и DIN EN 13279-2

[Гипсовые вяжущие и гипсовые сухие растворные смеси. Часть 2. Методы испытания]. Согласно этой методике подвижность определяется по диаметру расплыва смеси, находящейся в цилиндре объемом 1,33 л, диаметром 100 и высотой 175 мм, и выражается в сантиметрах. Такая большая масса смеси расплывается на большие диаметры, что позволяет регистрировать даже минимальные изменения подвижности. Эта методика дает возможность определять границу между смесями для основания пола и шпаклевочными. Но, наверное, требуется разработка отдельной единой методики для определения подвижности напольных самовыравнивающихся растворных смесей.

Сборное основание пола (ОП) – это основание, выполненное из различных листовых и плитных материалов, а также из готовых элементов пола (ЭП). Указанное в СНиП 2.03.13–88 такое понятие, как «сборная стяжка», не отвечает смысловому значению. Можно ли стягивать уложенные плиты, листы или ЭП? Конечно, нет.

При устройстве сборных ОП применяют древесностружечные и цементно-стружечные плиты, силикатно-магнелиевые листы, листы OSB и другие изделия. Но в большинстве случаев в современном строительстве как в России, так и за рубежом для этих целей используют более экологичные малоформатные влагостойкие гипсоволокнистые листы (ГВЛВ) или изготовленные из них ЭП. Выпускают данную продукцию в России заводы фирмы «КНАУФ» в г. Дзержинске Нижегородской области и Челябинске. Малоформатные листы могут иметь размеры 1500×1200, 1500×1000 мм и толщину 12,5 и 10 мм. Размеры ЭП составляют 1500×500 и 1200×600 мм, их толщина 20 и 25 мм. Фальцевая кромка имеет ширину 50 мм, которая создается за счет смешения листов по длине и ширине при их склеивании.

Подстилающий слой предназначен для выравнивания поверхности пола, тепло- и шумозащиты. Как правило, для этого слоя в настоящее время применяют относительно легкие материалы, дающие небольшую постоянную нагрузку на несущие конструкции перекрытий, тем самым экономя расход железобетона, металла или древесины при строительстве зданий.

В современном строительстве в качестве подстилающего слоя может быть применен пенобетон или пенополистиролбетон, которые подаются на этажи с помощью передвижных малогабаритных, но высокопроизводительных насосов. Используются также и засыпные материалы, такие как керамзитовый гравий и песок или им подобные. Недостатком таких засыпок является их осадка при эксплуатации от воздействия большей частью динамических нагрузок. К сожалению, в СНиП 2.03.13–88 об этом не говорится ни слова. Написано только, что их «допускается применять в производственных зданиях при условии их уплотнения механическими катками».

В стандартах некоторых западных стран указывается, что осадка сухих засыпок при эксплуатации пола не долж-

на превышать 2 мм на 50 мм толщины засыпки. Это необходимо для того, чтобы избежать деформаций покрытий пола (за исключением ворсовых покрытий и линолеума), которые могут привести к потере их целостности. Во избежание осадки часто сухие засыпки проливают жидкими цементными растворными смесями, создавая необходимую прочность за счет контактного склеивания их зерен. При применении бетонных или засыпных подстилающих слоев, они при устройстве наливных оснований пола должны быть обязательно покрыты водонепроницаемыми грунтовками или мастиками. Это предотвратит потерю подвижности напольных растворных смесей.

При устройстве сборных ОП в качестве подстилающего слоя применяют в большинстве случаев керамзитовый песок строго подобранный гранулометрического состава и определенной прочности. Гранулометрия керамзитового песка должна быть такой, чтобы при определенном механическом воздействии осадка не превышала указанный предел [3]. Прочность зерен засыпки при сдавливании в цилиндре должна быть не менее 2,5 МПа. Если керамзитовый песок не имеет необходимой гранулометрии, то его можно обработать определенными самотвердеющими смолами или клеями. После укладки сборных ОП такая засыпка твердеет в течение суток и не дает никакой осадки. В Германии фирма «КНАУФ» в качестве такой засыпки используют даже легкий перлитовый песок, обработанный смолой.

Во время подготовки статьи автору пришлось столкнуться с некорректной информацией, размещенной на мешке с сухой смесью известного производителя, которая не просто вводит потребителя в заблуждение, но и может оказать негативное влияние на производительность труда и различные расчеты, связанные с производством отделочных работ. Указанное на мешке время перемешивания смеси 1 мин не соответствует реальности, о чем знает любой строитель-практик. Для приготовления из смеси рабочего раствора требуется минимум 2,5 мин на перемешивание, 1 мин выдержки, 1 мин дополнительного перемешивания для устранения ложного схватывания, т. е. в 4,5 раза больше, чем указано на мешке производителя. А время приготовления порций смеси, как известно, связано с расчетной площадью захватки.

Учитывая постоянно расширяющийся ассортимент сухих строительных смесей, увеличение числа торговых марок однотипных смесей, а также, к сожалению, снижение квалификации строительных рабочих, на мешках должна быть грамотная и полноценная информация о характеристике сухих и растворных смесей, точная технология приготовления и заливки растворной смеси с указанием максимальной, соответствующей действительности площади захватки.

Для этого необходима организация разработки единой методики определения реологических характеристик напольных растворных смесей, создание единой технической грамотной терминологии понятий, определений материалов и процессов.

Список литературы

1. СНиП 2.03.13–88. Полы. Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2004.
2. Индивидуальные элементные сметные нормы расхода материалов и затрат труда на отделку помещений комплектами системами КНАУФ. 3-й том. М.: РИФ «Стройматериалы».
3. Федулов А.А., Румянцев Б.М., Горбунов Г.И., Иващенко В.Д., Исхаков А.С. Методы определения качества засыпок для сборных оснований полов // *Строительные материалы*. 2002. № 10. С. 9–11.

References

1. CNR [Construction norms and rules] 2.03.13–88. Floors. Gosstroy Russii. Moscow: TSPP. 2004.
2. Individual'nye elementnye smeinye normy raskhoda materialov i zatrat truda na otdelku pomeshchenii komplektnymi sistemami KNAUF [Individual element smeiny consumption rates of materials and costs of work of finishing of rooms by komplektny systems of KNAUF]. Vol. 3. Moscow: RIF "Stroymaterialy". 2006.
3. Fedulov A.A., Rummyantsev B.M., Gorbunov G.I., Ivashchenko V.D., Iskhakov A.S. Methods of determination of quality zasypok for the combined bases of floors. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2002. No. 10, pp. 9–11. (In Russian).

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР

ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



тел/факс в Челябинске:
(351) 790-16-13, 790-16-85, 796-64-14
в Москве: (495) 964-95-63, 220-38-58
e-mail: stroypribor@chel.surnet.ru
www.stroypribor.ru

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03
ударно-импульсный

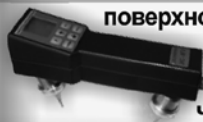
автоматическая обработка
измерений



диапазон 3...100 МПа

УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С
ультразвуковой

поверхностное и сквозное
прозвучивание



частота 60...70 кГц
диапазон 10...2000 мкс

ПОС-50МГ4 / ПОС-50МГ4 Д /
ПОС-50МГ4 "Скол"

отрыв со скалыванием
и скалывание ребра

предельное
усилие 60 кН
диапазон 5...100 МПа



ПОС-2МГ4 П

испытание прочности
ячеистых бетонов



предельное
усилие вырыва 2,5 кН

ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ
ДИНАМИЧЕСКИЕ

ПДУ-МГ4 "Удар"

и **ПДУ-МГ4 "Импульс"**

определение динамического
модуля упругости грунтов
и оснований дорог
методом штампа,
диапазон: 5...370 МН/м² ("Удар")
5...300 МН/м² ("Импульс")



Прессы испытательные
малогабаритные

ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4
/ ПГМ-1000МГ4



с гидравлическим приводом
для испытания бетона,
асфальтобетона, кирпича
■ предельная нагрузка
100 / 500 / 1000 кН
■ масса 70 / 120 / 180 кг

ПМ-1МГ4 / ПМ-2МГ4 / ПМ-3МГ4
/ ПМ-5МГ4 / ПМ-10МГ4

с ручным / электрическим приводом
для испытания утеплителей на изгиб
и сжатие при 10% линейной деформации
■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН
■ масса 20 / 25 кг

ПСО-10МГ4 КЛ

испытание прочности
сцепления в каменной
кладке

предельное усилие
отрыва 15 кН



АДГЕЗИМЕТРЫ

ПСО-МГ4

испытание прочности
сцепления покрытия
с основанием

предельная нагрузка
1 / 2,5 / 5 / 10 кН



ИЗМЕРИТЕЛИ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"

стационарный
и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ

ИСП-МГ4 / ИСП-МГ4.01
анемометр-термометр

диапазон 0,1...20 (1...30) м/с
-30...+100 °С



ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01
термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ
ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ИТП-МГ4.03 "Поток"

3...5, 10 и 100-канальные
регистраторы

диапазон 10...999 Вт/м²
-40...+70 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

ВЛАГОМЕР-МГ4

для измерения влажности
бетона,
сыпучих,
древесины
диапазон 1...45 %



ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ
ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

ИПА-МГ4

диаметр контролируемой
арматуры 3...40 мм
диапазон измерения
защитного слоя 3...140 мм



ТЕРМОМЕТРЫ

ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01

модульные регистрирующие
для зимнего бетонирования
и пропарочных камер
(до 20 модулей в комплекте)
зондовые / контактные
1...2-канальные
диапазон -40...+100 / 250 °С



ДИНАМОМЕТРЫ

ДМС-МГ4 / ДМР-МГ4

эталонные

сжатия / растяжения
предельная нагрузка
1...1000 кН



ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ
АРМАТУРЫ

ДО-40 / 60 / 80МГ4

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых
усилий 2...120 кН

диаметр
арматуры 3...12 мм



ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ
В АРМАТУРЕ

ЭИН-МГ4

частотный метод

диаметр
арматуры 3...32 мм

диапазон 100...1800 МПа



ПРОИЗВОДИМ: ИЗМЕРИТЕЛИ ВИБРАЦИИ, МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ТОЛЩИНОМЕРЫ, ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ВЕСЫ И ДР.

Реклама

А.П. ПУСТОВГАР¹, канд. техн. наук, Т.Н. СКВОРЦОВ², магистр,
С.В. НЕФЕДОВ¹, инженер, И.С. ИВАНОВА¹, магистр (ivanova1907@gmail.com)

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

² ООО «КНАУФ ГИПС» (143400, Московская обл., г. Красногорск ул. Центральная, 139)

Оценка влияния различных типов кромок на прочность стыков гипсовых строительных плит

Рассматривается влияние кромок типа «полукруглая и утоненная с лицевой стороны» (ПЛУК), «модифицированная утоненная с лицевой стороны» (УК Про) и «утоненная с лицевой стороны» (УК) на прочность стыков гипсовых строительных плит в различных вариантах исполнения стыка: с применением двух типов шпатлевок, а также без использования и с использованием армирующей ленты при шпатлевании. Разработаны и обоснованы методика и критерий оценки прочности стыков гипсовых строительных плит. Предложено основным критерием устойчивости зашпатлеванного стыкового соединения гипсовых строительных плит к трещинообразованию считать параметр «прогиб в момент образования первой трещины», значение которого должно составлять не менее 1 мм на 350 мм плиты. Установлено, что использование гипсовых строительных плит с кромкой ПЛУК позволяет получить стык с наиболее высокой прочностью, а применение армирующей ленты придает стыковому соединению повышенный запас прочности.

Ключевые слова: гипсовые строительные плиты, армирующие ленты, прочность стыкового соединения.

A.P. PUSTOVGAR¹, Candidate of Sciences (Engineering); T.N. SKVORTSOV², Master;
S.V. NEFEDOV¹, Engineer, I.S. IVANOVA¹, Master (ivanova1907@gmail.com)

¹ Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye shosse, 129337, Moscow, Russian Federation)

² ООО «KNAUF GYPSUM» (139, Tsentralnaya Street, 143400, Krasnogorsk, Moscow Oblast, Russian Federation)

Assessment of Impact of Various Types of Edges on Strength of Joints of Gypsum Building Slabs

The impact of edges of «semicircular and thinned from the face side» (PLUK), «modified and thinned from the face side» (UK Pro), and «thinned from the face side» types on the strength of joints of gypsum building slabs at different variants of joints execution – with the use of two types of putty as well as without use and with the use of reinforcing tape in the course of filling – are considered. Methods and criterion of the assessment of joints strength of gypsum building slabs have been developed and substantiated. It is proposed to consider the «deflection at the time of formation of the first crack» parameter, the value of which should be not less than 1 mm for 350 mm of the slab as a main criterion of resistance of the filled butt joint of gypsum building slabs to crack formation. It is established that the use of gypsum building slabs with the PLUK edge makes it possible to obtain the joint with the highest strength, and the use of the reinforcing tape gives an increased reserve of strength to the butt joint.

Keywords: gypsum building slabs, reinforcing tapes, butt joint strength.

В настоящее время при проведении отделочных работ широко применяются гипсовые строительные плиты (ГСП), являющиеся удобным материалом для облицовки стен, а также для создания межкомнатных перегородок и подвесных потолков [1, 2]. Помимо широких возможностей для создания оригинального дизайна, ГСП позволяют поддерживать благоприятный микроклимат в помещении, регулируя в нем влажность в условиях перепада температуры за счет особых свойств, характерных для гипса [3, 4].

Особую важность при монтаже конструкций из ГСП имеет область стыка. Устройство стыкового соединения ГСП в каркасно-обшивных конструкциях представляют собой заполнение специальными гипсовыми шпатлевками углубления, образованного за счет утончения кромок при продольном стыке и устройстве специальной фаски при торцевом стыке листов [5]. Для придания стыку дополнительной прочности обычно применяется армирующая лента. В качестве армирующих лент наиболее часто используют бумажные ленты [6].

Устойчивость каркасно-обшивных конструкций к различного рода воздействиям и нагрузкам обеспечивается совместной работой каркаса и обшивки из ГСП. При этом шов, образованный ГСП, не должен снижать прочность конструкции и должен обеспечивать требуемую ее звукоизоляцию и огнестойкость [7, 8, 9]. Поэтому прочность стыка имеет большое значение для обеспечения прочности каркасно-обшивных конструкций с применением ГСП.

В настоящее время не существует стандартизированной методики оценки прочности стыков ГСП, а также не определены критерии оценки прочности и их допустимые значения, что препятствует проведению объективных исследований по данному вопросу.

В статье предложены и обоснованы методика и критерии оценки прочности стыков ГСП, а также приведены результаты изучения влияния кромок типа «полукруглая и утоненная с лицевой стороны» (ПЛУК), «модифицированная утоненная с лицевой стороны» (УК Про) и «утоненная с лицевой стороны» (УК) на прочность стыков ГСП в различных вариантах исполнения стыка.

Для проведения исследования применялись ГСП с тремя различными типами кромок: ПЛУК, УК Про и УК.

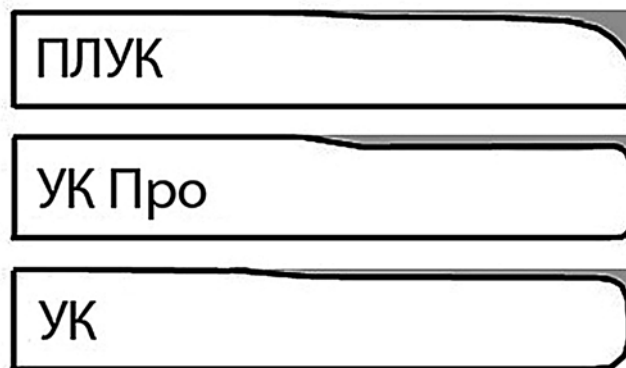


Рис. 1. Форма кромок исследуемых ГСП



Рис. 2. Прогиб ГСП в ограждающей конструкции

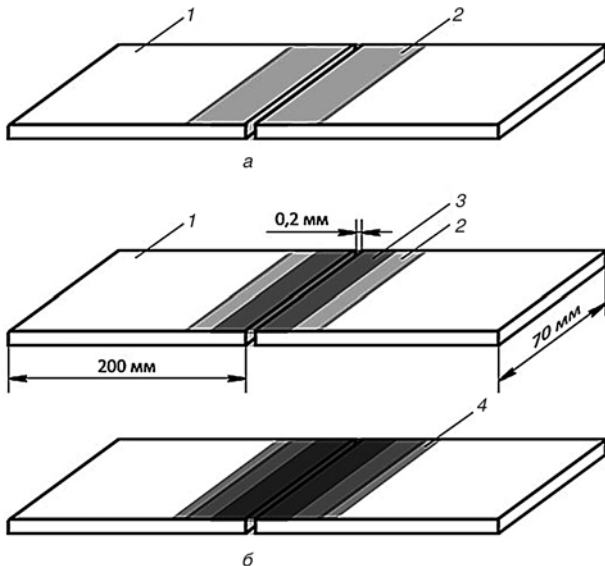


Рис. 3. Образец для определения прочности стыка ГСП: *a* – образец без армирующей ленты; *b* – образец с армирующей лентой; 1 – образец ГСП; 2 – основной слой шпатлевки, заполняющий стык ГСП; 3 – армирующая лента поверх шва; 4 – верхний слой шпатлевки, нанесенный поверх армирующей ленты

Форма кромок исследуемых ГСП приведена на рис. 1. Серым цветом отмечены области, которые заполняются шпатлевкой после обработки стыка.

Для обработки стыков применялись два типа гипсовых шпатлевок:

- шпатлевка № 1, рекомендуемая производителем для заделки стыков ГСП с кромками ПЛУК и УК с использованием армирующей ленты;
- шпатлевка № 2, рекомендуемая производителем для заделки стыков ГСП с кромкой УК с использованием армирующей ленты и с кромкой ПЛУК с применением или без применения армирующей ленты.

В исследовании использовалась бумажная армирующая лента шириной 50 мм, изготовленная из белой перфорированной бумаги с армирующими синтетическими волокнами.

Анализ российской (СП 55-101-2000) и европейской (DIN 18183-1-2009) нормативно-технической документации по ГСП и каркасно-обшивным конструкциям на их основе показал, что к конструкциям и обшивке как ее составной части предъявляются требования к допускаемым прогибам, которые не должны быть более $h/350$, т. е. максимально допустимый прогиб составляет 2,9 мм на 1000 мм обшивки (или 1 мм на 350 мм обшивки).

Вследствие этого за основной критерий оценки прочности стыкового соединения ГСП, обработанного шпатлевкой, взято отсутствие трещин при прогибе ≤ 1 мм на 350 мм. Значение прогиба в момент образования первой трещины определяют по диаграмме деформации, регистрируемой при испытании стыка ГСП на трехточечный изгиб.

При проведении испытания на трехточечный изгиб определяют прогиб в сторону лицевой части стыка, что соответствует направлению действия изгибающей нагрузки на ГСП в реальных конструкциях (рис. 2).

Следует отметить, что помимо воздействия изгибающей нагрузки на конструкцию возможны другие причины образования трещин в стыках ГСП. К ним можно отнести температурные и влажностные деформации, а также продолжительные динамические нагрузки и вибрации, возникающие из-за нарушения технологии устройства или эксплуатации конструкций. В настоящем исследовании они не рассматриваются.

Для сравнения влияния различных типов кромок на прочность стыков ГСП определяют их следующие параметры:

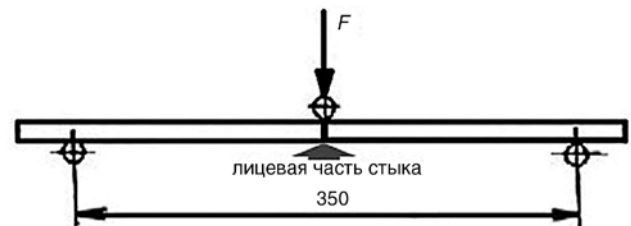


Рис. 4. Схема испытания образцов на прочность при изгибе при постоянном пролете



Рис. 5. Варианты расположения точек излома на диаграмме деформации

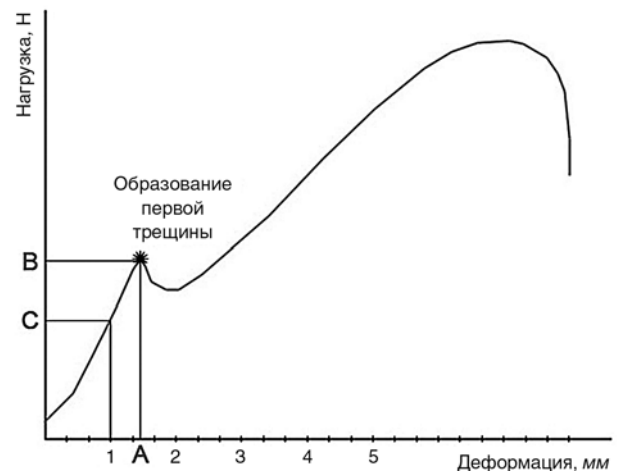


Рис. 6. Определение параметров прочности стыка ГСП по диаграмме деформации: А – прогиб в момент образования первой трещины; В – нагрузка в момент образования первой трещины; С – нагрузка при прогибе 1 мм

- прогиб в момент образования первой трещины;
- нагрузка в момент образования первой трещины;
- нагрузка при прогибе 1 мм.

При проведении испытаний использованы следующие приборы и инструменты: металлическая линейка ГОСТ 427-75; металлическая пластина толщиной $0,2 \pm 0,05$ мм; две гантели массой $5 \pm 0,1$ кг; лабораторные весы ГОСТ 24104-2001; мерный цилиндр ГОСТ 1770-74; лабораторный смеситель ГОСТ 30744-2001; секундомер; металлический шпатель шириной 150 мм; климатическая камера или помещение для хранения образцов при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности $55 \pm 5\%$; испытательная машина для определения прочности при трехточечном изгибе, обеспечивающая возможность приложения нагрузки по схеме, приведенной на рис. 3, со скоростью нарастания нагрузки 2 мм/мин и имеющая прибор, позволяющий измерять деформацию (прогиб) образца с точностью не менее 0,1 мм.

Из ГСП вырезаны поперечные образцы длиной 200 ± 1 мм и шириной 70 ± 1 мм. Все образцы должны содержать кромку.

Для заделывания стыков полученные образцы помещают на стол и совмещают кромками, оставляя между ними зазор шириной $0,2 \pm 0,05$ мм, формируемый при помощи металлической пластины соответствующей толщины. Во избежание смещения образцов в процессе шпатлевания их нагружают гантелями весом $5 \pm 0,1$ кг.

Приготовление шпатлевки осуществляют в лабораторном смесителе в следующей последовательности: воду в объеме, указанном в маркировке сухой смеси для

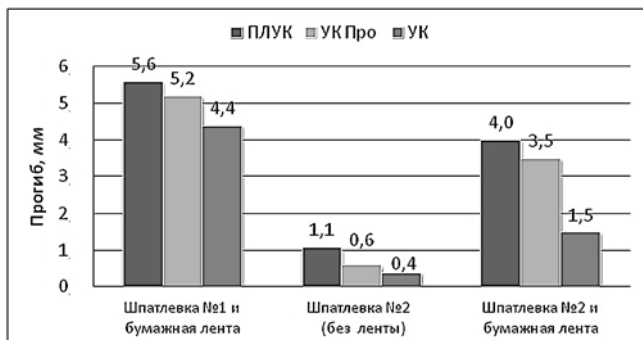


Рис. 7. Прогиб в момент образования первой трещины

получения растворной смеси требуемой подвижности, выливают в чашу смесителя, предварительно протертую влажной тканью. Перемешивание производится в течение 120 с. Затем смеситель останавливается для снятия налипшей на стенки смеси (90 с). Перемешивание продолжается еще в течение 60 с. Общее время перемешивания смеси с момента затворения водой должно быть не менее 3 мин без учета времени остановки смесителя.

Шпатлевание стыков осуществляют в помещении с постоянными температурно-влажностными условиями при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности $55 \pm 5\%$.

При шпатлевании стыка без использования армирующей ленты стык заполняют шпатлевкой, после чего выравнивают ее вдоль линии стыка с помощью шпателя, перекрывающего всю область стыка.

При шпатлевании стыка с применением армирующей ленты стык заполняют шпатлевкой, выравнивают ее вдоль линии стыка с помощью шпателя, перекрывающего всю область стыка, укладывают армирующую ленту и прижимают к слою шпатлевки широким шпателем, после чего наносят накрывочный слой шпатлевки. Схема образца приведена на рис. 3.

Для каждого испытания изготавливают серию из трех образцов. Перед испытанием образцы хранят в течение 7 сут со дня изготовления в помещении с постоянными температурно-влажностными условиями при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности $55 \pm 5\%$.

Образец помещают на нижние опоры лицевой (зашпатлеванной) стороной вниз так, чтобы стык приходился на середину пролета испытательной машины (рис. 4). Расстояние между нижними опорами составляет 350 мм.

Опоры и деталь, передающая нагрузку, в месте соприкосновения с образцом должны иметь цилиндрическую форму радиусом от 5 до 10 мм; длина опор и детали должна быть не менее ширины образца.

Испытание образцов на изгиб производят согласно следующим параметрам: преднагрузка 1 Н; скорость преднагрузки 10 мм/мин; скорость нагрузки при проведении испытания 2 мм/мин.

Образец нагружают до разрушения стыка, при этом записывают график зависимости нагрузки от деформации (диаграмму деформации).

По полученной диаграмме деформации определяют параметры прочности стыка ГСП. При этом за момент образования первой трещины принимают первую точку излома на диаграмме деформации (рис. 5 и 6).

За прогиб стыка ГСП в момент образования первой трещины, нагрузку в момент образования первой трещины и нагрузку при прогибе 1 мм принимают среднее арифметическое значение результатов испытаний шести образцов. Результат вычисления округляют до 0,1 мм для прогиба и до 1 Н для нагрузки.

Результаты испытания, отличающиеся от среднеарифметического значения более чем на 20%, следует исключить и рассчитать среднеарифметическое значение для оставшихся результатов. Если число оставшихся результатов составляет менее трех, то испытания

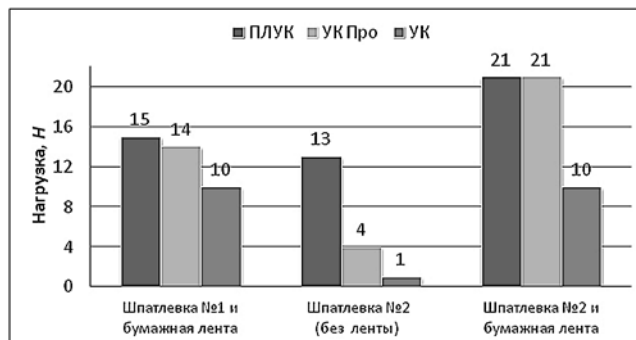


Рис. 8. Нагрузка в момент образования первой трещины

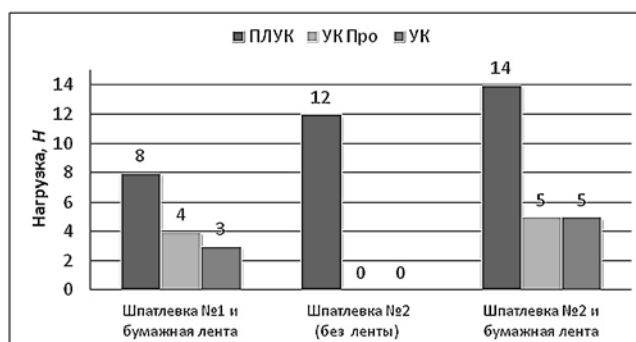


Рис. 9. Нагрузка при прогибе 1 мм

считаются выполненными неудовлетворительно, а их результаты – недействительными.

Считается, что испытуемый стык ГСП прошел испытание, если значение прогиба образца в момент образования первой трещины составляет более 1 мм.

Полученные результаты приведены на рис. 7–9.

Прогиб в момент образования первой трещины является основным параметром оценки прочности стыков ГСП. Согласно предлагаемой методике его значение должно превышать 1 мм, и чем оно выше, тем более устойчив стык к трещинообразованию. По полученным данным прогиб всех стыков, обработанных с применением бумажной армирующей ленты, соответствует требуемому значению. Без армирующей ленты требуемой прочности стыка можно добиться только при условии использования ГСП с кромкой ПЛУК. Следует отметить выраженную тенденцию к изменению значения прогиба в момент образования первой трещины в зависимости от типа кромки ГСП. Оно снижается в следующей последовательности: ПЛУК > УК Про > УК. Разница в значениях прогиба для различного типа кромок объясняется характером заполнения и распределения шпатлевки по сечению стыка (рис. 1), что сказывается на его сопротивлении трещинообразованию: чем больший объем стыка ГСП заполнен шпатлевкой, тем выше его трещиностойкость. Также можно отметить, что прогиб стыков, зашпатлеванных с применением шпатлевки № 1, выше, чем при использовании шпатлевки № 2, что можно объяснить более низкой эластичностью шпатлевки № 2.

Параметр «нагрузка в момент образования первой трещины» показывает величину силы, воздействие которой на стык ГСП приводит к появлению первого визуального дефекта на его поверхности. Более высокое значение данного параметра соответствует более прочному стыку. По полученным данным, тип кромки ГСП оказывает значительное влияние на прочность стыка. При шпатлевании стыка с применением бумажной ленты значения нагрузки в момент образования первой трещины для стыков ГСП с кромками ПЛУК и УК Про сопоставимы и превышают значение аналогичного параметра для стыка ГСП с кромкой УК. При шпатлева-

нии стыка без применения бумажной ленты значение нагрузки в момент образования первой трещины в зависимости от типа кромки ГСП снижается в следующей последовательности: ПЛУК > УК Про > УК.

Параметр «нагрузка при прогибе 1 мм» показывает величину силы, действующей на стык ГСП при создании в нем максимально допустимого прогиба, равного 1 мм на 350 мм конструкции. Большее значение данного параметра соответствует более прочному стыку. По полученным данным, максимальными значениями нагрузки при прогибе 1 мм обладают стыки ГСП с кромкой ПЛУК, значения аналогичного параметра для стыков ГСП с кромками УК Про и УК сопоставимы и в 2–2,8 раза ниже, чем с ПЛУК. Для стыков ГСП с кромками УК Про и УК, заделанных без применения армирующей ленты, значение нагрузки при прогибе 1 мм равно нулю.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы и дать рекомендации:

1. В качестве основного критерия оценки стойкости зашпатлеванного стыкового соединения гипсокартонных листов к трещинообразованию целесообразно принимать значение прогиба в момент образования первой трещины. По результатам экспериментальных исследований установлено минимально допустимое значение прогиба, равное 1 мм для стыкового соединения гипсокартонных листов (образец длиной 350 мм), при котором не допускается образование трещин на поверхности стыка.

2. Использование армирующей ленты обеспечивает минимально допустимое значение прогиба, равное 1 мм, до момента образования первой трещины, для всех стыков ГСП с различными типами кромок и видами шпатлевок. Различие в значениях прогиба при применении различных типов кромок связано с разной площадью адгезионной поверхности в области стыка и характером заполнения и распределения шпатлевки по сечению стыка, что влияет на стойкость зашпатлеванного стыкового соединения гипсокартонных листов к трещинообразованию.

3. Требуемое значение нормативного показателя стойкости к трещинообразованию без армирующей ленты обеспечивается только в комбинации кромка ПЛУК + шпатлевка № 2. ГСП с другими кромками и шпатлевками без армирующей ленты применять не рекомендуется.

4. Экспериментальные исследования проводились в стандартных температурно-влажностных условиях (при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности $55 \pm 5\%$). При изменении температурно-влажностного режима в условиях строительной площадки значение

минимального прогиба до момента образования первой трещины может существенно отличаться от значений, полученных в нормальных условиях. При этом стыки ГСП с большим превышением минимально допустимого значения прогиба до момента образования первой трещины в нормальных условиях будут обеспечивать более высокую стойкость к трещинообразованию при изменении температурно-влажностного режима.

Список литературы / References

1. Пустовгар А.П. Опыт применения гипсовых вяжущих при возведении зданий // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 81–85.
1. Pustovgar A.P. Experience in application of gypsum binders in construction. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 81–85. (In Russian).
2. Karni J., Karni E. Gypsum in construction: origin and properties. *Materials and Structures*. 1995. Vol. 28, pp. 92–100.
3. Holcroft N., Shea A. Heat of Sorption and Moisture Buffering Properties of Building Insulation Materials. *InCIEC 2013 International Civil and Infrastructure Engineering Conference*. Kuching, Malaysia. 2014, pp. 649–661.
4. Пустовгар А.П., Гагулаев А.В. Теплофизические характеристики ограждающих конструкций из модифицированного гипсопобетона // *Строительные материалы*. 2008. № 8. С. 34–37.
4. Pustovgar A.P., Gagulaev A.V. Thermophysical parameters of enclosing structures with modified foam gypsum concrete. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 8, pp. 34–37. (In Russian).
5. Gypsum Association 2015. Using Gypsum Board for Walls and Ceilings. <http://www.gypsum.org/technical/using-gypsum-board-for-walls-and-ceilings/using-gypsum-board-for-walls-and-ceilings> (date of access 27.04.2015).
6. Burgard D. What's the Difference: Paper and Fiberglass Mesh Drywall Tape. *Fine Homebuilding*. 2012. Issue 232, pp. 36.
7. Arsenault P.J. Acoustical Control with Gypsum Board // Architectural Record's Continuing Education Centre. 2012. <http://continuingeducation.construction.com/article.php?L=140&C=958> (date of access 27.04.2015).
8. Kolarkar P., Mahendran M. Experimental studies of gypsum plasterboards and composite panels under fire conditions. *Fire and Materials*. 2014. Vol. 38, pp. 13–35.
9. Frangi A., Schleifer V., Fontana M., Hugi E. Experimental and numerical analysis of gypsum plasterboards in fire. *Fire Technology*. 2010. Vol. 46, pp. 149–167.

Оставайтесь
с нами!

Уважаемые коллеги!

Оформить подписку на журнал «Строительные материалы» можно всегда.

Для подписки через редакцию необходимо прислать заявку в произвольной форме по тел./факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36 или по эл. почте: mail@rifsm.ru. В заявке надо указать название организации (для выставления счета), юридический и почтовый адреса, телефон и контактное лицо.

На почте подписку можно оформить

По объединенному каталогу «Пресса России» индекс **70886**

По каталогу агентства «Роспечать» индекс **79809**

П.П. ПАСТУШКОВ¹, канд. техн. наук (pavel-one@mail.ru); А.В. ЖЕРЕБЦОВ², нач. техн. отдела

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

² ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб» (191014, г. Санкт-Петербург, ул. Маяковского, 31)

Об эффективности применения экструдированного пенополистирола в ограждающих конструкциях первых и цокольных этажей

Описаны теплотехнические и микологические проблемы, возникающие при эксплуатации первых и цокольных этажей здания. Рассматривается эффективность применения экструдированного пенополистирола в ограждающих конструкциях с целью решения описанных проблем.

Проведены численные расчеты нестационарного влажностного режима ограждающих конструкций с использованием экструдированного пенополистирола в климатических условиях различных городов РФ. Рассчитаны значения эксплуатационной влажности в слое экструдированного пенополистирола для различных вариантов конструкций. Представлено сравнение по значениям эксплуатационной влажности для аналогичных конструкций с минеральной ватой и формованным пенополистиролом (пенопластом). Описана зависимость теплопроводности от эксплуатационной влажности. Исследовано влияние влажностного состояния на показатели энергоэффективности теплоизоляционных материалов. Изучен вопрос утраты биостойкости увлажненных слоев теплоизоляции.

Ключевые слова: влажностный режим, теплоизоляционные материалы, эксплуатационная влажность, энергоэффективность, биостойкость.

P.P. PASTUSHKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering)(pavel-one@mail.ru); A.V. ZHEREBTSOV², Head of Technical Department

¹ Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivny Passage, 127238, Moscow Russian Federation)

² ООО «PENOPLEX» SPb (31, Mayakovskogo Street, 191014, Saint-Petersburg, Russian Federation)

About Efficiency of Using Extruded Foam Polystyrene in Enclosing Structures of First and Socle Floors

Thermal and mycological problems arising in the course of operation of the first and socle floors of buildings are described. The efficiency of using the extruded foam polystyrene in enclosing structures with the purpose to solve problems described is analyzed. Numerical calculations of non-stationary humidity conditions of enclosing structures with the use of extruded foam polystyrene under climatic conditions of various cities of the Russian Federation have been done. Values of the operational humidity in the layer of extruded foam polystyrene for various variants of structures have been calculated. A comparison on the values of operational humidity for analogous structures with the mineral wool and molded foam polystyrene (foam plastic) is presented. The dependence of heat conductivity on the operational humidity is described. The influence of humidity conditions on the values of energy efficiency of heat insulating materials has been investigated. The issue of loss of biological stability of damp layers of heat insulation has been studied.

Keywords: humidity conditions, heat insulating materials, operational humidity, energy efficiency, bio-stability.

При возведении здания особое внимание всегда уделяется прочности и надежности его заглубленных конструкций, которым приходится не только выдерживать массу всей постройки, но и постоянно подвергаться воздействию негативных факторов окружающей среды: давлению грунта, действию грунтовых вод и сил морозного пучения. Однако, выбрав надежные и высокопрочные материалы для фундамента дома, при проектировании цокольной части и первых этажей здания стоит учитывать, что и они подвергаются экстремальным нагрузкам на протяжении всего срока эксплуатации.

Кроме основных механизмов увлажнения — сезонного движения влаги внутри конструкции, сорбции водяного пара из наружного воздуха, увлажнения косыми дождями конструкции первых и цокольных этажей подвергаются и другим влажностным воздействиям — капиллярному всасыванию воды из грунта, технологической мойке, длительному погружению в воду вследствие подтопления здания или затопления подвала и т. д. Ограждающие конструкции первых этажей даже без учета влажностных воздействий требуют дополнительной теплозащиты, так как через них повышена инфильтрация воздуха по сравнению с верхними этажами здания из-за большего перепада давления. При этом повышенная эксплуатационная влажность теплоизоляционного слоя может привести не только к ухудшению теплозащитных свойств, но и к развитию плесневых грибов в процессе эксплуатации.

Для исключения этих проблем необходимо правильно подходить к выбору теплоизоляционного материала

для первых и цокольных этажей. Одним из решений, встречающихся в практике строительства, является применение экструдированного пенополистирола как материала с минимальным водопоглощением [1]. Расчету эффективности такого решения с различных точек зрения посвящена настоящая статья.

В лаборатории строительной теплофизики НИИСФ РААСН была проведена серия расчетов влажностного режима четырех типов ограждающих конструкций первых и цокольных этажей с применением экструдированного пенополистирола. Расчеты проводились по нестационарной методике согласно ГОСТ 32494–2013 «Здания и сооружения. Метод математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций» для климатических условий шести городов РФ.

Рассмотренные конструкции стен первых или цокольных этажей зданий представляют собой системы со скрепленной теплоизоляцией (СФТК) в виде слоя экструдированного пенополистирола (XPS), смонтированного на основании из: монолитного бетона (конструкция № 1), пустотелого кирпича (конструкция № 2), автоклавного газобетона (конструкция № 3) соответственно, а также стены из монолитного бетона (конструкция № 4) и слоя XPS, облицованного кирпичом [2]. При расчетах принималось, что температура и влажность в помещении остаются постоянными в течение года и согласно ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» равны +20°C и 55% соответственно. Температура

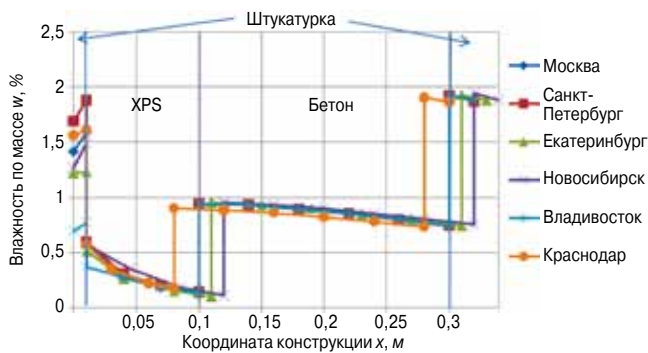


Рис. 1. Распределение влажности внутри конструкции № 1

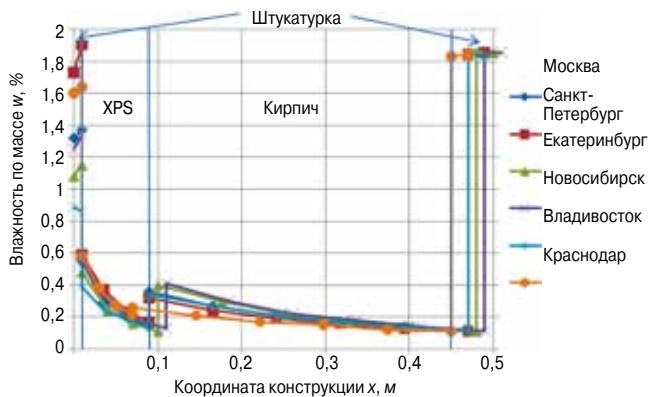


Рис. 2. Распределение влажности внутри конструкции № 2

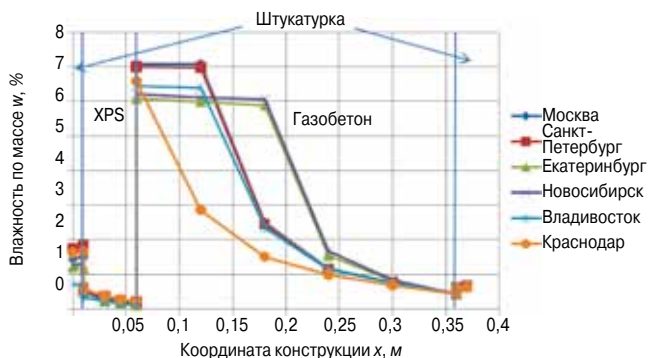


Рис. 3. Распределение влажности внутри конструкции № 3

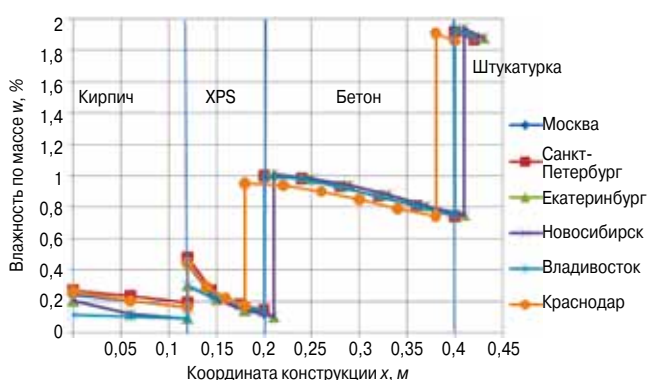


Рис. 4. Распределение влажности внутри конструкции № 4

и относительная влажность воздуха снаружи конструкции задавались в соответствии с данными из СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция

СНиП 23-01–99* «Строительная климатология» [3].

На рис. 1–4 представлены графики распределения влажности внутри конструкций после трех лет эксплуатации зданий. Графики приведены после периода наибольшего влагонакопления в конструкции (для условий различных городов эти периоды разные, от конца января до начала марта).

По результатам расчетов нестационарного температурно-влажностного режима рассмотренных вариантов конструкций были вычислены значения эксплуатационной влажности экструдированного пенополистирола для климатических условий выбранных городов строительства. В табл. 1 представлены значения эксплуатационной влажности (по массе) XPS после периода наибольшего влагонакопления в годичном цикле.

Для анализа того, насколько обоснованно с точки зрения температурно-влажностного режима применение экструдированного пенополистирола в ограждающих конструкциях первых и цокольных этажей, было также проведено сравнение с вариантами утепления минеральной ватой и формованным пенополистиролом (пенопластом) на примере конструкции № 3 (штукатурного фасада со скрепленной теплоизоляцией на основании из газобетона) [4]. Распределения влажности приведены в работе [5]. В табл. 2 представлены значения эксплуатационной влажности рассмотренных теплоизоляционных материалов после периода наибольшего влагонакопления на третий год эксплуатации здания при различных климатических условиях строительства.

Полученные значения эксплуатационной влажности позволяют точно определить расчетную теплопроводность утеплителя для каждого климатического условия по формуле:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda \cdot w_3 = \lambda_0 \left(1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot w_3 \right) = \lambda_0 (1 + \eta \cdot w_3), \quad (1)$$

где λ_0 — теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·°С); $\Delta\lambda$ — приращение теплопроводности на 1% влажности, Вт/(м·°С·%); w_3 — эксплуатационная влажность материала по массе, %; η — коэффициент теплотехнического качества*, 1/%.

Экспериментально установлено, что значение коэффициента теплотехнического качества приблизительно постоянно для каждого вида материалов [1]. Согласно средним данным лабораторных исследований НИИСФ РААСН коэффициент теплотехнического качества для экструдированного пенополистирола (XPS) составляет 0,035 (1/%); для минеральной ваты — 0,04 (1/%); для формованного пенополистирола (пенопласта) — 0,03 (1/%).

Таким образом, зная значение теплопроводности в сухом состоянии и подставляя рассчитанные значения эксплуатационной влажности, по формуле (1) можно вычислить, насколько увеличится теплопроводность теплоизоляционного материала (или уменьшится критерий энергоэффективности [6]) в различных климатических условиях. Согласно значениям эксплуатационной влажности из табл. 2 составлена табл. 3 со значениями приращений теплопроводности теплоизоляционных материалов после периода наибольшего влагонакопления (конец зимы) при различных климатических условиях строительства.

Как отмечалось выше, ограждающие конструкции первых и цокольных этажей относятся к наиболее уязвимым с точки зрения теплозащиты и защиты от переувлажнения. Ограждающие конструкции с применением экструдированного пенополистирола отличаются ма-

* По определению д-ра техн. наук, проф. В.Г. Гагарина.

Таблица 1

Эксплуатационная влажность XPS после периода наибольшего влагонакопления

Конструкция	Эксплуатационная влажность по массе w_3 , %					
	Москва	Санкт-Петербург	Екатеринбург	Новосибирск	Владивосток	Краснодар
Конструкция № 1	0,29	0,31	0,24	0,26	0,3	0,33
Конструкция № 2	0,29	0,34	0,24	0,25	0,29	0,36
Конструкция № 3	0,32	0,35	0,24	0,28	0,23	0,38
Конструкция № 4	0,24	0,27	0,21	0,19	0,26	0,28

Таблица 2

Эксплуатационная влажность утеплителей после периода наибольшего влагонакопления

Материал	Эксплуатационная влажность w_3 , %					
	Москва	Санкт-Петербург	Екатеринбург	Новосибирск	Владивосток	Краснодар
Минеральная вата	0,79	0,87	0,8	1,11	0,53	0,75
Пенопласт	2,59	2,62	3,58	4,49	2,3	1,82
Экструдированный пенополистирол	0,32	0,35	0,24	0,28	0,23	0,38

Таблица 3

Приращение теплопроводности (уменьшение критерия энергоэффективности) в конце зимы

Материал	Приращение теплопроводности (уменьшение критерия энергоэффективности), %					
	Москва	Санкт-Петербург	Екатеринбург	Новосибирск	Владивосток	Краснодар
Минеральная вата	3,16	3,48	3,2	4,44	2,12	3
Пенопласт	7,77	7,86	10,74	13,45	6,9	5,46
Экструдированный пенополистирол	1,12	1,23	0,84	0,98	0,8	1,33

лыми значениями эксплуатационной влажности слоя утеплителя – менее 0,4% и соответственно малыми приращениями теплопроводности в зимний период – около 1%. Эти значения существенно меньше, чем в случаях применения других типов теплоизоляционных материалов. Данные факторы подтверждают обоснованность с точки зрения тепловой защиты здания конструктивных решений первых и цокольных этажей зданий с применением экструдированного пенополистирола.

Как отмечалось в предисловии к статье, переувлажнение конструкций первых этажей также может привести к проблемам, связанным с утратой должной биостойкости слоем теплоизоляции фасадной системы. В микологическом исследовательском центре ООО «Микосфера» была определена устойчивость ватных утеплителей к поражению микроскопическими (плесневыми) грибами в соответствии с ГОСТ 9.049–91 «Единая система защиты от коррозии и старения. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов». Утеплитель заражали суспензией грибов в соответствующих средах и выдерживали в условиях высокой относительной влажности (соизмеримой с эксплуатационной влажностью), оптимальных для их развития. Инкубировали при температуре 22–25°C в течение 30 сут. Через 30 сут (срок промежуточного осмотра) образцы осматривали и оценивали грибостойкость по интенсивности развития грибов. По методу 2 ГОСТ 9.049–91 материал заражали спорами плесневых грибов в водном растворе минеральных солей. Плесневые грибы растут за счет солей минеральной среды и питательных веществ, содержащихся в материале. Метод имитирует загрязнение материала минеральными веществами, т. е. частично воспроизводи-

ли возможный состав влаги, поступающей в слой теплоизоляции.

В результате проведенных работ можно сделать вывод, что материал содержит питательные вещества или загрязнен в такой степени, что это способствует значительному развитию грибов. Присутствие минеральных и/или органических веществ, поступающих с влажной средой в невлажностойкие утеплители, стимулирует развитие грибов в конструкции, т. е. невлажностойкие утеплители не обладают фунгицидностью, достаточной для применения в фасадных системах цокольных и первых этажей. В дальнейшем такое естественное биологическое воздействие может привести к биокоррозии всей конструкции. Но если даже биокоррозия не появляется, то после подобного контакта с грибными колониями материал подлежит дальнейшей эксплуатации после промывки и очистки. Следовательно, эффективные утеплители, имеющие свойство водопоглощения, являются потенциальной матрицей для развития вредоносных микроорганизмов-деструкторов в отличие от экструдированного пенополистирола с практически нулевым водопоглощением.

Комплекс проведенных исследований с точки зрения строительной теплофизики и микологического анализа доказывает высокую эффективность применения экструдированного пенополистирола в ограждающих конструкциях цокольных и первых этажей зданий.

Список литературы

1. Пастушков П.П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизо-

ляционных материалов. Дисс... канд. техн. наук. Москва, 2013. 169 с.

- Гагарин В.Г., Козлов В.В., Крышов С.И., Пономарев О.И. Теплозащита наружных стен зданий с облицовкой из кирпичной кладки // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2009. № 5. С. 48–56.
- Пастушков П.П., Гринфельд Г.И., Павленко Н.В., Беспалов А.Е., Коркина А.В. Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона в различных климатических зонах строительства // *Вестник МГСУ*. 2015. № 2. С. 60–69.
- Гагарин В.Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 5. С. 297–305.
- Пастушков П.П., Лушин К.И., Павленко Н.В. Отсутствие проблемы выпадения конденсата на внутренней поверхности стен со скрепленной теплоизоляцией // *Жилищное строительство*. 2014. № 6. С. 42–44.
- Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 7–9.

References

- Pastushkov P.P. Influence of humidity conditions walling with external plaster layer on the energy efficiency of thermal insulation materials. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2013. 169 p. (In Russian).
- Gagarin V.G., Kozlov V.V., Kryshov S.I., Ponomarev O.I. Thermal protection of external walls of buildings with facing brickwork. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2009. No. 5, pp. 48–56. (In Russian).
- Pastushkov P.P., Grinfel'd G.I., Pavlenko N.V., Bespalov A.E., Korkina A.V. Calculated certain operating humidity of AAC in different climatic zones of construction. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 2, pp. 60–69. (In Russian).
- Gagarin V.G. Thermal and physical problems of modern wall walling multi-storey buildings. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2009. No. 5, pp. 297–305. (In Russian).
- Pastushkov P.P., Lushin K.I., Pavlenko N.V. No problem of condensation on the interior surface of the walls with bonded insulation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 42–44. (In Russian).
- Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Quantitative evaluation of energy saving measures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 7–9. (In Russian).

НОВОСТИ

Первый в России завод Armstrong запущен в Татарстане

9 июня 2015 г. заработал завод по производству навесных потолочных плит из минерального волокна американской компании Armstrong World Industries в особой экономической зоне «Алабуга», Республика Татарстан. В торжественной церемонии приняли участие временно исполняющий обязанности Президента Республики Татарстан Р.Н. Минниханов и президент компании Мэтт Эспе.

Производственная мощность завода – свыше 20 млн м² потолочных плит в год. По словам представителей компании Armstrong, общая сумма инвестиций в строительство предприятия составила 3,6 млрд р. Основная цель проекта – импортозамещение в области стройматериалов: до сих пор выпускаемая заводом продукция завозилась в Россию из-за рубежа. Теперь же ее планируется реализовывать на всей территории России, а также в Беларуси и Казахстане.

Потолочные плиты состоят из минеральной ваты, глины, перлита, целлюлозы и крахмала. Все отходы производства подлежат вторичной переработке и используются для выпуска готовой продукции. Потребляемая вода проходит через собственные водоочистные сооружения завода, после чего повторно используется в производстве.

Рынок России и стран СНГ, по расчетам маркетологов, составляет около 40 миллионов квадратных метров потолочных плит. Пока в штате завода 136 работников. После выхода на полную мощность численность персонала составит 200 человек.

Компания Armstrong и ранее поставляла в республику потолочные плиты при строительстве объектов Универсиады и ряда объектов здравоохранения.



По материалам пресс-службы
Президента Республики Татарстан

В.Е. ДАНИЛОВ, инженер, А.М. АЙЗЕНШТАДТ, д-р хим. наук (a.isenshtadt@narfu.ru),
М.А. ФРОЛОВА, канд. хим. наук, М.А. ТУРОБОВА, студентка, А.М. КАРЕЛЬСКИЙ, студент
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова (163002, Архангельск, наб. Северной Двины, 22)

Получение органоминерального наполнителя на основе древесной коры и базальта для разработки композиционных материалов

Рассмотрена возможность и основы технологии армирования древесной коры базальтом для получения наполнителя конструкционной теплоизоляции. В качестве наполнителя предлагается использовать кору сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L), полученную из отвала лесоперерабатывающего предприятия, и отсев базальта – отход производства минеральной ваты. Подобраны оптимальные размерные характеристики исходных материалов. Определены истинная плотность, коэффициент и время набухания, оптимальный состав опытных проб. Сделаны выводы относительно влияния времени диспергирования древесной коры на ее поровую структуру. Получены данные о поверхности, размерах и количестве пор в сухой измельченной коре до и после процесса армирования наноразмерным базальтом. Разработаны основы технологии, оценка качества и эффективный способ армирования коры нанодисперсным базальтом для последующего использования в качестве наполнителя конструкционной теплоизоляции.

Ключевые слова: органоминеральный наполнитель, композиционный материал, конструкционная теплоизоляция, древесная кора, армирование древесной матрицы.

V.E. DANILOV, Engineer, (v.danilov@narfu.ru), A.M. AYZENSTADT, Doctor of Sciences (Chemistry) (a.isenshtadt@narfu.ru),
M.A. FROLOVA, Candidate of Sciences (Chemistry), M.A. TUROBOVA, Student, A.M. KARELSKIY, Student
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (22, Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation)

Producing of Organomineral Filler on the Basis of Wooden Bark and Basalt for Development of Composite Materials

Possibility and basis of technology of reinforcing of wooden bark by basalt for obtaining a filler for structural heat insulation are considered. As a filler, it is proposed to use the bark of Scots pine (*Pinus silvestris* L), obtained from the dump of the lumber factory, and basalt sifting – waste of mineral wool production. Optimal dimensional characteristics of raw materials were selected. True density, coefficient and time of swelling, optimal composition of test samples were defined. Conclusions regarding the influence of time of wooden bark dispersion on its porous structure were drawn. Data about surface, sizes and amount of pores in the dry milled bark before and after the process of reinforcing by nano-sized particles of basalt were obtained. Fundamentals of technology, quality control and effective ways of reinforcing the bark by nano-sized particles of basalt for subsequent using as the filler for structural heat insulation were developed.

Keywords: organomineral filler, composite material, structural heat insulation, wooden bark, reinforcing of wood matrix.

В настоящее время фирмы «Sorbilite», «Strandex», «Timber Tech» (США), «Polima» (Швеция), «Bizon» и «Stoga» (Германия), «Fasalex» (Австрия) занимаются разработкой собственных технологий и производством разнообразных древесных композиционных материалов (ДКМ) и изделий на основе древесных отходов и связующих, в качестве которых используются термореактивные смолы или термопласты. В России по аналогии с ячеистыми блоками из бетона, панелями из полипропилена и поликарбоната была разработана технология изготовления ячеистых плит из малоиспользуемых отходов древесины – опила, мелкой стружки различных древесных пород с включениями коры [1, 2].

До настоящего времени не решена задача получения экологичной конструкционной теплоизоляции на основе древесных отходов, обладающей повышенными прочностными, теплофизическими и пожарно-безопасными техническими свойствами, для использования в условиях знакопеременной температуры, характерной для условий Севера. Основная причина в том, что в большинстве строительных композиционных материалов наполнители используются в первую очередь с целью снижения стоимости конечного продукта за счет замещения более дорогостоящего вяжущего, в то время как их влияние на модуль упругости и прочность является фактором второстепенным. Для того чтобы исправить сложившуюся ситуацию, необходимо правильно использовать природные свойства наполнителя и целенаправленно подготавливать его перед смешиванием с вяжущим. Конечные характеристики композиционного строительного материала во многом зависят от количе-

ства, степени дисперсности, удельной поверхности, плотности, теплопроводности и горючести наполнителя [2]. В работе [3] приводится информация о том, что при уменьшении размера частиц коры увеличивается прочность при изгибе изоляционных плит, изготовленных из нее, на 13%. На основании анализа литературных данных авторы высказали предположение, что наилучшие эстетические и прочностные показатели будут получены при максимальной доле фракций с размером частиц 0,5–1 мм. Таким образом, для повышения прочностных, теплофизических и пожарно-технических свойств композита следует улучшать свойства наполнителя, в том числе и путем его армирования.

Принципиальная возможность армирования древесины высокодисперсным базальтом показана в работах [4–6], в результате улучшаются ее пожарно-технические и физико-механические свойства. Наибольший интерес в плане армирования вызывает кора сосны как наиболее распространенная и пригодная для изготовления строительных материалов древесная порода в России [7]. Кроме того, на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях она либо вывозится на свалки, что приводит к крайне нежелательным последствиям (пожароопасности, загрязнению окружающей среды), либо сжигается, что малоэффективно. Утилизация коры с целью использования в качестве наполнителя – одно из возможных решений задачи комплексного использования древесного сырья [8].

Одним из основных недостатков использования коры в качестве наполнителя является наличие водорастворимых экстрактивных веществ, которые негатив-

но влияют на процесс твердения цемента [9]. Однако эта задача решается за счет предварительного вымачивания коры в водной среде.

Среди различных армирующих компонентов наиболее оптимальным, по мнению авторов, является базальт, поскольку он имеет следующие физические свойства: высокие прочность на растяжение и модуль упругости, устойчивость к температурным воздействиям, агрессивным средам и коррозии. Кроме того, у базальта невысокая стоимость [10].

Цель исследований, представленных в данной статье, разработка основ технологии армирования коры наноразмерным базальтом; получение опытных образцов армированной базальтом коры.

В качестве объекта исследования была выбрана кора сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.). Кора была отобрана из отвала лесоперерабатывающего предприятия в сентябре 2014 г. Бревна сосны были окорены на роторных станках летом того же года и свалены в один отвал. Кора была равномерно отобрана по периметру отвала с глубины 30 см для того, чтобы избежать пограничных эффектов на разделе фаз кора–воздух. В качестве армирующего компонента был взят отсев базальта месторождения Мяндуха (Архангельская область, Россия), полученный при дозировании и просеивании сырья в шихтовом отделении завода по производству минеральной ваты. Размер частиц базальта находился в пределах от 1 до 20 мм, но присутствовали и более мелкие

частицы, в том числе в большом количестве пылевидная составляющая.

Кору для исследования предварительно промывали, а затем замачивали в дистиллированной воде при 20°C на сутки. После чего ее высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу при 105°C в течение 6 ч. Подготовленные образцы предварительно измельчали до размера 5–30 мм.

Данные о поверхности, размерах и количестве пор в сухой измельченной коре получали на электронном растровом микроскопе Zeiss SIGMA VP.

Необходимые размеры частиц коры и базальта получали в результате механического помола на планетарной шаровой мельнице РМ 100. Диспергирование коры проводили сухим способом. Размеры частиц определяли гранулометрическим ситовым анализом. Диспергирование базальта выполняли мокрым способом. Размеры частиц определяли на анализаторе Delsa Nano Series Zeta Potential and Submicron Particle Size Analyzers (Delsa Nano). Оптимальный режим измельчения коры и базальта подбирали опытным путем (изменяли вариативные режимные параметры: количество размоленных тел диаметром 2 см, скорость вращения и время работы мельницы).

Для дальнейших экспериментов использовали опытные образцы коры фракции 0,5–1 мм и высокодисперсного базальта – 120±50 нм. Данные фракции были охарактеризованы по величине истинной плотности пикнометрическим методом.

Таблица 1

Режим помола	Частный остаток на сите, %								
	2	1,25	1	0,63	0,5	0,315	0,25	0,14	дно
23Ш 420 об/мин 1 мин	2,84	10,11	4,12	17,19	6,9	10,96	7,06	13,21	27,6
23Ш 420 об/мин 2 мин	0	0,06	0,02	0,8	2	10,95	11,19	32,97	42,02
23Ш 420 об/мин 5 мин	0	0	0	0	0,26	0,82	10,31	27,83	60,79
23Ш 360 об/мин 1 мин	20,96	21,06	2,48	16,69	5,36	9,22	4,3	7,37	12,56
23Ш 360 об/мин 2 мин	1,16	4,4	2,84	13,52	6,85	11,48	7,37	18,59	33,79
23Ш 360 об/мин 5 мин	Большая часть пылевидная по аналогии с 23Ш 420 об/мин, 5 мин								
23Ш 300 об/мин 1 мин	Наличие неперемолотых кусков коры								
23Ш 300 об/мин 2 мин	16,31	19,74	2,34	17,8	5,24	10,38	4,69	10,02	13,49
23Ш 300 об/мин 5 мин	3,34	2,13	1,07	2,34	4	11,97	9,6	28,14	37,42
18Ш 420 об/мин 1 мин	2,44	7,39	3,66	15,13	6,12	11,3	7,42	17,75	28,8
18Ш 420 об/мин 2 мин	Большая часть пылевидная по аналогии с 23Ш 420 об/мин, 2 мин								
18Ш 420 об/мин 5 мин	Большая часть пылевидная по аналогии с 23Ш 420 об/мин, 5 мин								
18Ш 360 об/мин 1 мин	Наличие неперемолотых кусков коры								
18Ш 360 об/мин 2 мин	2,74	7,09	3,68	15,2	6,81	11,02	7,55	18,26	27,66
18Ш 360 об/мин 5 мин	Большая часть пылевидная по аналогии с 23Ш 420 об/мин, 5 мин								
23Ш 360 об/мин 1,5 мин	1,49	4,57	2,64	13,57	5,97	13,61	8,37	30,32	19,46

Таблица 2

Режим помола	Частный остаток более крупной фракции (>1 мм), %	Частный остаток требуемой фракции (0,5–1 мм), %	Частный остаток более мелкой фракции (0,14–0,5 мм), %	Пылевидная фракция (<0,14 мм), %
23Ш 420 об/мин 1 мин	17,07	24,09	31,24	27,6
23Ш 360 об/мин 1 мин	44,5	22,05	20,9	12,56
23Ш 360 об/мин 2 мин	8,4	20,37	37,44	33,79
23Ш 300 об/мин 2 мин	38,38	23,04	25,09	13,49
18Ш 420 об/мин 1 мин	13,49	21,25	36,47	28,8
18Ш 360 об/мин 2 мин	13,51	22,01	36,82	27,66
23Ш 360 об/мин 1,5 мин	8,7	19,54	52,29	19,46

Армирование коры наночастицами базальта происходит в воде, поэтому авторами был проведен эксперимент по определению величины дзета-потенциала высокодисперсных частиц базальта и коры в нейтральной, кислой и щелочной средах на анализаторе Delsa Nano. Для этого 1 г исследуемого вещества, взятого на технических весах, помещали в мерный цилиндр и добавляли 100 мл дистиллированной воды, после чего тщательно перемешивали. Предварительно воду доводили до требуемого значения pH добавлением к ней разбавленных растворов HCl и NaOH. Приготовленную суспензию выдерживали в течение 5 мин, после чего проводили измерение величины дзета-потенциала частиц методом измерения скорости электрофореза на анализаторе Delsa Nano.

Для определения оптимального времени выдержки реакционной смеси проводили эксперимент: частицы ультрадисперсной коры размером 0,5–1 мм в количестве 2,5 г переносили в мерный цилиндр емкостью 15 мл и доводили объем смеси в цилиндре дистиллированной водой до 10 мл (предварительно воду выдерживали в термостате при 20±2°C). Затем

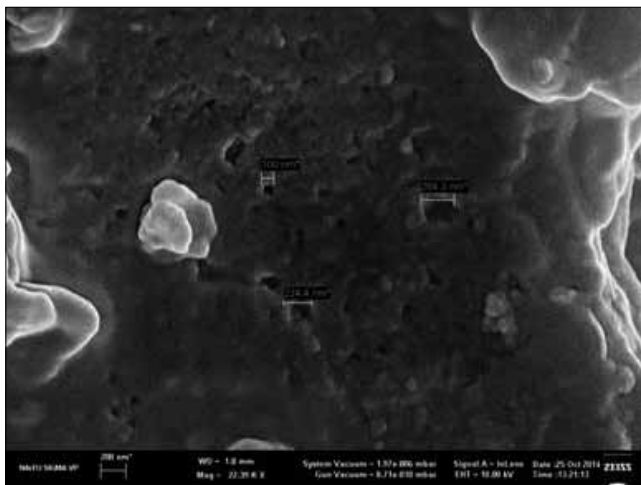


Рис. 1. Фотография порового пространства коры

в продолжение 30 с, путем интенсивного встряхивания цилиндра реакционную смесь перемешивали. После чего фиксировали изменение объема в цилиндре через равные промежутки времени, считая, что данный параметр характеризует процесс набухания анализируемой пробы.

Оптимальное соотношение коры и базальта определяли экспериментально. Для этого 1 г измельченного базальта помещали в мерный цилиндр и добавляли 100 мл дистиллированной воды, тщательно перемешивая. Приготовленную суспензию базальта выдерживали в течение 20 мин, после чего проводили анализ размера частиц на приборе Delsa Nano. Состав считали оптимизированным, когда поровая структура коры насыщалась частицами базальта и в исследуемой суспензии появились наноразмерные частицы горной породы. Для проверки данного предположения проведены эксперименты по определению истинной плотности армированной базальтом коры.

Армирование коры нанодисперсными частицами базальта проводили двумя способами. По первому частицы коры смешивали с седиментационно-устойчивым коллоидным раствором базальта; в результате поглощения воды кора разбухала, объем ее поровой структуры увеличивался и самопроизвольно заполнялся суспензией базальта. После насыщения поровой структуры коры коллоидным раствором базальта армированную базальтом древесную суспензию сушили до постоянной влажности в сушильных камерах. В результате происходило резкое уменьшение объема поровой структуры коры, что способствовало закреплению наночастиц базальта в поровой поверхности и на поверхности материала. Второй способ отличается тем, что частицы коры и базальта

предварительно смешивали в сухом виде, а затем уже к ним добавляли воду.

Опытные образцы армированной базальтом коры по первому и второму способу были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа SIGMA VP (Carl Zeiss).

По результатам исследования порового пространства сухой микродисперсной коры установлено, что большого количества полостей или пор в коре не наблюдается. Это связано с разрушением порового пространства при продолжительном диспергировании. Обнаружены небольшие полости, имеющие нанометровый размер (рис.1). Проведенное исследование позволило сделать вывод, что содержание пылевидной части фракций коры должно быть минимальным для сохранения ее поровой структуры.

Размерные характеристики частиц коры в образцах, полученных сухим диспергированием на планетарной шаровой мельнице на разных режимах помола, представлены в табл. 1. Оптимальные режимы помола с максимальным содержанием фракции коры 0,5–1 мм и минимальным – пылевидной приведены в табл. 2.

На основании определения удельной плотности опытных образцов получены следующие значения: кора – 1,15 г/см³; базальт – 2,7 г/см³, что хорошо согласуется с литературными данными.

Результаты эксперимента по определению величины дзета-потенциала высокодисперсных частиц коры и базальта представлены на рис. 2, которые показывают, что при значении pH от 7 до 7,5 в водной среде поверхность частиц базальта и коры имеет разноименный заряд. Следовательно, не возникает электростатический барьер, препятствующий интенсивному протеканию процесса армирования древесной матрицы наночастицами базальта.

На рис. 3 приведена зависимость коэффициента набухания от времени. Время полного набухания коры составляет 20 мин, при этом кора увеличивается в размере в 1,45 раза.

При соотношении 70 мас. % коры и 30 мас. % базальта наблюдается появление избытка наноразмерных частиц базальта, не проникающих в поровое пространство коры и не осаждающихся на ее поверхности, находящихся во взвешенном состоянии в суспензии.

По результатам определения истинной плотности опытных образцов армированной коры получены следующие значения: по первому способу – 1,32 г/см³; по второму способу – 1,38 г/см³. Полученные значения указывают, что второй способ армирования более эффективен. Электронная микроскопия армированной коры позволила установить наличие частиц базальта в образцах размером от 100 нм до 15 мкм (рис. 4, а, б).

В образце, армированном по первому способу, наиболее крупные частицы базальта находятся в трещинах

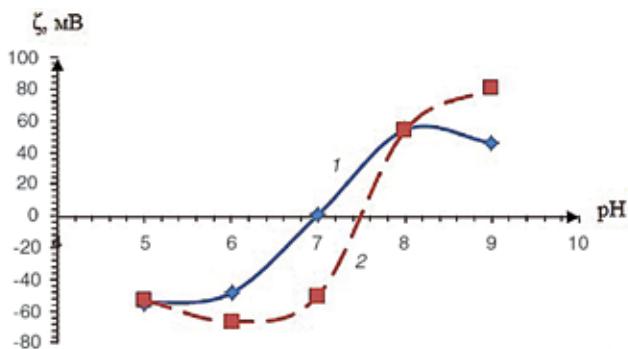


Рис. 2. Зависимость дзета-потенциала от pH среды (1 – кора; 2 – базальт)

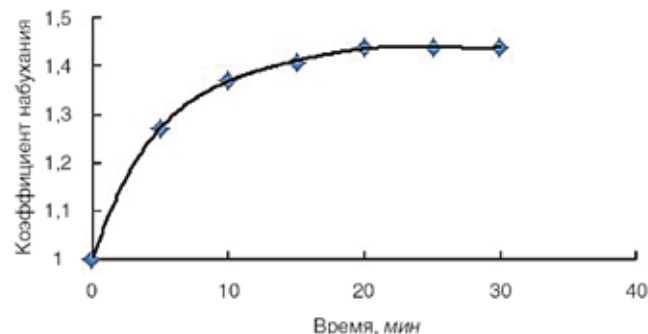


Рис. 3. Зависимость коэффициента набухания коры от времени

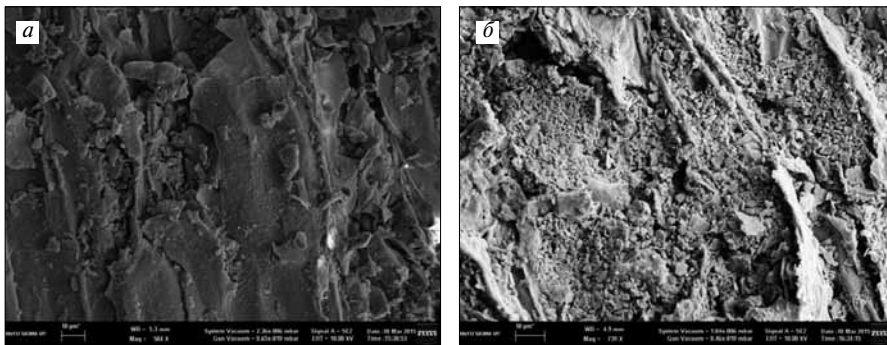


Рис. 4. Фотография поверхности коры, армированной по первому (а) и второму (б) способу

частиц коры, в разрушенных клетках. На поверхности коры и на гладких клеточных стенках базальт закрепился слабо и представлен в основном мелкими частицами. В образце, армированном по второму способу, распределение частиц на поверхности более равномерно. При визуальном осмотре видно, что частицы коры имеют сероватый оттенок, что связано с большим количеством базальта на поверхности.

Список литературы

1. Яцун И.В., Синегубова Е.С., Пяткова П.О. Ячеистые плиты из отходов древесины. *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды IX Международного евразийского симпозиума*. 23–25 сентября 2014 г. Екатеринбург. 2014. С. 115–117.
2. Коренькова С.Ф., Сидоренко Ю.В. Бинарные наполнители для строительных материалов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. № 6. С. 39–40.
3. Kain G., Barbu M. C., Teischinger A., Musso M. and Petutschnigg A. Substantial bark use as insulation material // *Forest Products Journal*. 2013. No. 62 (6), pp. 480–487.
4. Стенин А.А., Айзенштадт А.М., Шинкарук А.А., Махова Т.А. Формирование огнезащитных свойств строительных материалов из древесины с использованием высокодисперсного базальтового наполнителя // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 47–50.
5. Стенин А.А., Айзенштадт А.М., Шинкарук А.А., Демидов М.Л., Фролова М.А. Минеральный модификатор поверхности строительных материалов из древесины // *Строительные материалы*. 2014. № 10. С. 51–54.
6. Айзенштадт А.М., Махова Т.А., Фролова М.А., Тутыгин А.С., Стенин А.А., Попова М.А. Проектирование состава нано- и микроструктурированных строительных композиционных материалов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2012. № 10. С. 14–18.
7. Demidov M.L., Aisenstadt A.M. New approach in the creation of environmentally friendly building materials based on the highly dispersed mineral-reinforced wooden matrix // *Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety*. 2014. Vol. 8, pp. 146–151.
8. Цывин М.М. Использование древесной коры. М.: Лесная промышленность, 1973. 96 с.
9. Полищук А.И., Рубинская А.В. Химическая агрессивность заполнителя растительного происхождения по отношению к цементу // *Новые материалы и технологии в машиностроении: материалы XVI Международной научно-технической конференции*. 2012. http://science-bsea.narod.ru/2012/mashin_2012_16/polyshuk_xim.htm (дата обращения 15.05.2015).
10. Бабаев В.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В. Базальтовое волокно как компонент для микроармирования цементных композитов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2012. № 4. С. 58–61.

Выводы:

1. Показана принципиальная возможность самопроизвольного армирования частиц коры нанодисперсным базальтом.

2. Установлено, что частицы коры в воде увеличиваются в размере в 1,45 раза. При этом средний размер пор в коре также увеличивается в 1,45 раза, со 100 до 145 нм. В этом случае требуемый размер армирующих частиц базальта будет порядка 145 ± 50 нм.

3. Установлено, что в нейтральной водной среде поверхность частиц базальта и коры имеет разноименный заряд. Следовательно, электростатический барьер, препятствующий интенсивному протеканию процесса армирования древесной матрицы наночастицами базальта, не возникнет.

4. Оптимальный состав композиции: 70 мас. % коры и 30 мас. % базальта.

Исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности.

References

1. Yatsun I.V., Sinegubova E.S., Pyatkova P.O. Cellular slabs from waste wood. *Woodworking: technologies, equipment and management of the XXI Century: Proceedings of the IX Eurasian international symposium*. 23–25 September 2014. Ekaterinburg. Pp. 115–117. (In Russian).
2. Koren'kova S.F., Sidorenko Yu.V. Binary fillers for building materials. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014. No. 6, pp. 39–40. (In Russian).
3. Kain G., Barbu M. C., Teischinger A., Musso M., and Petutschnigg A. Substantial bark use as insulation material. *Forest Products Journal*. 2013. No. 62 (6), pp. 480–487.
4. Stenin A.A., Aizenshtadt A.M., Shinkaruk A.A., Makhova T.A. Formation of fireproof properties of wood building materials with the use of high disperse basalt filler. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 11, pp. 47–50. (In Russian).
5. Stenin A.A., Aizenshtadt A.M., Shinkaruk A.A., Demidov M.L., Frolova M.A. A Mineral modifier of a surface for protection of wood building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 10, pp. 51–54. (In Russian).
6. Aizenshtadt A.M., Makhova T.A., Frolova M.A., Tutygin A.S., Stenin A.A., Popova M.A. Designing of composition of nano- and microstructured construction composite materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2012. No. 10, pp. 14–18. (In Russian).
7. Demidov M.L., Aisenstadt A.M. New approach in the creation of environmentally friendly building materials based on the highly dispersed mineral-reinforced wooden matrix. *Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety*. 2014. Vol. 8, pp. 146–151.
8. Tsyvin M.M. Ispol'zovanie drevesnnoi kory [Use of wooden bark]. Moscow: Lesnaya promyshlennost'. 1973. 96 p.
9. Polishchuk A.I., Rubinskaya A.V. Chemical aggressivity filler plant origin in relation to cement. *New materials and technologies in mechanical engineering: Proceedings of the 16th International Scientific Conference*. 2012. http://science-bsea.narod.ru/2012/mashin_2012_16/polyshuk_xim.htm (date of access 15.05.2015). (In Russian).
10. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelubova V.V. Basalt fiber as a component for micro reinforcing of cement composites. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta imeni V.G. Shukhova*. 2012. No. 4, pp. 58–61. (In English).

В.А. ВОЙТОВИЧ, канд. техн. наук, И.Н. ХРЯПЧЕНКОВА, канд. техн. наук (irina-xr@mail.ru)
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (603600, г. Нижний Новгород, Ильинская, 65)

Направления применения гидрофобизаторов в строительстве

Увлажнение строительных материалов и конструкций обуславливает сокращение срока их эксплуатации и ухудшение санитарно-гигиенических условий в помещениях. Применение гидрофобизаторов является одним из перспективных направлений обеспечения роста качественных показателей в строительной индустрии. В статье анализируются сферы эффективного использования гидрофобизаторов в строительстве. Таковыми являются гидрофобизация бетонных и железобетонных конструкций, конструкций из силикатного и керамического кирпича. Актуальна в настоящее время гидрофобизация портландцемента, штукатурных растворов, изделий из минеральной ваты, древесины, из магниезиальных вяжущих. Защита цементно-стружечных плит, широко используемых в качестве несъемной опалубки монолитного домостроения посредством нанесения гидрофобизаторов, позволяет в значительной мере улучшить их эксплуатационные свойства. Авторами установлена высокая эффективность применения гидрофобизаторов для изделий из гипсового вяжущего – гипсокартона, гипсоволокнистых пазогребневых плит и совершенно новых для России гипсостружечных плит.

Ключевые слова: гидрофобизация строительных изделий и конструкций, гидрофобизаторы.

V.A. VOYTOVICH, Candidate of Sciences (Engineering), I.N. KHRYAPCHENKOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (irina-xr@mail.ru)
Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65, Ilyinskaya Street, Nizhny Novgorod, 603600, Russian Federation)

Trends in Application of Hydrophobisators in Construction

Dampening of building materials and structures causes the reduction of their lifetime and deterioration of hygienic and sanitary conditions in premises. The application of hydrophobisators is one of prospective trends to ensure the growth of quality indicators in the construction industry. The authors are analyzing the spheres of efficient utilizing of hydrophobisators in construction. These are hydrophobization of concrete and reinforced concrete structures, sand-lime and ceramic bricks. Nowadays, the hydrophobization of Portland cement, mortars for plastering, products made of mineral wool, wood, magnesia binders is very actual. Protection of cement bonded particle boards, which are widely utilized as a stay-in-place form in monolithic housing construction with hydrophobisators, makes it possible to significantly improve their operational properties. The authors have determined the high efficiency of hydrophobization application for products with gypsum binder – gypsum plasterboard, gypsum-fiber tongue-and-groove slabs, and absolutely new for Russia gypsum-chip plates.

Keywords: hydrophobization of building products and structures, hydrophobisators.

Известно, что гидрофильные пористые тела, к которым относятся практически все строительные материалы, кроме металлов, стекла, пластика, битума, при контакте с водой поглощают ее, что приводит к целому ряду негативных последствий [1]. Из-за вытеснения водой воздуха из пор происходит заметное снижение теплоизоляционных свойств. Установлено, например, что при попадании в стену воды в количестве всего лишь одного процента к массе стенового материала теплосопrotивление стены снижается на 7% [2].

Попадая в поры, вода может начать разрушать растворимые компоненты материала. Например, она растворяет известь (гидроксид кальция), которая присутствует в бетоне. Раствор движется к поверхности, вода из него испаряется, и известь оказывается на поверхности. Под воздействием углекислого газа, имеющегося в воздухе, известь превращается в карбонат кальция – основной компонент того, что называют высоломи [3].

Вода, даже находясь внутри материала, поглощает из воздуха такие примеси, порождаемые промышленностью, тепловыми электростанциями, автомобилями, как оксиды серы и азота. Растворившись в воде, они превращаются в сернистую, серную, азотистую и азотную кислоты – вещества, разрушающие цементные, известковые материалы, вызывающие коррозию стальной арматуры [4].

При отрицательной температуре вода в пустотах материала превращается в лед. Поскольку объем льда больше, чем у превращающейся в него воды, а прочность льда может быть большей, чем у того изделия, в котором лед образовался, возможно его разрушение – явление, которое наблюдается постоянно. Давление образующе-

гося льда может достигать десятков мегапаскалей, что выше, чем прочность кирпича и бетона.

В жилом помещении, окруженном мокрыми стенами, также ухудшаются санитарно-гигиенические показатели.

Предотвратить появление отмеченных негативов можно гидрофобизацией. Авторы не впервые стремятся привлечь внимание широкого круга специалистов к данной теме [5]. Масштабы возможного (и необходимого) применения гидрофобизаторов в строительстве, по мнению авторов, в настоящее время недооценены. Отметим основные направления их эффективного использования в строительной индустрии.

Бетон и железобетон с конца XIX столетия стали материалами номер один в промышленном строительстве. Вначале считали, что изделия из них будут вечными, как египетские пирамиды. Однако со временем становилось все более ясным, что бетон и железобетон не противостоят времени: разрушаются под действием многих факторов. Поэтому появились способы так называемой вторичной их защиты – окрашивание, проникающая гидроизоляция, флюатирование и немало других. В число этих других входит и гидрофобизация. Однако до настоящего времени в России этот способ не является широко используемым, несмотря на то что он самый дешевый и во многих случаях весьма эффективный.

Конец такому пренебрежению должен положить Европейский стандарт EN 1504 «Материалы и системы для ремонта и защиты бетонных конструкций», введенный с 1 января 2009 г. Этот стандарт является обязательным для стран – членов Европейского союза. По видимому, он станет обязательным и для России. В разделе «Общие правила применения материалов и си-

стем для ремонта и защиты бетона» предусматривается обязательная обработка гидрофобизатором поверхности любого бетонного (железобетонного) изделия либо конструкции. Выполнение такого требования не представляет никакой трудности, поскольку для этой цели пригоден практически любой из производимых в России гидрофобизаторов.

Актуальна для РФ проблема эксплуатации громадного фонда крупнопанельных зданий, построенных 50 и более лет назад. Во время дождя происходит увлажнение и даже сквозное промокание стен. Установлено, что поглощение воды панелями можно предотвратить гидрофобизацией. Для этой цели можно использовать любые гидрофобизаторы, но по соотношению цена – качество предпочтительнее использовать алкилсиликат натрия – ГКЖ-11 и все его модификации. Гидрофобизировать целесообразно не только панели без всяких покрытий, но и окрашенные водно-дисперсионными, известковыми, силикатными, цементными красками.

В теле ячеистых бетонов имеются мелкие пустоты в виде шарообразных ячеек или капилляров, заполненных воздухом. Благодаря такому строению ячеистые бетоны обладают низкой теплопроводностью (например, около 0,15 Вт/(м·К) при плотности 500 кг/м³) с сохранением прочих свойств материалов из минеральных вяжущих. Именно за такую совокупность свойств ячеистые бетоны становятся в настоящее время одними из самых употребляемых материалов для наружных ограждений. Однако все эти материалы, являясь высокопористыми и гидрофильными, во время эксплуатации могут поглощать большое количество воды, заметно снижая при этом свои высокие теплоизоляционные свойства [6]. Гидрофобизация позволяет предотвратить это явление. Гидрофобизаторы, пригодные для этого материала, – *Типром Д, Типром К, Типром К Люкс, Типром У, ГКЖ-11 всех разновидностей, Софэксил-40, Софэксил-40А* и ряд других.

В штукатурные растворы можно добавлять кремнийорганические гидрофобизаторы. Они повышают пластичность этих растворов и хотя несколько замедляют скорость твердения, зато увеличивают конечную прочность. Наряду с этим значительно снижается водопоглощение и водопроницаемость затвердевших покрытий. Эффективным гидрофобизатором для объемного гидрофобизирования штукатурных растворов является *ГКЖ-11* и его разновидности, введенные в количестве до 1%, а для поверхностного гидрофобизирования пригодны практически все гидрофобизаторы.

Портландцемент, особенно высокомарочный или быстротвердеющий, с большой скоростью теряет свою активность при контакте с влажной атмосферой: уже через 3–4 месяца активность может снизиться на 30% и более.

Чтобы активность при хранении и перевозках не снижалась, цемент герметично упаковывают в мешки из битуминизированной крафт-бумаги или полимерной пленки либо в стальные контейнеры. Такая упаковка заметно повышает стоимость цемента. Существует более дешевый способ – гидрофобизация. Ее осуществляют совместным помолом цемента с гидрофобизаторами. Гидрофобные оболочки, возникающие при этом на зернах цемента, надежно изолируют их от жидкой воды, так что он даже под дождем не «промокает». Водяные пары и углекислый газ через такие оболочки все же проникают, но в количествах, примерно в 8–12 раз меньших. Еще один положительный эффект, возникающий от гидрофобизации, заключается в том, что при помолу цемента с гидрофобизатором снижаются затраты энергии на измельчение, уменьшается износ помольного оборудования.

Способность такого цемента реагировать с водой

восстанавливается при его перемешивании с песком и щебнем в процессе приготовления цементных смесей, поскольку при этом гидрофобная оболочка разрушается и зерна открываются для смачивания водой. По мнению авторов, для гидрофобизации цемента пригодны практически все гидрофобизаторы.

Гидрофобизация изделий из гипса. Природный гипс, особенно его разновидность – ангидрит, по красоте не уступает мрамору. Однако гипсовый и ангидритовый лоск быстро исчезает, если на эти камни действует вода, в которой эти минералы разрушаются. Предотвратить разрушение можно гидрофобизацией. Для этой цели пригодны гидрофобизаторы *Пента-814, Пента-824, Софэксил 30-04М, Софэксил 40-К, АМСР-3, Гамбит гипс Гидрофоб, Неогард гипс 02*.

Гипс, как известно, используется не только в виде природного камня, но и в виде вяжущего. Значимость этого вяжущего в России быстро возрастает, увеличиваются объемы его производства. На основе гипсового вяжущего изготавливают гипсокартон, гипсоволокнистые листы, пазогребневые плиты.

Недавно началось производство гипсо-стружечных плит – нового для России изделия строительного назначения. Изготавливают их полусухим прессованием смеси, составленной из увлажненного строительного гипса и древесной стружки. Рецепт смеси, поступающей на прессование, такова (в массовых %): гипс – 83; стружка – 15; вода – 2.

Плита экологически чиста, имеет высокую прочность, хорошие теплозвукоизоляционные свойства, негорюча, биостойка. Но поскольку она изготовлена из гидрофильных материалов, во время эксплуатации может поглощать водяные пары из атмосферы, воду при случайном контакте, что приводит к ухудшению свойств. Поэтому плиты целесообразно гидрофобизировать. Авторы установили высокую эффективность для этих плит гидрофобизатора *Пента 814*.

Используется гипсовое вяжущее и для выполнения штукатурных работ. Особенно большую значимость приобретают огнезащитные штукатурки. Изделия, получаемые из гипсового вяжущего, как и изделия из природного гипса, нестойки к действию воды. Поэтому в ряде случаев их желательнее гидрофобизировать. Осуществлять это можно двумя способами. Первый – поверхностная гидрофобизация. Второй – введение гидрофобизатора в исходную смесь (гипсового вяжущего с водой), т. е. объемная гидрофобизация.

Для поверхностной гидрофобизации пригодны все те гидрофобизаторы, которые указаны выше для гидрофобизации природного гипса. А вот для объемной гидрофобизации пригодны *Неогард гипс 02, АМСР-3, Пента-814, Софэксил 30-04М, Софэксил 40К*. Отметим, что последний используется для объемной гидрофобизации при производстве гипсоволокнистых плит на российских заводах германской фирмы КНАУФ. Оказалось возможным заменить им зарубежные гидрофобизаторы *BS-15, 51Т, SK, N/m*.

Гидрофобизация изделий из древесины. Как известно, изделия из древесины при контакте с водой набухают, а после высыхания могут коробиться и даже растрескиваться. Наряду с этим влажная древесина быстро подвергается биологическому поражению. В настоящее время проводятся исследования по созданию гидрофобизаторов специально для древесины и первые их представители уже получены. Это *Неогард дерево-40* – композиция, состоящая из собственно гидрофобизатора, органического растворителя и функциональных добавок. Он позволяет снизить водопоглощение изделий из древесины лиственных пород в 4–6 раз, хвойных пород в 2–4 раза. Рекомендованы для гидрофобизации изделий из древесины гидрофобизатор Софэксил® – *Защита К*,

Типром К, Типром К Люкс (два последних гидрофобизатора одновременно и антисептики), *Типром У*.

Гидрофобизация цементно-стружечных плит. Цементно-стружечные плиты — это строительный материал, получаемый прессованием смеси, состоящей из портландцемента, древесной стружки (объем которой может достигать 90% объема плиты), пропитанной жидким стеклом или хлоридом кальция, и воды. Эти плиты био-, огнестойки, с хорошими (в сухом состоянии) теплоизоляционными свойствами, с достаточной прочностью, относительно небольшой средней плотностью. Одной из наиболее емких в настоящее время сфер их использования является изготовление несъемной опалубки для монолитного строительства. Однако древесная стружка в цементно-стружечной плите, будучи капиллярно-пористым телом и подвергаясь воздействию атмосферных осадков, набухает, деформируется и создает в плите растягивающие (до 4,5 МПа), что сопоставимо с прочностью плит, а затем сжимающие напряжения. При многократном проявлении это может привести к разрушению плит.

Одним из способов предотвращения увлажнения плит является гидрофобизация. Были проверены и подтвердили свою эффективность в качестве их гидрофобизаторов *ГКЖ-11, Неогард-1*.

Гидрофобизация хризотилцементных листов. Это один из самых долговечных кровельных материалов после черепицы и меди: известные шиферные кровли, эксплуатируемые уже в течение более 100 лет, чуть ли не с момента изобретения шифера. Однако, оставаясь надежным защитником здания от атмосферных осадков, шифер постепенно теряет внешнюю привлекательность — на его поверхности могут появиться грязные пятна, поселиться мох. Шифер — пористый материал. Объем его пор достигает 20% от объема листа. Во время дождя или таяния снега эти поры заполняются водой, что приводит к утяжелению кровли. Многократное повторение циклов замерзания-оттаивания постепенно разрушает лист. Для устранения этих явлений шифер предложено гидрофобизировать. Все те гидрофобизаторы, которые рекомендованы для бетона, пригодны и для шиферных листов.

Гидрофобизация изделий из магнезиальных вяжущих. Магнезиальные вяжущие — это композиции, составленные из каустического магнезита (оксид магния, полученный нагреванием магнезита — минерала, который является карбонатом магния) и водорастворимых солей магния — хлорида магния или сульфата магния.

Магнезиальное вяжущее белого цвета, во многом превосходит портландцемент. На его основе можно изготавливать изделия более прочные, намного более экологичные. Замечательным свойством магнезиальных вяжущих является их инертность по отношению к древесине, благодаря чему они могут в любом соотношении сочетаться с опилками, стружкой и образовывать теплые недорогие материалы, называемые ксилолитом, древолитом, из которых изготавливают наливные полы, штукатурки. Из смесей магнезиальных вяжущих с минеральными заполнителями изготавливают высокопрочные промышленные полы.

Однако изделия из магнезиальных вяжущих не выдерживают длительного воздействия воды. Ликвидировать этот недостаток можно гидрофобизацией. К сожалению, рекомендаций по гидрофобизации этих изделий очень мало. Однако авторами установлено, что для их поверхностной гидрофобизации пригодны алкилсиликонаты.

Гидрофобизация конструкций из керамического кирпича. Нередко уже через три—пять лет после сооружения стены на ней появляются выломы, верхний слой кирпича начинает трескаться, шелушиться. Предотвратить

эти явления можно гидрофобизацией. Установлено, что для этой цели пригодны гидрофобизаторы *Типром Д, Типром К, Типром М*. Последний наряду с приданием кирпичу водоотталкивающих свойств придает ему насыщенный цвет: возникает эффект «мокрого кирпича».

Гидрофобизация конструкций из силикатного кирпича. По объемам использования для сооружения стен в настоящее время силикатный кирпич опередил керамический. Причин этому несколько: он прочнее, дешевле в 2—3 раза, экологичнее.

К сожалению, силикатный кирпич более гидрофилен и более гигроскопичен, чем керамический, т. е. поглощает воду и водяные пары быстрее. Однако вода в силикатном кирпиче оказывается в основном в микроскопических порах. В них, как известно, вода замерзает при более низкой температуре, чем в более крупных пустотах, которые образуются в кирпиче керамическом, особенно если он произведен полусухим прессованием. Эта особенность приводит к тому, что в силикатном кирпиче, охладившемся до определенной отрицательной температуры, вода может еще не замерзнуть, а в керамическом — уже превратиться в лед. Тем не менее вода в силикатном кирпиче снижает теплоизоляционные свойства, поэтому и для него гидрофобизация весьма полезна.

Гидрофобизировать силикатный кирпич можно двумя способами. Первый — обработка гидрофобизатором непосредственно на заводе лицевой поверхности кирпича. Второй — обработка гидрофобизатором уже возведенной кирпичной стены. Второй способ производительнее, однако в настоящее время первый способ реализуется чаще, чем второй: ряд заводов выпускает кирпич (по заказам) гидрофобизированным, особенно если он колотый или цветной. Гидрофобизаторы *Тесил 12* и *Тесил 53С* специально предназначены для поверхностной обработки силикатного кирпича.

В заключение отметим, что в РФ до сих пор отношение к силикатному кирпичу «подозрительное», и этому в немалой степени способствует СНиП П-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции», который запрещает использование этого материала для сооружения стен, ограждающих помещения с влажным режимом эксплуатации. Этот документ не учитывает того, что за последние 10 лет произошла кардинальная модернизация российских силикатных заводов с оснащением их совершенным импортным оборудованием, позволяющим производить кирпич высокого качества и по физико-механическим свойствам и по геометрическим формам. В Германии и других странах Западной Европы, где объем потребления силикатного кирпича намного больше, чем кирпича керамического, такого ограничения нет.

Гидрофобизация изделий из минеральной ваты. Несмотря на рост использования в последние годы в качестве утеплителей полимеров, минеральная вата продолжает оставаться основным теплоизоляционным материалом, поскольку она относительно дешева, негорюча. Дополнительными причинами является и то, что минеральная вата служит не только теплоизоляционным, но и звукоизоляционным материалом, а также то, что она может быть использована при значительно более высокой температуре, чем полимерная теплоизоляция. У минеральной ваты есть существенный недостаток: она проявляет потенциально достижимые теплоизоляционные свойства лишь в сухом состоянии. А поскольку основа ваты — минеральные волокна являются гидрофильными и гигроскопичными, попадание воды в вату, даже ее контакт с влажным воздухом, приводят к резкому снижению теплоизоляционных свойств.

Чтобы этот нежелательный процесс не происходил, многие изделия из минеральной ваты гидрофобизируют кремнийорганическими гидрофобизаторами на

заводах-изготовителях. Примерами таких изделий являются теплозвукоизоляционные плиты БАСВУЛ, БЕЛТЕП, ТЕХНОБЛОК, ТЕХНОВЕНТ, ТЕХНОЛАЙФ, ТЕХНОРУФ Б, ТЕХНОРУФ Н, ЦИЛИНДРЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ. Гидрофобизатором, специально предназначенным для обработки изделий из минеральной ваты, является *Софэксил 60-70 ТИМ*.

Гидрофобизация лакокрасочных покрытий. Лакокрасочные материалы (ЛКМ), которые обычно используются для окрашивания различных изделий, образуют лакокрасочные покрытия (ЛКП), способные поглощать воду при увлажнении или сорбировать ее из воздуха. Наряду с этим ЛКП проницаемы для воды, что приводит, например, к коррозии металлического основания под ними. Ради хотя бы частичного устранения этих недостатков ЛКП гидрофобизируют. Из всех гидрофобизаторов наиболее эффективны для этой цели эпиламы, хотя и многие кремнийорганические тоже пригодны. Примером таких гидрофобизаторов являются *Типром У, Пента-824*.

Гидрофобизация пигментов и наполнителей. Пигменты представляют собой цветные порошки и вводятся в пластмассы и ЛКМ ради их окрашивания, а наполнители – это порошки неопределенного цвета, вводимые с целью увеличения объема. Поскольку наполнители, как правило, дешевле других компонентов ЛКМ и пластмасс, за их счет снижается себестоимость этих материалов. И пигменты, и наполнители представляют собой большей частью минеральные гидрофильные порошки с сильно развитой поверхностью, поэтому активно сорбируют влагу из воздуха. Из-за этого частицы порошков слипаются друг с другом (агломерируют), что приводит к затруднению равномерного их распределения в матрице из гидрофобных полимеров, а такие полимеры являются основными компонентами и ЛКМ, и пластмасс. Гидрофильность порошков снижает и водостойкость изделий из этих полимеров. Преодолеть такие недостатки пигментов и наполнителей можно путем обработки гидрофобизаторами. В принципе практически любой гидрофобизатор может оказать на них желаемое воздействие. Но поскольку химическая природа этих порошков весьма разнообразна, то и гидрофобизаторы будут проявлять себя по-разному. Поэтому в каждом конкретном случае желательна экспериментальная проверка.

Гидрофобизация известковых красок и лакокрасочных покрытий на их основе. Известковые краски в простейшем виде представляют собой суспензию частиц гаше-

ной извести (гидроксида кальция) в водном растворе этого вещества. Из таких красок образуются ЛКП белого цвета. Есть известковые краски, в составе которых присутствуют цветные пигменты. В некоторых известковых красках есть водорастворимые полимеры, например поливиниловый спирт, или водные дисперсии полимеров, например полиакриловые, поливинилацетатные.

Преобразование этих красок в ЛКП происходит за счет химической реакции между гидроксидом кальция и углекислым газом, имеющимся в воздухе. При этом образуется прочный, нерастворимый в воде слой карбоната кальция белого цвета. Эти краски самые дешевые, а ЛКП, образуемые ими, например на фасадах, – достаточно декоративны и долговечны. Недаром их использовали и продолжают использовать во все возрастающих масштабах для окрашивания как интерьера, так и фасадов различных зданий, особенно храмовых. Однако известковые краски образуют ЛКП гидрофильные и пористые. Через поры во время дождя в стену может проникнуть заметное количество воды, что нежелательно. Наряду с этим дождевая вода, особенно при кислотном дожде, вызывает постепенное растворение карбоната кальция.

Ликвидировать эти недостатки известковых красок можно гидрофобизацией, причем двумя способами: введением гидрофобизатора непосредственно в краски; обработкой гидрофобизатором ЛКП, образованных этими красками. Для реализации того и другого способа пригодны многие гидрофобизаторы.

Пожалуй, самым «свежим» и наиболее универсальным из отечественных гидрофобизаторов является *Аквасил*, производимый по ТУ 219-003-6054326–2014. Его относят к новому поколению гидрофобизаторов, поскольку он отличается повышенной эффективностью, пожаро- и взрывобезопасностью, экономичностью и технологичностью. При выполнении всех требований технологии использования гидрофобизирующей эффект сохраняется более 10 (а по косвенным данным, до 30) лет.

Таким образом, в настоящее время отечественная строительная индустрия располагает достаточным спектром гидрофобизаторов, широкомасштабное применение которых позволит обеспечить как повышение качества строительных материалов, изделий и конструкций, так и улучшение условий эксплуатации зданий и сооружений.

Список литературы

1. Никишкин В.А. Под воздействием кремнийорганических гидрофобизаторов // *Автомобильные дороги*. 2011. № 7. С. 62–65.
2. Лукинский О.А. «Дышащая» герметизация стен // *Интеграл*. 2010. № 1. С. 108–109.
3. Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.П., Мохов А.В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 7. С. 14–22.
4. Шилова М.А. Гидрофобизаторы – эффективная защита фасадов зданий и сооружений // *Стройинформ*. 2006. № 7. С. 194–195.
5. Войтович В.А., Хряпченкова И.Н., Яворский А.А. Гидрофобизация как способ повышения срока службы зданий // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 15–18.
6. Риставлетов Р.А., Темиркулов Т.Т., Шынтемиров К.С. Влияние гидрофобизирующих добавок на качество газобетона // *Технологии бетонов*. 2010. № 9–10. С. 44–46.

References

1. Nikishkin V.A. Under influence of organosilicon hydrophobisators. *Avtomobilnye dorogi*. 2011. No. 7, pp. 62–65. (In Russian).
2. Lukinski O.A. “Breathing” hermetization of walls. *Integral*. 2010. No. 1, pp. 108–109. (In Russian).
3. Babkov V.V., Gafurova E.A., Rezvov A.P., Mochov A.V. Bloom problems on surface walls from vibro-pressed concrete blocks and methods of defense. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2012. No. 7, pp. 14–22. (In Russian).
4. Shilova M. A. Hydrophobisators are an effective defense of building and structure facades. *Stroyinform*. 2006. No. 7, pp. 194–195. (In Russian).
5. Voytovich V.A., Khryapchenkova I.N., Yavorsky A.A. Hydrophobization as a method of improving lifetime of buildings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 15–18. (In Russian).
6. Ristavletov R.A., Temirkulov T.T., Shyntemirov K.S. Influence of water-repellent agents on quality of gas-concrete. *Tekhnologii betonov*. 2010. No. 9–10, pp. 44–46. (In Russian).

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья — это сочинение небольшого размера (до 3-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

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

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

3. Ссылаться на диссертации 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 отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

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

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

ВНИМАНИЕ! С 1 января 2014 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!

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

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

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/7>

22 - 25 сентября

УФА-2015

Форум УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ

XXV юбилейная международная выставка



Место проведения:

ВДНХ ЭКСПО

ул. Менделеева, 158



Тел./факс: (347) 246-42-29, 246-42-38, 246-42-37
e-mail: stroy@bvkepo.ru
www.bvkepo.ru

www.stroybvk.ru

БВК
БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ



Hot spot for the
ceramics industry

Идеальный состав для Вашего успеха.

На ceramitec 2015 Вы найдете все для успешной выставки. Воспользуйтесь этой идеальной обстановкой для презентации Вашего предприятия.

- Вся керамическая промышленность в одном месте
- Высокотехнологичная публика со всего мира
- Профессиональные сервисы для участников

Не пропустите!

Подайте заявку прямо сейчас:
ceramitec.de/application

Ceramitec 2015

Technologies · Innovations · Materials

**20 – 23 октября · Messe München
ceramitec.de**