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**

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№7

Основан в 1955 г. (715) июль 2014 г.

Главный редактор:
ЮМАШЕВА Е.И.,
инженер химик-технолог, Почетный строитель России

Редакционный совет:
РЕСИН В.И.,
председатель, д-р эконом. 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, Киев)
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»®, 2014

Материалы VII Международной конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»

А.В. ГРИНЕВИЧ, А.А. КИСЕЛЕВ, Е.М. КУЗНЕЦОВ, А.Ф. БУРЬЯНОВ, А.И. РЯШКО
Гипсовое вяжущее из α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ – отхода производства экстракционной фосфорной кислоты 4

И.В. БЕССОНОВ, Р.И. ШИГАПОВ, В.В. БАБКОВ
Теплоизоляционный пеногипс в малоэтажном строительстве 9

2-я Международная Веймарская гипсовая конференция *(Информация)* 14

М.С. ГАРКАВИ, А.В. АРТАМОНОВ, Е.В. КОЛОДЯЖНАЯ, А.Ф. БУРЬЯНОВ
Композиционное ангидритошлаковое вяжущее центробежно-ударного измельчения 16

В.Б. ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ, Т.Б. НОВИЧЕНКОВА, А.Ф. БУРЬЯНОВ, Х.-Б. ФИШЕР, К.С. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ
Самоармированные гипсовые композиты 19

В.Н. ДЕРЕВЯНКО, А.Г. ЧУМАК, В.Е. ВАГАНОВ
Влияние наночастиц на процессы гидратации полуводного гипса 22

О.В. ИЗРЯДНОВА, Г.И. ЯКОВЛЕВ, И.С. ПОЛЯНСКИХ, Х.-Б. ФИШЕР, С.А. СЕНЬКОВ
Изменение морфологии кристаллогидратов при введении ультра- и нанодисперсных модификаторов структуры в гипсоцементно-пуццолановые вяжущие 25

А.Р. ГАЙФУЛЛИН, М.И. ХАЛИУЛЛИН, Р.З. РАХИМОВ
Состав и структура камня композиционного гипсового вяжущего с известью и гибридной минеральной добавкой 28

С.А. НЕКРАСОВА, М.С. ГАРКАВИ, Е.Н. БУЛДЫЖОВА
Сухие строительные смеси на основе стабилизированного гипсового вяжущего 32

Идеальный пол – миф или реальность? *(Информация)* 34

Х. ВЕТЕГРОВЕ
Инновационное производство гипса на GIPS AD 36

Самарский гипсовый комбинат: 70 лет успеха *(Информация)* 41

У высокотехнологичных решений есть имя – Гренцебах *(Информация)* 43

Деловой вояж производителей извести в Китай *(Информация)* 46

Л.И. СЫЧЕВА, Д.В. АМЕЛИНА
Влияние термообработки на строительно-технические свойства продуктов дегидратации гипса 49

Н.В. ЧЕРНЫШЕВА
Использование техногенного сырья для повышения водостойкости композиционного гипсового вяжущего 53

И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, А.В. ЧЕРЕВАТОВА, Е.В. ВОЙТОВИЧ, А.Д. КСЕНОФОНТОВ
Жаростойкость композиционного вяжущего системы CaO-SO_3-SiO_2-H_2O 57

Время пересмотра стандарта на гипсовые перегородочные плиты настало 61

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

STROITEL'NYE MATERIALY®

No. 7

Founded in 1955

(715) July 2014 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)
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)

Materials of the VII International Conference "Enhancement of efficiency in manufacturing and application of gypsum materials"

A.V. GRINEVICH, A.A. KISELEV, E.M. KUZNETSOV, A.F. BURIANOV, A.I. RYASHKO
Gypsum Binder from α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ – Waste of Extraction Phosphoric Acid Production 4

I.V. BESSONOV, R.I. SHIGAPOV, V.V. BABKOV
Heat-Insulating Foamed Gypsum in Low-Rise Construction 9

2nd International Gypsum Conference in Weimar *(Information)* 14

M.S. GARKAVI, A.V. ARTAMONOV, E.V. KOLODYAZHNAYA, A.F. BURIANOV
Composite Anhydrite-Slag Binder of Centrifugal-Impact Grinding 16

V.B. PETROPAVLOVSKAYA, T.B. NOVICHENKOVA, A.F. BURIANOV, H.-B. FISHER, K.S. PETROPAVLOVSKY
Self-Reinforcing Gypsum Composites 19

V.N. DEREVYANKO, A.G. CHUMAK, V.E. VAGANOV
Impact of Nanoparticles on Processes of Hydration of Hemihydrate Gypsum 22

O.V. IZRYADNOVA, G.I. YAKOVLEV, I.S. POLYANSKIKH, H.-B. FISHER, S.A. SENKOV
Change of Morphology of Crystal Hydrates at Incorporation of Ultra- and Nano Disperse Modifiers Structures into Gypsum Cement-Pozzolana Binders 25

A.R. GAYFULLIN, M.I. KHALIULLIN, R.Z RAKHIMOV
Composition and Structure of Composite Gypsum Binder Stone with Lime and Hybrid Mineral Additive 28

S.A. NEKRASOVA, M.S. GARKAVI, E.N. BULDYZHOVA
Dry Building Mixes on the Basis of Stabilized Gypsum Binder 32

Ideal Floor – Myth or Reality? *(Information)* 34

H. WETEGROVE
Innovative Production of Gypsum on GIPS AD 36

Samara Plaster Plant: 70 Years of Success *(Information)* 41

In High-Tech Solutions has a Name – Grenzebah *(Information)* 43

Business Trip Lime Producers in China *(Information)* 46

L.I. SYCHEVA, D.V. AMELINA
Influence of Heat Treatment on Building-Technical Properties of Products of Gypsum Dehydration 49

N.V. CHERNYSHEVA
The Use of Anthropogenic Raw Materials for Increase of Water Resistance of a Composite Gypsum Binder 53

I.V. ZHERNOVSKY, A.V. CHEREVATOVA, E.V. VOYTOVICH, A.D. KSENOFONTOV
Heat Resistance of Composite Binder of CaO-SO_3-SiO_2-H_2O System 57

The Time for the Revision of the Standard for Gypsum Partition Panels Has Come 61

Materials for road construction

A.V. KOCHETKOV, L.V. YANKOVSKY
Prospects of Development and Actual Problems of Road Science 62

A.G. EVGEN'EVA
Rehabilitation of Motor-Roads of the Far Eastern Federal District after Water-flood of 2013 70

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.

Строительные материалы № 7

Материалы для дорожного строительства

А.В. КОЧЕТКОВ, Л.В. ЯНКОВСКИЙ
Перспективы развития и актуальные задачи дорожной науки 62

А.Г. ЕВГЕНЬЕВА
Строительные материалы и технологии для восстановления автомобильных дорог Дальневосточного федерального округа после наводнения 2013 г. 70

Юбиляры отрасли

К 100-летию Александра Матвеевича Иванова 73

Материалы и конструкции

Б.А. БОНДАРЕВ, А.Б. БОНДАРЕВ, Р.Ю. САПРЫКИН, Ф.Н. КОРВЯКОВ
Метод структурных диаграмм и виброползучесть полимерных композиционных материалов 74

Б.А. БОНДАРЕВ, А.Б. БОНДАРЕВ, Р.Ю. САПРЫКИН, Ф.Н. КОРВЯКОВ, В.И. ХАРЧЕВНИКОВ
Прогнозирование циклической долговечности железнодорожных шпал из древесно-стекловолокнистого композиционного материала 78

В.С. ЛЕСОВИК, Л.Х. ЗАГОРОДНЮК, Д.А. БЕЛИКОВ, А.Ю. ЩЕКИНА, А.А. КУПРИНА
Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ 82

Результаты научных исследований

С.В. ФЕДОСОВ, В.Г. КОТЛОВ, Р.М. АЛОЯН, Ф.Н. ЯСИНСКИЙ, М.В. БОЧКОВ
Моделирование тепломассопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Часть 1. Общая физико-математическая постановка задачи 86

Кадры для отрасли

Д.В. ОРЕШКИН, В.С. СЕМЕНОВ
Современные материалы и системы в строительстве – перспективное направление обучения студентов строительных специальностей 92

Stroitel'nye Materialy No. 7

Persons of the industry whose jubilees are celebrated

To the 100th Anniversary of Alexander Ivanov 73

Materials and structures

B.A. BONDAREV, A.B. BONDAREV, R.Yu. SAPRYKIN, F.N. KORVYAKOV
Method of Structural Diagrams of Materials and Vibrocreep of Polymeric Composite Materials 74

B.A. BONDAREV, A.B. BONDAREV, R.Yu. SAPRYKIN, F.N. KORVYAKOV, V.I. KHARCHEVNIKOV
Forecasting the Cyclic Durability of Railway Sleepers Made of Timber-Glass-Fibre Composite Material 78

V.S. LESOVIK, L.Kh. ZAGORODNYUK, D.A. BELIKOV, A.Yu. SHCHEKINA, A.A. KUPRINA
Efficient Dry Mixes for Repair and Restoration Works 82

Results of scientific research

S.V. FEDOSOV, V.G. KOTLOV, R.M. ALOYAN, F.N.YASINSKI, M.V.BOCHKOV
Simulation of Heat-and-Mass Transfer in Gas-Solid System at Nailed Connection of Timber Structures Elements. Part 1. General Physical-Mathematical Statement of Problem 86

Personnel for the industry

D.V. ORESHKIN, V.S. SEMENOV
Modern Materials And Sistems In The Construction Are Perspective Direction Of Teaching Of Construction Specialties 92

УДК 666.913

А.В. ГРИНЕВИЧ[1], канд. техн. наук, А.А. КИСЕЛЕВ[1], канд. техн. наук, Е.М. КУЗНЕЦОВ[1], инженер; А.Ф. БУРЬЯНОВ[2], д-р техн. наук; А.И. РЯШКО[1], инженер

[1] ОАО «Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам им. профессора Я.В. Самойлова» (119333, Москва, Ленинский пр-т, 55/1)

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

Гипсовое вяжущее из α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ – отхода производства экстракционной фосфорной кислоты

Представлены результаты исследований ОАО «НИУИФ» по получению гипсовых вяжущих непосредственно из альфа-полугидрата сульфата (альфа-ПСК) кальция – отхода производства ЭФК дигидратно-полугидратным методом из хибинского апатитового концентрата и бедного сырья Каратау (месторождение Коксу) без изменения фазового состава отбросного альфа-ПСК. Применительно к хибинскому апатитовому концентрату разработан новый вариант дигидратно-полугидратного процесса с высокотемпературной дигидратной стадией. Разработана принципиальная технологическая схема, определены характеристики основного оборудования и даны предложения по организации производства гипсового вяжущего мощностью 150–200 тыс. т в год с организацией дигидратно-полугидратного процесса на дооборудуемой существующей дигидратной системе производства ЭФК Балаковского филиала ОАО «Апатит».

Ключевые слова: экстракционная фосфорная кислота, фосфогипс, дигидратно-полугидратный процесс, гипсовые вяжущие, альфа-полугидрат сульфата кальция.

A.V. GRINEVICH[1], Candidate of Sciences (Engineering), A.A. KISELEV[1], Candidate of Sciences (Engineering), E.M. KUZNETSOV, Engineer; A.F. BURIANOV[2], Doctor of Sciences (Engineering); A.I. RYASHKO[1], Engineer

[1] OAO "Scientific Research Institute for Fertilisers and Insectofungicide named after professor Ya.V. Samoylov" (55/1, Leninsky Ave. 119333, Moscow, Russian Federation)

[2] Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Hwy, 129337, Moscow, Russian Federation)

Gypsum Binder from α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ – Waste of Extraction Phosphoric Acid Production

Results of the study of OAO "NIUIF" aimed at obtaining of gypsum binders directly from alfa-hemihydrate of calcium sulfate (alfa-HCS) – waste of wet-process phosphoric acid produced from Kola apatite concentrate and poor raw materials from Karatau (Koksu Deposit) without changing the phase composition of waste alfa-HCS by the dehydrate-hemihydrate method are presented. In relation to the Kola apatite concentrate a new variant of dehydrate-hemihydrate process with high tempearature dehydrate stage has been developed. Principal process scheme has been developed; characteristics of basic equipment have been defined; proposals for organization of production of gypsum binder of 150–200 ths tn per year capacity with organization of the dehydrate-hemihydrate process on the existing dehydrate system of wet-process phosphoric acid production at Balakovsky branch of OAO "Apatite".

Keywords: wet-process phosphoric acid, phosphogypsum, dehydrate-hemihydrate process, gypsum binders, alfa-hemihydrate of calcium sulfate.

Производство экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) методом сернокислотного разложения фосфатного сырья в настоящее время в России и на всем постсоветском пространстве осуществляется одностадийными дигидратными или полугидратными способами с кристаллизацией соответственно $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ или $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ [1–3]. Это сопряжено с образованием многотоннажного отхода – фосфогипса или фосфополугидрата, который находит ограниченное применение в народном хозяйстве вследствие наличия в нем большого количества основных технологических примесей (фосфаты, соединения фтора, свободная H_3PO_4 и др.).

Использование для производства ЭФК двухстадийного дигидратно-полугидратного процесса, в котором первоначально кристаллизующийся дигидрат сульфата кальция перекристаллизовывается в $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, позволяет существенно увеличить технологический выход P_2O_5 в кислоту, сократить содержание технологических примесей в отбросном сульфате кальция и повысить возможность использования его для производства целевых продуктов. Последнее, в частности, подтверждает опыт эксплуатации промышленной дигидратно-полугидратной установки в Бельгии (г. Энжис) по способу Central Prayon с использованием хибинского апатитового концентрата. Полученный в виде отхода α-$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ после перекристаллизации в специальном технологическом складе используется в качестве добавки для производства цемента и получения β-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ по способу фирмы Knauf [4, 5].

Применение известного дигидратно-полугидратного процесса для реконструкции российских дигидратных установок по производству ЭФК из хибинского апатитового концентрата сопряжено с очень большими затратами, а полугидратных установок – дополнительно с уменьшением почти вдвое производственных мощностей. Кроме того, на существующих заводах отсутствуют свободные производственные площади под организацию технологических складов для проведения перекристаллизации $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$, а сам процесс на складе не является экологически безупречным. Варианты дигидратно-полугидратного способа применительно к бедному фосфатному сырью, например Каратау, отсутствуют. Кроме того, в наших условиях практически не развит рынок сбыта гипсовых вяжущих из фосфогипса.

В данной работе представлены результаты исследований ОАО «НИУИФ» по получению гипсовых вяжущих непосредственно из альфа-полугидрата сульфата кальция – отхода производства ЭФК дигидратно-полугидратным методом из хибинского апатитового концентрата и бедного сырья Каратау (месторождение Коксу) без изменения фазового состава отбросного α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$.

Применительно к хибинскому апатитовому концентрату разработан новый вариант дигидратно-полугидратного процесса. Дигидратная стадия процесса проводится при температуре 90–94°С, содержании в жидкой фазе пульпы 28–34% P_2O_5, небольшом содержании свободной H_2SO_4 в фосфорно-кислом растворе в течение 1,8–2 ч и вводе неорганического регулятора кристаллизации сульфата кальция. $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ кристаллизуется в виде легкофильтрующих кристаллов (рис. 1, *а, б*).

Наименование показателя	Исходный α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ (проба № 1)	Измельченный α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ (проба № 1)	Измельченный α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ (проба № 1)	Измельченный α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ (проба № 2)
Остаток на сите, размер ячеек в свету 0,2 мм, %	0,15	0,08	0,08	0,13
Удельная поверхность, $см^2/г$	1615	5500	2800	2600
Модифицирующая добавка, % к массе α-CaSO4·0,5H2O	–	Melment F15-G 0,2	Неорганическая добавка 1,2	Неорганическая добавка 0,8
Водопотребность, %	70	32	45	45
Сроки схватывания, мин-с начало конец	46–30 Не определялся	16–30 26–00	5–30 7–30	7–30 10–00
Прочность балочек 40×40×160 мм, МПа, в возрасте 2 ч при изгибе при сжатии	Не определялась	0,8 2,1	3,4 9,3	4 9,7

Перекристаллизация $CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ осуществлялась при температуре 90–94°С и содержании SO_3 в жидкой фазе пульпы 7–8% в течение 0,4–1 ч. Разделение полугидратной пульпы производилось методом фильтрации с использованием 3-кратной балансовой противоточной водной промывки кека фосфополугидрата.

Новый дигидратно-полугидратный способ получения ЭФК из хибинского апатитового концентрата позволил увеличить содержание P_2O_5 в продукционной кислоте вплоть до 31–34%, значительно интенсифицировать процесс за счет использования высокотемпературной дигидратной стадии, повысить технологический выход P_2O_5 в ЭФК до 99,5% и обеспечить получение легкофильтрующего осадка α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ в виде компактных, приблизительно изометрических сростков кристаллов (рис. 1, *в, г*), содержащих минимальное количество остаточных технологических примесей ($P_2O_{5общ.} \leq 0,25\%$; $P_2O_{5\ водораств} \leq 0,1\%$ и $F_{общ} \leq 0,1\%$).

Радикальное снижение содержания остаточных технологических примесей в отбросном α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ позволяет, как показали исследования (табл. 1), разработать относительно простую и эффективную технологию получения гипсового вяжущего непосредственно на основе фосфополугидрата, соответствующего требованиям действующего ГОСТ 125–79 «Вяжущие гипсовые. Технические условия».

Показано, что без предварительного доизмельчения и ввода модифицирующих добавок отбросный α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ характеризуется плохими вяжущими свойствами: большая водопотребность, большие сроки схватывания и неудовлетворительная прочность. Это обусловлено медленным протеканием в гипсовом тесте процесса перекристаллизации α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$. При этом, по всей вероятности, низкая скорость указанного процесса обусловлена трудностью зарождения новой кристаллической фазы ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)

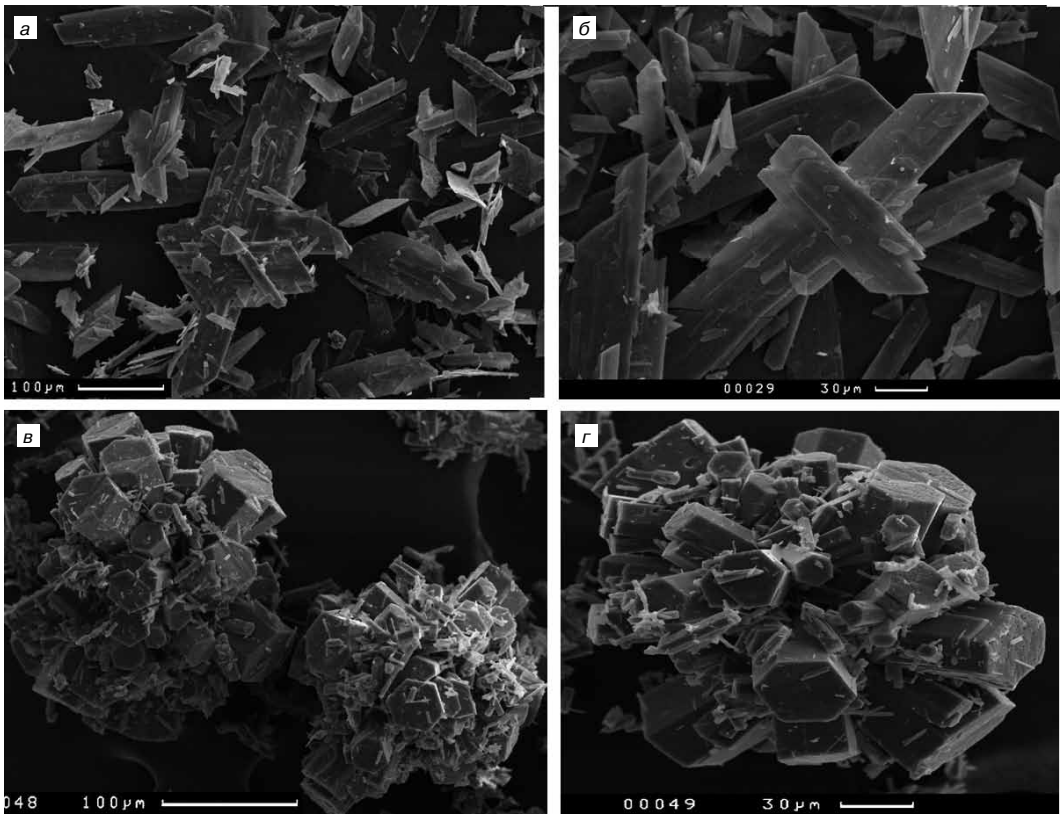


Рис. 1. Микрофотографии кристаллов сульфата кальция для дигидратно-полугидратного процесса ЭФК из хибинского апатитового концентрата: *а, б* – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; *в, г* – $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$

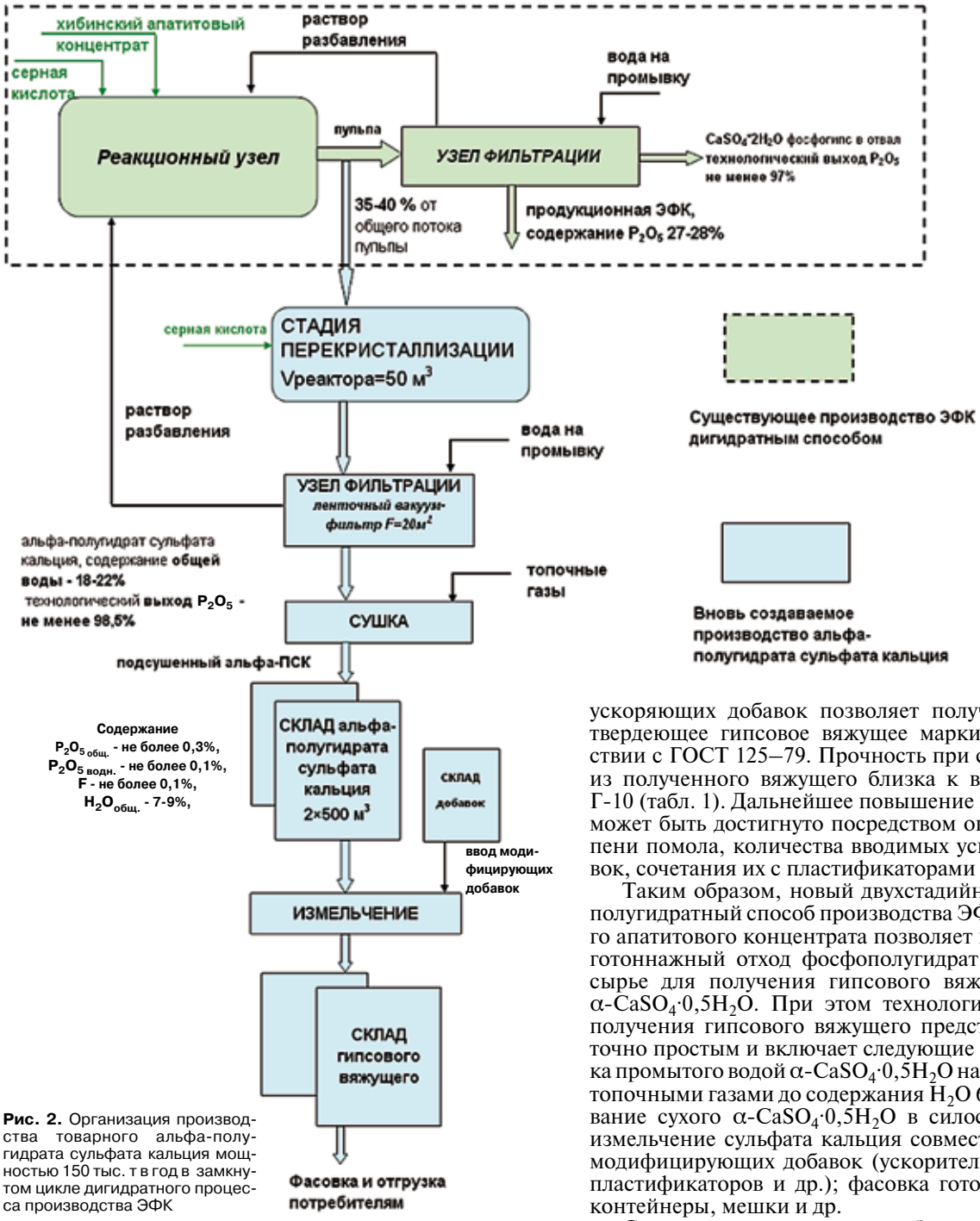


Рис. 2. Организация производства товарного альфа-полугидрата сульфата кальция мощностью 150 тыс. т в год в замкнутом цикле дигидратного процесса производства ЭФК

вследствие специфического действия некоторых примесей в фосфополугидрате, приходящих в него из апатитового концентрата, например соединения редкоземельных металлов и стронция.

Домол исходного альфа-полугидрата сульфата кальция (проба №1) в шаровой мельнице совместно с добавкой пластификатора Melmemt F-15G (0,2% от массы вяжущего) значительно снизил водопотребность вяжущего, сократил сроки схватывания и позволил повысить марку до Г-2 (см. таблицу).

Установлено, что наиболее активное влияние на улучшение вяжущих свойств отбросного α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ оказывала неорганическая модифицирующая добавка, способствующая зарождению кристаллов $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и ускоряющая процесс перекристаллизации полугидрата сульфата кальция в дигидрат. Использование домола и ускоряющих добавок позволяет получить нормально твердеющее гипсовое вяжущее марки Г-7 в соответствии с ГОСТ 125–79. Прочность при сжатии образцов из полученного вяжущего близка к вяжущему марки Г-10 (табл. 1). Дальнейшее повышение марки вяжущего может быть достигнуто посредством оптимизации степени помола, количества вводимых ускоряющих добавок, сочетания их с пластификаторами и др.

Таким образом, новый двухстадийный дигидратно-полугидратный способ производства ЭФК из хибинского апатитового концентрата позволяет превратить многотоннажный отход фосфополугидрат в качественное сырье для получения гипсового вяжущего в форме α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$. При этом технологический процесс получения гипсового вяжущего представляется достаточно простым и включает следующие стадии: подсушка промытого водой α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ на вакуум-фильтре топочными газами до содержания H_2O 6–7%; складирование сухого α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ в силосах-хранилищах; измельчение сульфата кальция совместно с введением модифицирующих добавок (ускорителей схватывания, пластификаторов и др.); фасовка готового продукта в контейнеры, мешки и др.

С учетом вышеупомянутых больших затрат на реконструкцию дигидратных установок с внедрением дигидратно-полугидратного процесса, большой мощности дигидратных установок в России (суммарное количество фосфогипса составляет около 3 млн т в год в пересчете на сухой), неосвоенности рынка сбыта гипсового вяжущего из фосфополугидрата первоначально целесообразно осуществить дигидратно-полугидратный процесс в замкнутом цикле дигидратного процесса (рис. 2) с производством 150–200 тыс. т в год гипсового вяжущего в форме α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$.

Производство ЭФК мощностью 110 тыс. т P_2O_5 в год (Балаковский филиал ОАО «Апатит») дооборудуется реакционным узлом с системой абсорбции фтористых газов для перекристаллизации $CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ [6] (рабочий объем реактора 50 м^3, 35–40% от общего потока дигидратной пульпы), узлом

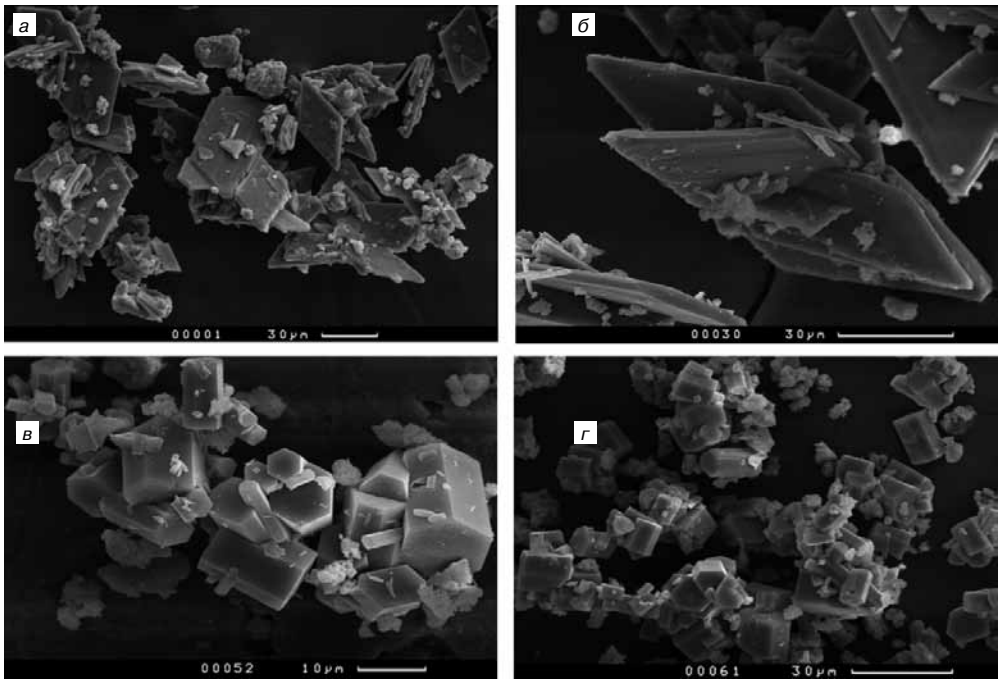


Рис. 3. Микрофотографии кристаллов сульфата кальция для дигидратно-полугидратного процесса ЭФК из фосфорита Коксу: *а, б* – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; *в, г* – $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$

фильтрации, включающим ленточный вакуум-фильтр F=20 м^2 с системой трехкратной противоточной промывки кека и системой транспортирования кека α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ на стадию сушки, узлом сушки и силосным складом для промежуточного складирования сухого альфа-полугидрата сульфата кальция, а также системой его передачи в производство гипсовых вяжущих.

Производство гипсового вяжущего включает: узел приема исходного α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$; узел домола с введением модифицирующих добавок (примерно 1% от массы полугидрата, что составляет около 200 кг/ч); узел фасовки товарного продукта в мягкие контейнеры и мешки; узел отгрузки α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ потребителю.

Как показали исследования, новый дигидратно-полугидратный процесс получения ЭФК может быть весьма эффективным и для сернокислотной переработки бедных фосфоритов Каратау [7] с полной утилизацией отбросного альфа-полугидрата сульфата кальция для производства качественного гипсового вяжущего. В частности, подтверждено применительно к фосфориту месторождения Коксу, имеющему следующий химический состав, мас. %: 24,5–24,8 P_2O_5; 37–37,5 CaO; 2,3–2,4 F_2; 0,7–0,8 Al_2O_3; 1,1–1,4 MgO; 5,3–5,4 CO_2; 0,3–0,5 Na_2O; 0,26–0,37 K_2O; 23,5–24,2 H_2O.

Дигидратная стадия процесса получения ЭФК из фосфоритов Коксу осуществлялась при температуре 93–94°С, содержании P_2O_5 в жидкой фазе пульпы 27,5–30,5% [8] и времени пребывания экстракционной пульпы в реакторе 2–2,4 ч. Заданные условия обеспечивали кристаллизацию легкофильтрующих кристаллов $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в виде сростков и единичных кристаллов (рис. 3, *а, б*). Указанное подтверждалось и хорошей удельной поверхностью кристаллов $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, которая колебалась в зависимости от содержания P_2O_5 в фосфорно-кислом растворе в интервале 2500–3500 см^2/г.

Перекристаллизация $CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ проводилась при температуре 93–94°С, содержании 118–140 г/л SO_3 в жидкой фазе пульпы в течение 0,8–0,9 ч с кристаллизацией полугидрата сульфата кальция в виде приблизительно изометрических сростков размером 20–30 мкм (рис. 3, *в, г*), что обеспечивало хороший дренаж фильтрата и промывных растворов и достижение высоких степеней отмывки осадка от P_2O_5. Результаты микроскопических исследований подтверждались и достаточно низкой удельной поверхностью кристаллов $CaSO_4 \cdot 0{,}5\ H_2O$, которая составляла 1900–2100 см^2/г.

После разделения полугидратной пульпы методом фильтрации кек α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ подвергался трехкратной противоточной водной балансовой промывке. Промытый альфа-полугидрат содержал 5,1–5,4% кристаллизационной воды (соответствует $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ с учетом нерастворимого остатка, приходящего с фосфоритом Коксу), менее 0,3% $P_2O_{5общ.}$ При этом содержание $P_2O_{5водораств}$ составляло менее 0,1%, а $F_{общ}$ – менее 0,15%. Технологический выход P_2O_5 в ЭФК колебался в интервале 98,2–99%.

Наработанная в ходе непрерывного лабораторного эксперимента проба α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ для оценки его вяжущих свойств характеризовалась следующими показателями:

– удельная поверхность – 1940 см^2/г;
– содержание $F_{общ}$ и $F_{водораств}$ – 0,1 и 0,04%;
– содержание $P_2O_{5общ}$ и $P_2O_{5водораств}$ – 0,27 и 0,08%.

Проба доизмельчалась до удельной поверхности 2410 см^2/г.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 23789–79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний» и состояли из определения сроков схватывания доизмельченного α-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ и предела прочности при сжатии и растяжении при изгибе. Марку вяжущего определяли по ГОСТ 125–79.

Основные результаты испытаний:

– остаток на сите с размером ячеек в свету 02 мм, %.....0,08
– водопотребность, %.....50
– сроки схватывания гипсового теста, мин
  начало.....6
  конец.....8
– предел прочности образцов балочек размером 40×40×160 мм (возраст 2 ч), МПа:
  при изгибе.....3,9
  при сжатии.....10,8
– объемная масса, кг/м^3 1700

В результате испытаний установлено, что опытный образец соответствует нормально твердеющему гипсовому вяжущему тонкого помола марки Г-10 БIII. В отличие от аналогичного вяжущего, полученного в процессе получения ЭФК из хибинского апатитового концентрата, α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ из фосфоритов Коксу не требует применения ускоряющих схватывание минеральных добавок, что обусловлено его химическим составом – практическим отсутствием стронция и редкоземельных элементов. Одновременно следует отметить, что использование замедлителей схватывания и пластификаторов может расширить область применения вяжущего из данного вида α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$.

Следовательно, разработан новый технологический процесс ЭФК дигидратно-полугидратным методом из фосфорита Коксу, позволяющий не только улучшить технико-экономические показатели производства, но и организовать в крупном масштабе переработку отбросного α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ в квалифицированное гипсовое вяжущее по предельно лаконичной технологической схеме.

Конкретную реализацию новой технологии в промышленности на начальном этапе целесообразно осуществить аналогично изложенному выше в замкнутом цикле дигидратного процесса. В частности, это весьма перспективно для реализуемого в настоящее время на производственной площадке Таразского филиала ТОО «Казфосфат» Минеральные удобрения» нового производства ЭФК дигидратным методом мощностью 220 тыс. т P_2O_5 из фосфоритов Коксу. На производство 200 тыс. т гипсового вяжущего в форме α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ потребуется направить около 15% дигидратной пульпы на стадию перекристаллизации.

Таким образом, разработанный новый двухстадийный дигидратно-полугидратный процесс пригоден для переработки в ЭФК как богатого, так и бедного фосфатного сырья с обеспечением высокой степени использования P_2O_5 и получением в виде отхода α-полугидрата, обладающего прекрасной фильтруемостью и после балансовой противоточной водной промывки содержащего минимальное количество остаточных технологических примесей. Последнее создает все необходимые условия для полноценной переработки отбросного α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ в квалифицированное гипсовое вяжущее по короткой малоэнергоемкой технологии. Многотоннажный отход производства ЭФК становится реально техногенным источником сырья для производства качественного гипсового вяжущего в форме α-$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ с низкой себестоимостью.

Для России и Казахстана представляется возможным создание при минимальных капвложениях на действующих производственных площадках в ближайшей перспективе производство упомянутого гипсового вяжущего в объеме 500–1000 тыс. т/г, что составит только 12–24% от всего $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, направляемого в настоящее время для хранения в отвал.

Список литературы

1. Эвенчик С.Д., Бродский А.А. Технология фосфорных и комплексных удобрений. М.: Химия, 1987. 464 с.
2. Гриневич А.В., Кузнецов Е.М., Давыденко В.В., Кержнер А.М., Гриневич В.А., Калеев И.А., Книженцев И.А., Шибанов Е.Ю., Перекрестов В.П. Опыт реконструкции полугидратных систем производства ЭФК на ОАО «Аммофос» и внедрения полугидратного процесса на ООО «Балаковские минеральные удобрения». *Труды НИУИФ: Сб. научных трудов*. М.: НИУИФ, 2009. С. 250–264.
3. Гриневич А.В., Киселев А.А., Кузнецов Е.М., Шибанов Е.Ю., Диденко Н.А. Разработка и внедрение на ОАО «Аммофос» усовершенствованного дигидратного способа получения ЭФК с использованием реактора фирмы COPEE RUST. *Труды НИУИФ: Сб. научных трудов*. М.: НИУИФ, 2009. С. 277–287.
4. Becker P. Phosphates and Phosphoric Acid: Raw materials – Technology, and Economics of the Wet-Process. New York: Marcel Dekker, Inc. 1989. 740 p.
5. Гриневич А.В., Классен П.В., Кармышев В.Ф. Современные промышленные методы производства экстракционной фосфорной кислоты за рубежом // *Химическая промышленность за рубежом*. 1986. № 1. С. 1–31.
6. Патент РФ №2333151. Способ получения экстракционной фосфорной кислоты / Гриневич А.В., Кержнер А.М., Гриневич В.А., Кузнецов Е.М., Киселев А.А. Заявл. 04.06.2007. Опубл. 10.09.2008. Бюл. № 25.
7. Киперман Ю.А. Фосфаты в XXI веке. Алматы-Тараз-Жанатас. 2006. 208 с.
8. Евразийский патент № 015776. *Способ получения экстракционной фосфорной кислоты* / Гриневич А.В., Давыденко В.В., Киселев А.А., Кержнер А.М., Кузнецов Е.М., Гриневич В.А., Заявл. 21.07.2009. Опубл. 30.12.2011.

References

1. Evenchik S.D., Brodskii A.A. Tekhnologiya fosfornykh i kompleksnykh udobrenii. [Technology of phosphoric and complex fertilizers]. Moscow: Khimiya. 1987. 464 p.
2. Grinevich A.V., Kuznecov E.M., Davydenko V.V., Kerzhner A.M., Grinevich V.A., Kaleev I.A., Knizhencev I.A., Shibanov E.Ju., Perekrestov V.P. Experience of reconstruction of hemi-hydrate systems of production of WPA on JSC «Ammophos» and introductions of hemi-hydrate process on JSC «Balakovo mineral Fertilizers». *Works NIUIF: collection of scientific works*. Moscow: NIUIF. 2009, pp. 250–264. (In Russian).
3. Grinevich A.V., Kiselev A.A., Kuznecov E.M., Shibanov E.Ju., Didenko N.A. Development and deployment on JSC Ammophos of an advanced dihydrate way of receiving WPA with use of the COPEE RUST reactor. *Works NIUIF: collection of scientific works*. Moscow: NIUIF. 2009, pp. 277–287. (In Russian).
4. Becker P. Phosphates and Phosphoric Acid: Raw materials – Technology, and Economics of the Wet-Process. New York: Marcel Dekker, Inc. 1989. 740 p.
5. Grinevich A.V., Klassen P.V., Karmyshev V.F. Modern industrial methods of production of wet phosphoric acid abroad. *Himicheskaja promyshlennost' za rubezhom*. 1986. No. 1, pp. 1–31. (In Russian).
6. Patent RF №2333151. *Sposob polucheniya ekstraktsionnoi fosfornoi kisloty* [Way of receiving wet phosphoric acid]. Grinevich A.V., Kerzhner A.M., Grinevich V.A., Kuznecov E.M., Kiselev A.A., Declared 04.06.2007. Published 10.09.2008. Bulletin No. 25. (In Russian).
7. Kiperman Yu.A. Fosfaty v XXI veke [Phosphates in the XXI century]. Almaty-Taraz-Zhanatas. 2006. 208 p.
8. Eurasion patent № 015776. *Sposob polucheniya ekstraktsionnoi fosfornoi kisloty* [Way of receiving wet phosphoric acid]. Grinevich A.V., Davydenko V.V., Kiselev A.A., Kerzhner A.M., Kuznecov E.M., Grinevich V.A. Declared 21.07.2009. Published 30.12.2011. (In Russian).

УДК 691.327.333: 691-405.8

И.В. БЕССОНОВ[1], канд. техн. наук; Р.И. ШИГАПОВ[2], инженер; В.В. БАБКОВ[3], д-р техн. наук

[1] Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный проезд, 21)
[2] ООО «Уфимская гипсовая компания» (450069, г. Уфа, ул. Производственная, 8)
[3] Уфимский государственный нефтяной технический университет (450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

Теплоизоляционный пеногипс в малоэтажном строительстве

Рассмотрены технические и технологические аспекты получения и применения теплоизоляционного пеногипса в конструкциях наружных стен. Приведен опыт строительства и эксплуатации малоэтажных жилых домов с наружными стенами из пеногипса. Исследованы физико-механические характеристики пеногипса, полученного на установке ЭТС-0,5. Представлены результаты экспериментальных определений теплотехнических показателей пеногипсового теплоизоляционного материала. Приведены результаты натурных исследований динамики естественной сушки теплоизоляционного слоя из пеногипса в наружных стенах жилых домов. Разработаны предложения по совершенствованию технологии монолитного малоэтажного домостроения с применением пеногипса.

Ключевые слова: пеногипс, несъемная опалубка, теплоизоляционный слой, наружные стены, малоэтажные здания.

I.V. BESSONOV[1], Candidate of Sciences (Engineering); R.I. SHIGAPOV[2], Engineer; V.V. BABKOV[3], Doctor of Sciences (Engineering)
[1] Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)
[2] OOO «Ufimskaya gipsovaya kompaniya» (8, Proizvodstvennaya Street, Republic of Bashkortostan, Ufa, 450069, Russian Federation)
[3] Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov Street, Republic of Bashkortostan, Ufa, 450062, Russian Federation)

Heat-Insulating Foamed Gypsum in Low-Rise Construction

Technical and technological aspects of receiving and application of heat-insulating foamed gypsum in designs of external walls are considered. An experience in construction and operation of low-rise houses with external walls from foamed gypsum is given. Physical and mechanical characteristics of the foamed gypsum received at the ETS-0.5 plant are investigated. Results of experimental definitions of thermo-technical indicators of foamed gypsum heat-insulating material are presented. Results of the full-scale study of dynamics of natural drying of a heat-insulation layer from foamed gypsum in external walls of houses are given. Suggestions about improvement of technology of monolithic low-rise housing construction with foamed gypsum application are developed.

Keywords: foamed gypsum, permanent formwork, heat-insulation layer, external walls, low-rise buildings.

Одним из основных направлений развития строительного комплекса как в России в целом, так и регионов является строительство жилых зданий малой и средней этажности. Гипсовые материалы обладают важными преимуществами, такими как повсеместная распространенность сырья, простота и дешевизна технологического процесса получения гипсовых вяжущих, экологическая чистота и высокие теплозащитные свойства. За последние годы произошли значительные положительные изменения в развитии отечественной гипсовой промышленности, в частности многократно возросло производство гипсовых сухих смесей для внутренней отделки, гипсокартона и пазогребневых перегородочных плит. Однако изготовление наиболее востребованных строительством стеновых конструкций на гипсовой основе пока не нашло широкого распространения в строительном комплексе России [1–3].

Между тем почти вековой положительный опыт производства и применения гипсовых мелкоштучных изделий в Башкортостане, Самарской и Свердловской областях, Казахстане и др., где до сих пор успешно эксплуатируются поселки малоэтажных жилых домов (1–3 этажа) с несущими стенами из гипсовых или гипсошлаковых блоков, подтверждает целесообразность и эффективность использования гипса для данных целей [4, 5].

Для решения задачи снижения удельного расхода гипсового вяжущего весьма перспективным является использование монолитного пеногипса в наружных стеновых ограждениях. В последние годы НИИСФ РААСН, МГСУ, УГНТУ, КГАСУ, ООО «Вефт», ООО «Уфимская гипсовая компания» и др. организации занимаются разработкой технологии строительства малоэтажных каркасных зданий с использованием монолитного пеногипса в несъемной опалубке в качестве теплоизоляционного материала наружных стен [6, 7].

ООО «Уфимская гипсовая компания» активно набирает опыт возведения наружных стен малоэтажных каркасных жилых домов с применением монолитного пеногипса. За период 2011–2014 гг. в п. Ново-Иглино (Республика Башкортостан) построено семь одноквартирных жилых домов площадью по 107 м^2 и восемь двухквартирных жилых домов площадью по 120 м^2 с применением технологии залива пеногипса в несъемную опалубку каркасных наружных стен.

Технология возведения стен из пеногипса в несъемной опалубке заключается в следующем: наружные стены с деревянным каркасом, состоящим из унифицированного бруса 50×100×3000 мм, связанного с перемычками с двух сторон и обшитого фибролитовыми плитами толщиной 25 мм. Общая толщина стены составляет всего 40 см (рис. 1) [6]. Процесс сборки каркаса дома сила-

Таблица 1

Варианты объектов натурного исследования кинетики удаления избыточной влаги при естественной сушке пеногипса в несъемной опалубке наружных каркасных стен жилых домов

№ варианта	Конструктивные отличия стен	Условия эксплуатации дома
1	Монолитный пеногипс с установкой по центру стены с шагом 600 мм по всей высоте стены дренажной вставки квадратного сечения размером 100×200 мм из фибролита низкой плотности (ρ_0=250–300 кг/м^3)	Не отапливается
2	Монолитный пеногипс без дренажной вставки	Отапливается
3	Монолитный пеногипс без дренажной вставки	Не отапливается

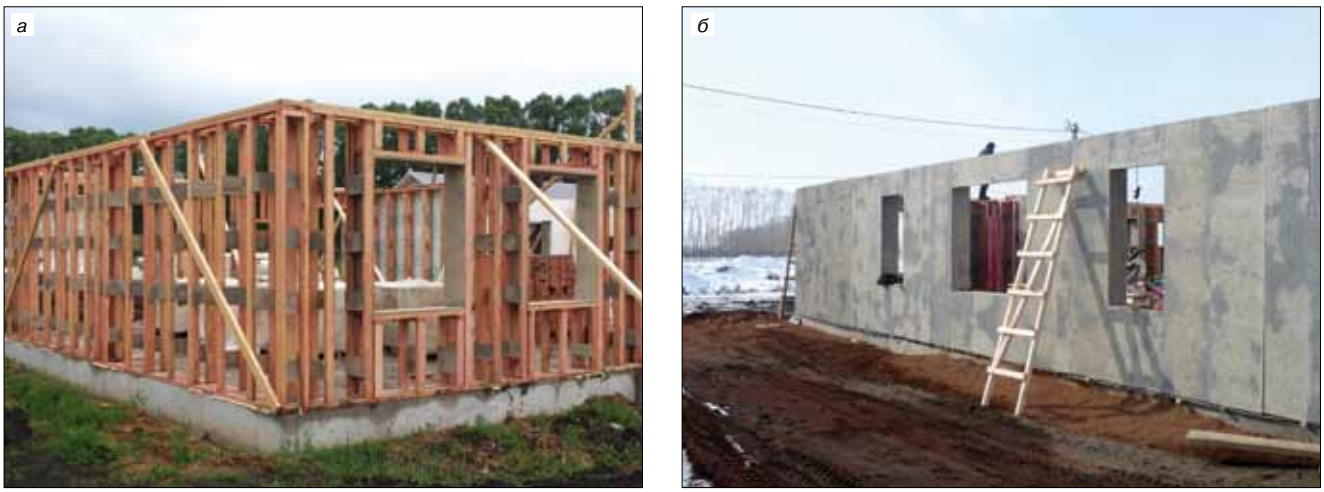


Рис. 1. Процесс сборки деревянного каркаса и обшивка листами фибролита

Рис. 2. Процесс заливки пеногипса в конструкции наружной стены

ми одной бригады, состоящей из четырех человек, занимает 8–10 дней.

Заливку теплоизоляционного пеногипса (рис. 2) в собранный каркас, обшитый фибролитовыми плитами, осуществляют механизированным способом с использованием модифицированной установки ЭТС-0,5 [8]. Продолжительность монолитных работ для одноэтажного дома площадью 120 м^2 составляет два рабочих дня при объеме заливаемого пеногипса 45 м^3. При суммарной толщине пеногипсового слоя 35 см распорного воздействия на опалубку не происходит, поскольку заливка производится послойно и нижний слой к моменту нанесения последующего уже затвердевает.

Физико-механические и эксплуатационные свойства пеногипса в значительной степени зависят от его влажности. В связи с этим проведены исследования кинетики удаления избыточной влаги при естественной сушке пеногипса в несъемной опалубке наружных каркасных стен жилых домов (табл. 1, рис. 3). В качестве объектов исследования выбраны три варианта наружных стен одноэтажных домов, отличающихся конструктивными особенностями ограждений и условиями эксплуатации помещений.

Пеногипс высыхает до влажности 10–12% по массе за 5–6 мес. при использовании дренажной вставки. Для лучшего эффекта осушения необходимо заливку пеногипса производить весной или в начале лета. Дом в процессе возведения должен стоять под навесом во избежание дополнительного увлажнения в период высыхания стен. Можно также использовать принудительное осушение инфракрасными излучателями или тепловыми пушками.

Натурными исследованиями определено, что процесс высыхания стен с двусторонней обшивкой фибролитовыми плитами довольно длительный и занимает более 6 мес. Это приводит к увеличению сроков сдачи объектов, так как сдвигает во времени момент начала выполнения внутренних отделочных работ.

Для ускорения высыхания стен было предложено применить в качестве внутренней несъемной опалубки пазогребневые гипсовые плиты (ПГП) толщиной 80 мм (рис. 4). Гипсовые плиты, как и пеногипс, обладают повышенными значениями влагопроводности и скорости

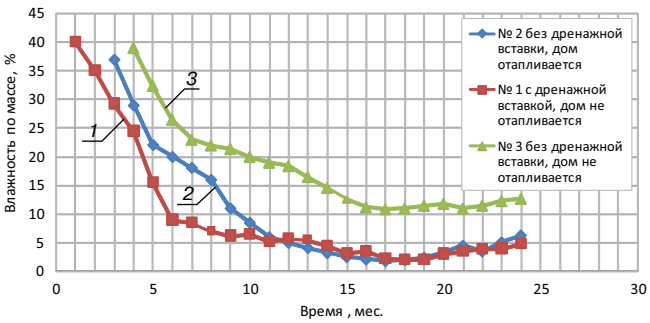


Рис. 3. Кинетика естественной сушки теплоизоляционного слоя из пеногипса в несъемной опалубке наружных каркасных стен жилых домов при различных конструктивных особенностях стен и условиях эксплуатации домов: *1* – вариант № 1; *2* – вариант № 2; *3* – вариант № 3

Таблица 2

Основные эксплуатационные параметры пеногипса

Наименование показателя	Метод испытания	Единицы измерения	Средние значения
Плотность, среднее значение	ГОСТ 17177 ГОСТ Р ЕН 1602	кг/м^3	400
Теплопроводность в сухом состоянии при t=25°C	ГОСТ 7076	Вт/(м·^{o}C)	0,12
Сорбция при 40% при 60% при 80% при 90% при 97%	ГОСТ 24816	%	1,45 2,54 4,9 12,8 14,15
Водопоглощение при полном погружении на 2 ч	ГОСТ 17177 и ГОСТ 23789	мас. %	135
Приращение теплопроводности на 1% влажности	ГОСТ 7076	Вт/(м·^{o}C·%)	0,01
Расчетные характеристики теплопроводности при условиях эксплуатации конструкций А при условиях эксплуатации конструкций Б	ГОСТ 7076, СП 23-101–2004	Вт/(м·^{o}C)	0,17 0,26
Паропроницаемость	ГОСТ 25898	мг/(м·ч·Па)	0,264
Предел прочности при сжатии	ГОСТ 10180	МПа	0,8
Коэффициент размягчения	ГОСТ 10180	–	0,31
Коэффициент теплоусвоения при условиях эксплуатации А при условиях эксплуатации Б	СП50.13330.2012	Вт/(м^2·^{o}C)	2,28 3,33

капиллярного всасывания [9]. Основной задачей ПГП является перенос избыточной влаги из массива пеногипса и передача на проветриваемую поверхность стены.

Для натурных исследований высыхания различных видов стен весной 2014 г. построен двухквартирный дом с различными конструктивными решениями внутренней несъемной опалубки. В первой половине дома использовали технологию с плитами из фибролита, во второй в качестве внутренней несъемной опалубки использовали пазогребневые гипсовые плиты. На рис. 5 представлены результаты натурных исследований изменения влажности пеногипса в различных вариантах стены.

В конструкции стены с внутренней опалубкой из ПГП происходит интенсивное осушение пеногипса в первые две недели, влажность опускается до 10–12 мас. %. Параллельно наблюдается естественное увеличение влажности самих ПГП с 5–8 % до 20–22%. Установлено, что ПГП во время процесса перераспределения влаги не деформируются, не изменяют геометрических параметров и внешнего вида. Таким образом, внутренние отделочные работы можно начинать через месяц после заливки пеногипса, не дожидаясь полного высыхания стен. Исследования показали, что стена из пеногипса с внутренней несъемной опалубкой из пазогребневых гипсовых плит является наиболее оптимальным вариантом по сравнению с другими.

В лаборатории НИИСФ РААСН проведены исследования влажностных и теплофизических характеристик пеногипса производства ООО «Уфимская гипсовая компания». В табл. 2 представлены основные эксплуатационные параметры пеногипса.

Проведенные исследования показали перспективность применения технологии заливочного пеногипса в ограждающих конструкциях с несъемной или съемной

Рис. 4. Стена из пеногипса с внутренней несъемной опалубкой из пазогребневых гипсовых плит

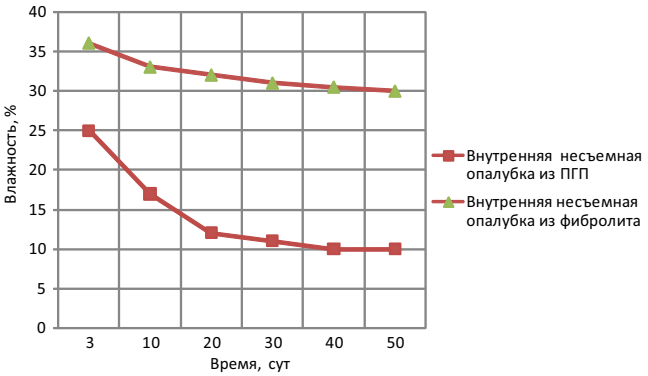


Рис. 5. Кинетика естественной сушки теплоизоляционного слоя из пеногипса в несъемной опалубке наружных каркасных стен жилых домов при различных конструктивных особенностях

опалубкой. При этом необходимо отметить следующие факты.

Пеногипс, как и большинство теплоизоляционных материалов, не предназначен для эксплуатации во влажной среде. Однако в исключительных случаях возможно периодическое замораживание и оттаивание (свежая заливка, протечка атмосферной влаги и др.) влажного пеногипса. Для исследования морозостойкости увлажненного пеногипса проведены циклы знакопеременного воздействия. Установлено, что при оттаивании в воде после замораживания на образцах после третьего цикла образовались крупные глубокие трещины. При оттаивании над водой снижение прочности образцов пеногипса после 15 циклов составило 8,5%, снижение прочности после 25 циклов – 30%, снижение прочности после 35 циклов – 47% от значений прочности контрольных образцов. Таким образом, катастрофического разрушения образцов не установлено, однако процесс заливки пеногипса в конструкции целесообразно завершать за две-три недели до первых заморозков.

Испытания воздухопроницаемости пеногипса показали, что значение $i=10^3\times 5{,}64$ кг/(м·ч·Па) сопоставимо с этим показателем для аналогичных пористых материалов. В зимний период через открытые поверхности пеногипса возможна инфильтрация воздуха и соответственно определенные теплопотери. Рекомендуется не оставлять открытые поверхности пеногипса, а закрывать их паропроницаемыми, но воздухонепроницаемыми материалами.

Теплотехнические, физико-механические показатели, а также результаты натурного исследования эксплуатационных характеристик, полученные в работе, позволят совершенствовать технологию монолитного мало-этажного домостроения с применением пеногипса. Дальнейшие усилия по развитию технологии получения пеногипса, в частности гипсового вяжущего, композиционных составов и др. целесообразно направить на снижение абсорбционных и адсорбционных свойств материала по отношению к воде, а также на снижение показателя зависимости теплопроводности от влажности.

Список литературы

1. Бабков В.В., Латыпов В.М., Ломакина Л.Н., Шигапов Р.И. Модифицированные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости и гипсокерамзитобетонные стеновые блоки для малоэтажного жилищного строительства на их основе // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 4–7.
2. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И. Состояние и тенденции развития промышленности гипсовых строительных материалов // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 44–46.
3. Шигапов Р.И., Бабков В.В., Юрпик В.А. Материалы из модифицированных гипсовых вяжущих для наружных стен малоэтажных жилых домов. *Материалы VI Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»*. Пермь. 2012. С. 208–212.
4. Ферронская А.В., Корвяков В.Ф., Баранов И.М., Бурьянов А.Ф., Лосев Ю.Г., Поплавский В.В., Шишин А.В. Гипс в малоэтажном строительстве. М.: АСВ, 2008. 240 с.
5. Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Недосека И.В., Печенкина Т.В. Опыт производства и эксплуатации гипсовых стеновых изделий // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 78–80.
6. Шигапов Р.И., Бабков В.В., Халиуллин М.И. Использование пеногипса в малоэтажном строительстве // *Известия КГАСУ*. 2014. № 2. С.45–50.
7. Пустовгар А.П., Гагулаев А.В. Теплофизические характеристики ограждающих конструкции из модифицированного гипсопоробетона // *Строительные материалы*. 2008. № 7. С. 34–35.
8. Патент РФ 2373049. Поризационный смеситель для приготовления ячеистых смесей / Ефимов П.А.; Заявл. 04.05.2008. Опубл. 20.11.2009. Бюл. № 32.
9. Бессонов И.В. Характеристики влагопереноса пеногипса // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 34–37.

References

1. Babkov V.V., Latypov V.M., Lomakina L.N. Shigapov R.I. Modified gypsum binders of high water resistance and gypsum-claydite-concrete wall blocks for low-rise housing construction on their basis. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 4–7. (In Russian).
2. Rakhimov R.Z., Haliullin M.I. State and tendencies of development of the gypsum building materials industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 12, pp. 44–46. (In Russian).
3. Shigapov R.I., Babkov V.V., Yurpik V.A. Materials from the modified plaster low houses knitting for external walls. *Materials VI of the International scientific and practical conference "Increase of Production Efficiency and Application of Plaster Materials and Products"*. Perm. 2012, pp. 208–212. (In Russian).
4. Ferronskaya A.V., Korvyakov V.F., Baranov I.M., Buryanov A.F., Losev Yu.G. Poplavsky V.V., Shishin A.V. Gips v maloetazhnom stroitel'stve [Plaster in low construction]. Moscow: ASV. 2008. 240 p.
5. Mirsayev R.N., Babkov V.V., Nedoseka I.V., Pechenkina T.V. Experience of production and operation of plaster wall products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 78–80. (In Russian).
6. Shigapov R.I., Babkov V.V., Haliullin M.I. Foamed gypsum use in low construction. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 2, pp. 45–50. (In Russian).
7. Pustovgar A.P., Gagulayev A.V. Heat physical characteristics designs from modified gypsum-cell concret. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 7, pp. 34–35. (In Russian).
8. Patent RF 2373049. *Porizatsionnyi smesitel' dlya prigotovleniya yacheistykh smesei* [The Mixer for porization for preparation of cellular mixes]. Yefimov P.A. declared 04.05.2008. Published 20.11.2009. Bulletin No. 32. (In Russian).
9. Bessonov I.V. Characteristics of moisture transfer of foamed gypsum. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012 . No. 7, pp. 34–37. (In Russian).

Реклама

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

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

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")

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 %

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

ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

ДО-40 / 60 / 80МГ4
метод поперечной оттяжки
диапазон контролируемых усилий 2...120 кН
диаметр арматуры 3...12 мм

ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

ИПА-МГ4
диаметр контролируемой арматуры 3...40 мм
диапазон измерения защитного слоя 3...140 мм

ДИНАМОМЕТРЫ

ДМС-МГ4 / ДМР-МГ4
эталонные
сжатия / растяжения
предельная нагрузка 1...1000 кН

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.

2 Weimarer gipstagung – 2-я Международная Веймарская гипсовая конференция

В конце марта в старинном немецком городе Веймаре состоялась 2-я Международная Веймарская гипсовая конференция. Ее организатором выступает Институт строительства им. Ф.А. Фингера Веймарского университета. Партнером российской стороны является Российская гипсовая ассоциация.

В конференции приняли участие более 120 ученых и представителей производсвтенных предприятий из 15 стран. В течение двух дней работы было заслушано и обсуждено 63 доклада. Поскольку российские коллеги составляли более 10% участников, то впервые был организован синхронный перевод докладов на русский язык. Сборник докладов также включает русскоязычный контент, что говорит о высоком авторитете российской науки в области гипсовых материалов.

Тематика конференции охватывала широкий спектр вопросов материаловедения в области гипсовых материалов. В тандеме с российской конференцией «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий» специалисты получают полный спектр информации о разработке, производстве, свойствах и эксплуатации различных материалов на основе гипса.

А.Ф. Бурьянов, д-р техн. наук, профессор Московского государственного строительного университета, директор Российской гипсовой ассоциации

Участников конференции приветствует директор института строительства Веймарского университета г-н Х.-М. Людвиг

Отличительная черта Веймарской гипсовой конференции – большое количество среди участников молодых ученых

С большим интересом ожидали участники конференции заявленный заранее доклад Российской гипсовой ассоциации «Состояние и перспективы развития гипсовой отрасли России», с которым выступил директор, д-р техн. наук. А.Ф. Бурьянов. Это не удивительно, ведь гипсовая промышленность России одна из самых динамично развивающихся в настоящее время, она восприимчива к новейшим технологиям, основанным на результатах научных исследований.

Программа конференции предусматривает ответы на вопросы непосредственно после доклада. Это позволяет активно обсудить представленные научные результаты, высказать свое мнение, полемизировать

Доклад профессора Х.-Б. Фишера назывался лаконично, но весьма емко – «Гипс и вода».

О механизмах влияния различных добавок на гипсовые системы рассказал проф. А. Вольтер (Технический университет г. Клаусталь)

Модератор одного из заседаний конференции Х.-У. Хуммель, руководитель отдела менеджмента рынка Группы «КНАУФ» в г. Ипхофене (слева), профессор Х.-Б. Фишер (справа)

Стендовые доклады на конференции также активно обсуждаются коллегами

Российские ученые – активные участники научной дискуссии. В.Г. Хозин, д-р техн. наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (слева); Г.И. Яковлев, д-р техн. наук, Ижевский государственный технический университет (справа)

Известный ученый в области гипса Р. Треттин (Германия) живо интересуется работами зарубежных коллег

Доклады российских ученых всегда вызывают интерес коллег. В.Б. Петропавловская, канд. техн. наук, Тверской государственный технический университет (слева); О.В. Никитина, Томский государственный архитектурно-строительный университет (справа); М.С. Гаркави, д-р техн. наук, ЗАО «Урал-Омега» (внизу)

Журнал «Строительные материалы»® впервые был представлен на Веймарской гипсовой конференции

Следующая встреча с коллегами-гипсовиками в Нижнем Новгороде на VII Международной конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»

УДК 691.311

М.С. ГАРКАВИ[1], д-р техн. наук, А.В. АРТАМОНОВ[1], канд. техн. наук,
Е.В. КОЛОДЯЖНАЯ[1], канд. техн. наук; А.Ф. БУРЬЯНОВ[2], д-р техн. наук

[1] ЗАО «Урал-Омега» (455037, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр-т Ленина, 89, стр. 7)
[2] Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Композиционное ангидритошлаковое вяжущее центробежно-ударного измельчения

Ангидритовые вяжущие являются альтернативой клинкерным цементам благодаря низкой энергоемкости производства. Основу составляют природный ангидрит или техногенные продукты, содержащие безводный сульфат кальция. Гидравлическая активность ангидрита обеспечивается его тонким измельчением и применением активаторов твердения. В качестве активатора твердения ангидрита в данной работе использовался отвальный глиноземистый шлак, в химическом составе которого преобладают оксиды алюминия (50–75%) и кальция (15–25%). Установлено, что твердение композиционного ангидритового вяжущего определяется его зерновым составом и концентрацией дефектов на поверхности частиц. Обеспечение преобладающего размера частиц 15 мкм с бóльшим содержанием поверхностных активных центров достигается при измельчении компонентов композиционного вяжущего в центробежно-ударной мельнице. В этой мельнице происходит механоактивация и механохимическое взаимодействие ангидрита и глиноземистого шлака. Показано, что при содержании в составе композиционного вяжущего до 30% глиноземистого шлака возрастает содержание эттрингита в структуре искусственного камня, что сопровождается ростом его прочности.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее, искусственное старение гипсового вяжущего, сухие строительные смеси.

M.S. GARKAVI[1], Doctor of Sciences (Engineering), A.V. ARTAMONOV[1], Candidate of Sciences (Engineering),
E.V. KOLODYAZHNAYA[1], Candidate of Sciences (Engineering); A.F. BURIANOV[2], Doctor of Sciences (Engineering)
[1] ZAO "Ural-Omega" (structure 7, 89, Lenina Avenu, Magnitogorsk, 455037, Chelyabinskaya Oblast, Russian Federation);
[2] Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

Composite Anhydrite-Slag Binder of Centrifugal-Impact Grinding

Anhydrite binders are an alternative to clinker cement due to the low energy consumption of their production. The basis of these binders is natural anhydrite or anthropogenic products containing waterless calcium sulphate. Hydraulic activity of anhydrite is ensured with its fine grinding and the use of hardening activators. As an activator of anhydrite hardening in this work, the waste aluminous slag, in chemical composition of which alumina oxide (50–75%) and calcium oxide (15–25%) prevail, are used. It is established that the hardening of the composite anhydrite binder is defined by its grain composition and concentration of defects on the particles surface. Ensuring the predominant particle size of 15 microns with high content of surface active centers is reached by grinding of components of the composite binder in a centrifugal-impact mill. Mechanical activation and mechanical-chemical interaction of anhydrite and aluminous slag takes place in this mill. It is shown that when the content of aluminous slag in the composition of composite binder is up to 30%, the content of ettringite in the structure of the artificial stone increases that leads to its strength growth.

Keywords: anhydrite binder, hydraulic activity of anhydrite, centrifugal-impact mill, mechanical activation.

Материалы на основе ангидрита продолжительное время применяются в строительстве, причем в последнее время масштаб их использования возрастает. Это обусловлено развитием малоэтажного строительства, в котором сдерживающим фактором выступает высокая стоимость традиционных керамических и силикатных материалов. Ангидритовое вяжущее характеризуется низкой себестоимостью, так как энергозатраты на его производство значительно ниже, чем на изготовление портландцемента и строительного гипса. Области применения ангидритового вяжущего в строительстве обусловливаются физико-химическими процессами, лежащими в основе его твердения.

При твердении ангидритового вяжущего важную роль играет состояние поверхности частиц, которое определяется природой и концентрацией активных поверхностных центров [1]. Кристаллическая решетка ангидрита обладает плотной упаковкой и является наиболее устойчивой по сравнению с кристаллической решеткой других сульфатов кальция. Для ускорения твердения ангидритового вяжущего необходимо нарушить существующую в решетке ангидрита координацию ионов Ca^{2+}, что достигается использованием следующих технологических приемов:

– тонким измельчением ангидрита;

– использованием различных активаторов твердения, вводимых в вяжущее при помоле или в воду затворения.

Одним из таких приемов является механоактивация, которая заключается в создании структурных дефектов и активных центров в зернах материала. Различают два случая механической активации:

1. Время механического воздействия, формирования поля напряжений и его релаксации больше, чем время физико-химической реакции. Этот процесс называется механохимическим.

2. Время механического воздействия, формирования поля напряжений меньше, чем скорость физико-химической реакции, или вообще эти два процесса разделены во времени. Такой процесс называется механической активацией.

Таким образом, увеличение реакционной способности твердых веществ при механической активации происходит не столько за счет увеличения их поверхности вследствие измельчения, сколько вследствие накопления в твердом теле различного рода дефектов (точечных и линейных). Наиболее эффективным способом передачи энергии в процессе механоактивации является ударное воздействие, так как именно оно позволяет концентрировать механическую энергию в определенных участках обрабатываемого тела. Этим условиям отвечает центробежно-ударная мельница, которая обеспечивает высокую энергонапряженность (более 10 кВт/кг) и большую скорость распределения ударной волны в материале, что сопровождается повышением концентрации статических дефектов и увеличением

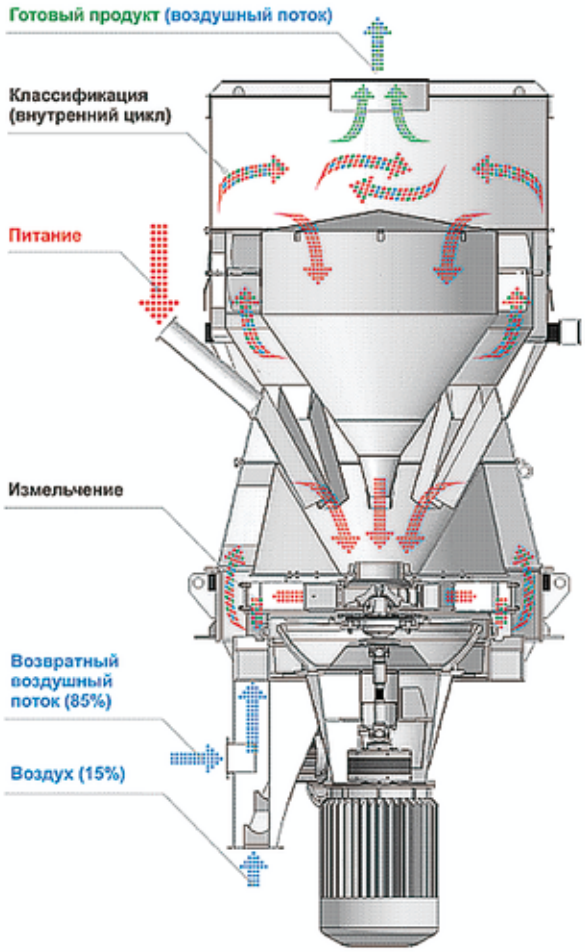


Рис. 1. Схема измельчения материала в центробежно-ударной мельнице

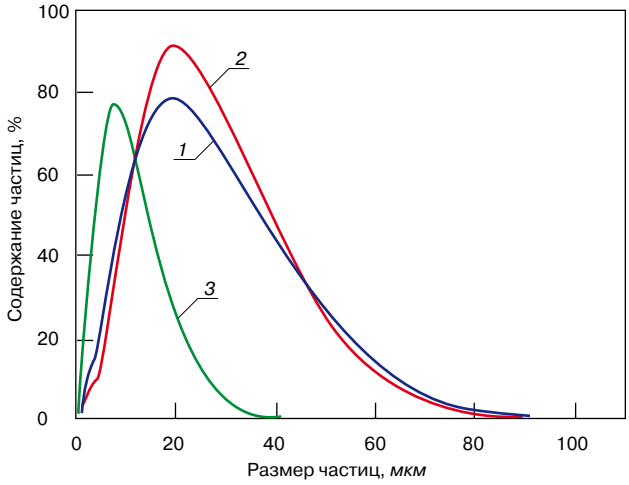


Рис. 2. Зерновой состав ангидрита (дифференциальная кривая): *1* – без классификации; *2* – АК; *3* – АМ

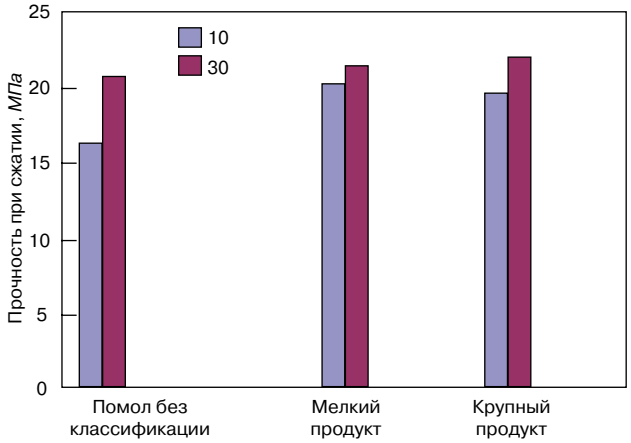


Рис. 3. Прочность при сжатии камня из композиционного ангидритового цемента

степени сохранности динамических дефектов структуры [2].

Измельчение в этих мельницах основано на механическом разгоне твердых частиц и осуществляется путем свободного удара частиц о неподвижную преграду; возможно взаимное соударение частиц (рис. 1). Совокупность таких измельчающих воздействий и наличие встроенного воздушного классификатора обеспечивают необходимый гранулометрический состав полученного продукта, одинаковую форму частиц с высокой дефектностью. За счет изменения скорости и направления движения воздушных потоков в зоне измельчения и классификаторе можно в достаточно широких пределах регулировать размер частиц получаемого материала.

Гидратация тонкоизмельченного ангидрита зависит от его зернового состава, поэтому предпочтительным является использование вяжущего с узкой гранулометрией, так как здесь наблюдается гидратация частиц с одинаковой скоростью. Если активатор вводится в ангидритовое вяжущее при помоле, то его зерновой состав должен быть аналогичен гранулометрии ангидрита. Именно такой зерновой состав композиционного вяжущего достигается при измельчении компонентов вяжущего в вышеуказанных мельницах.

Целью настоящей работы является получение композиционного ангидритового цемента на основе природного ангидрита (содержание сульфата кальция 85,5%) и глиноземистого шлака. Выбор последнего в качестве активатора твердения ангидрита обусловлен его химическим составом, в котором преобладают оксиды алюминия (50–75%) и кальция (15–25%). Такой состав шлака обеспечивает создание необходимой кислотности жидкой фазы и концентрации в ней ионов кальция и алюминия, способствующих активизации твердения ангидритового цемента.

Кроме того, применение составляющих композиционного цемента, интенсивно измельченных ударными воздействиями и имеющих зерна с большим количеством дефектов, обеспечивает условия для протекания твердофазовых реакций благодаря высокоразвитой контактной поверхности, содержащей ненасыщенные химические связи и активные радикалы.

Компоненты композиционного ангидрито-шлакового вяжущего были размолоты в центробежно-ударной мельнице, причем при помоле ангидрита производилась его классификация с разделением на два продукта – мелкий (АМ) и крупный (АК). Зерновой состав ангидрита, определенный методом лазерной гранулометрии, приведен на рис. 2.

Исследуемые композиционные ангидритовые цементы содержали в качестве активатора указанный выше глиноземистый шлак в количестве 10 и 30 мас. %. Из этих вяжущих были изготовлены образцы, прочность которых через 1 сут твердения в нормальных условиях приведена на рис. 3.

Как следует из приведенных данных, использование классификации при измельчении ангидрита способствует увеличению прочности композиционного цемента при содержании в нем 10% шлака. Это обусловлено тем, что в составе композиционного вяжущего глиноземистый шлак выполняет роль микронаполнителя, который является центром кристаллизации. Это способству-

ет активации процесса твердения ангидритового вяжущего, повышая тем самым плотность и прочность искусственного камня.

Увеличение доли шлака в составе композиционного ангидритового цемента нивелирует влияние дисперсности ангидрита (различие в прочностных показателях не превышает 9%). Возрастание прочности обусловлено образованием и увеличением доли эттрингита в структуре камня при 30%-м содержании шлака в составе исследуемого цемента (рис. 4), а также ускорением процесса твердения ангидрита в присутствии минеральных добавок по механизму кристаллизации на подложке [3].

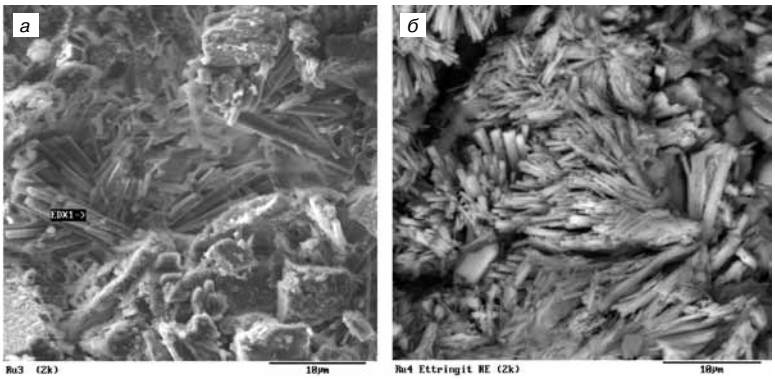


Рис. 4. Структура затвердевшего ангидритового камня: *а* – содержание шлака 10 %; *б* – содержание шлака 30 %

Полученные результаты свидетельствуют, что при высоком содержании активатора в составе ангидритового цемента можно отказаться от классификации измельчаемого ангидрита, что повышает производительность центробежно-ударной мельницы. Таким образом, использование центробежно-ударных мельниц в составе измельчительных комплексов, включающих системы аспирации, питатели, емкости для хранения используемых компонентов и готовой продукции, позволяет получать композиционный ангидритовый цемент с необходимыми строительно-техническими свойствами без использования достаточно дорогих химических активаторов.

Список литературы

1. Сватовская Л.Б., Сычев М.М. Активированное твердение цементов. Л.: Стройиздат, 1983. 160 с.
2. Воробьев В.В., Кушка В.Н., Свитов В.С., Гаркави М.С. Современное оборудование для измельчения и классификации материалов // *Вестник БГТУ.* 2003. № 6. С. 280–284.
3. Алтыкис М.Г., Рахимов Р.З., Халиуллин М.И., Морозов В.П. Разитие теоретических основ и создание нового поколения высококачественных, экономичных и экологически чистых гипсовых вяжущих и материалов // *Сб. трудов Всероссийского семинара «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий».* Москва. 2002. С. 138–142.

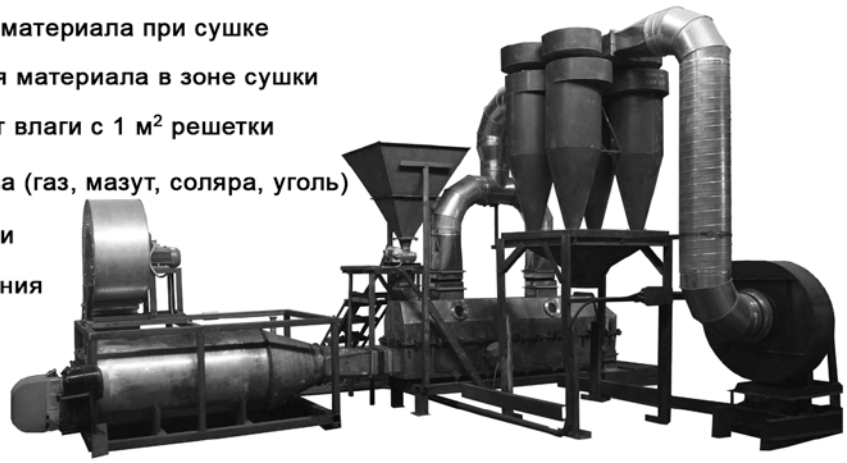
References

1. Svatovskaya L.B., Sychev M.M. Aktivirovannoe tverdenie tsementov [The activated curing of cements]. Leningrad.: Stroiizdat 1983. 160 p.
2. Vorob'ev V.V., Kushka V.N., Svitov V.S., Garkavi M.S. Modern equipment for crushing and classification of materials. *Vestnik BGTU.* 2003. No. 6, pp. 280–284.
3. Altykis M.G., Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I., Morozov V.P. Development of theoretical bases and creation of new generation high-quality, economic and environmentally friendly plaster knitting and materials. *Collection of works of the Vserosskiysky seminar "Increase of production efficiency and application of plaster materials and products".* Moscow. 2002, pp. 138–142.

Активатор
измельчение активация синтез

Российские сушилки кипящего слоя «Активатор»

* Малые габариты, промышленная производительность (от 1 до 10 т/час)
* Контролируемая температура материала при сушке
* Контроль времени пребывания материала в зоне сушки
* Интенсивный влагосъем до 2 т влаги с 1 м² решетки
* Использование любого топлива (газ, мазут, соляра, уголь)
* Удаление пыли во время сушки
* Совмещение сушки и охлаждения
* Электронный контроль сушки



www.activator.ru
Машиностроительный Завод «Активатор»
Новосибирская обл., р.п. Дорогино,
630056, Новосибирск 56, а/я 141
Факс: +7 (38345) 710-61
Тел.: +7 913 942 94 81
e-mail: belyaev@activator.ru

Реклама

УДК 666.914

В.Б. ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ[1],канд. техн. наук, Т.Б. НОВИЧЕНКОВА[1], канд. техн. наук;
А.Ф. БУРЬЯНОВ[2], д-р техн. наук; Х.-Б. ФИШЕР[3], д-р-инженер; К.С. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ[1], инженер

[1] Тверской государственный технический университет (170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22)
[2] Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)
[3] Веймарский строительный университет (99423, Германия, г. Веймар, Гешвистер-Шолл штр., 8)

Самоармированные гипсовые композиты

С целью повышения физико-механических характеристик гипсовых материалов и изделий исследовалась возможность их самоармирования за счет формирования в гипсовой матрице кристаллов волокнистого эттрингита. Приведены результаты исследований влияния щелочности поровой жидкости на морфологию получаемых кристаллов эттрингита. В качестве комплексной добавки использовались растворы сернокислого алюминия и гидроксида кальция. Установлено, что фактором, регламентирующим количество образующегося эттрингита, является раствор сернокислого алюминия. Также исследованы процессы кристаллизации дисперсных систем. Анализ микроструктуры модифицированного гипсового камня показал, что в случае использования комплексной добавки структура композита состоит из таблитчатых кристаллов гипса и игольчатых кристаллов эттрингита. Установлено, что использование комплексной добавки на основе сернокислого алюминия и гидроксида кальция позволяет повысить прочность гипсовых материалов более чем на 80% без значительной потери плотности.

Ключевые слова: гипсовая матрица, эттрингит, модифицирующая добавка.

V.B. PETROPAVLOVSKAYA[1], Candidate of Sciences (Engineering), T.B. NOVICHENKOVA[1], Candidate of Sciences (Engineering);
A.F. BURIANOV[2], Doctor of Sciences (Engineering); H.-B. FISHER[3], Doctor-Engineer; K.S. PETROPAVLOVSKY[1], Engineer
[1] Tver State Technical University (22, Afanasiya Nikitina Embankment, 170026, Tver, Russian Federation)
[2] Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)
[3] Bauhaus-Universität Weimar (8, Geshvister-Sholl Street, Weimar, 99423, Germany)

Self-Reinforcing Gypsum Composites

With the purpose to improve physical and mechanical characteristics of gypsum materials and products the possibility of their self-reinforcement due to the formation of crystal of fibrous ettringite in the gypsum matrix has been studied. Results of the study of influence of pore liquid alkalinity on the morphology of ettringite crystals obtained are presented. Solutions of aluminum sulphate and calcium hydroxide were used as a complex additive. It is established that the solution of aluminum sulfate is a factor regulating the quantity of ettringite generated. Processes of crystallization of disperse systems are also studied. An analysis of microstructure of modified gypsum stone shows that in case of the use of the complex additive the composite structure consists of tabular crystals of gypsum and needle-shaped crystals of ettringite. It is established that the use of the complex additive on the basis of aluminum sulfate and calcium hydroxide makes it possible to increase the strength of gypsum materials by over 80% without significant loss of density.

Keywords: gypsum matrix, ettringite, modifying additive.

Широкое применение в зарубежном производстве строительных материалов и изделий гипсовых вяжущих обусловлено совокупностью ряда положительных, а во многом и уникальных свойств, присущих только гипсу [1, 2].

Расширение области применения гипсовых составов в производстве стеновых изделий возможно за счет повышения их физико-механических и эксплуатационных характеристик, в том числе путем армирования добавками разной природы, формы и размера [3–8].

В целях повышения физико-механических характеристик гипсового камня в работе исследовалась возможность самоармирования композиций на основе полугидрата сульфата кальция за счет формирования в гипсовой матрице кристаллов волокнистого эттрингита.

Известно, что в дисперсной системе сульфата кальция на наноструктурном уровне путем управления процессом кристаллизации возможно образование игольчатых и призматических кристаллов гидросульфоалюминатов кальция, упрочняющих структуру гипса.

Размеры кристаллов эттрингита определяются величиной pH поровой жидкости. При высоком содержании гидроксида кальция в гипсовой системе гидратационного твердения (pH≈13) эттрингит образуется только в виде высокодисперсных кристаллов [9, 10]. При пониженном содержании $Ca(OH)_2$ (pH≈10,5) эттрингит образуется в виде игольчатых, протяженных кристаллов. Следовательно, оптимальное содержание гидроксида позволит упрочнить структуру гипсовой матрицы за счет формирования протяженных нитевидных (игольчатых) кристаллов эттрингита, образующихся одномоментно с кристаллами дигидрата сульфата кальция.

В работе в качестве основного компонента применяли гипсовое вяжущее β-модификации марки Г-5 AI Пешеланского гипсового завода Нижегородской области «ДЕКОР-1», а также растворы сернокислого алюминия и гидроксида кальция. Щелочность растворов оценивали по величине pH на pH-метре.

Влияние индивидуальных растворов сернокислого алюминия, и гидроксида кальция и комплексной модифицирующей добавки на их основе на свойства гипсовой матрицы оценивали по величине предела прочности при сжатии и средней плотности на образцах-кубах с размером ребра 70,7 мм в возрасте 3 сут. Испытания по оценке прочности на гидравлическом прессе проводились на образцах в воздушно-сухом состоянии. Плотность гипсового камня определялась по стандартной методике. Морфологию кристаллов на стекле оценивали с помощью цифрового микроскопа DM200-2 QIDDYCOME, также для исследования микроструктуры модифицированной гипсовой композиции использован растровый электронный микроскоп университета материаловедения Bauhaus Universität (Веймар, Германия).

Ввиду того что при варьировании содержания индивидуальных растворов в составе смеси можно регулиро-

Таблица 1

Значения pH для индивидуальных растворов

pH воды	pH гидроксида кальция	pH сернокислого алюминия	pH гипсовой суспензии
5,35	12,24	3,35	9,07

Таблица 2

Зависимость pH от концентрации раствора сернокислого алюминия

pH раствора	Содержание гидроксида кальция, % (по объему)
3,35	0
3,66	50

Таблица 3

Зависимость pH раствора от содержания сернокислого алюминия

pH раствора	Содержание раствора гидроксида кальция, % (по объему)
3,32	0
3,71	50

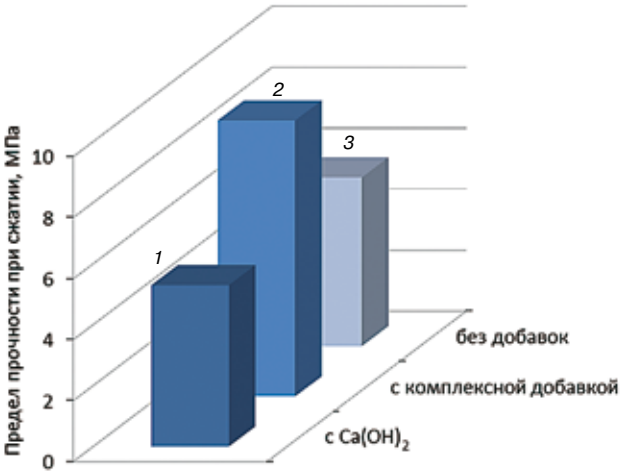


Рис. 1. Сравнительные характеристики прочности в зависимости от состава гипсовой композиции: *1* – с добавкой гидроксида кальция; *2* – с комплексной добавкой; *3* – без добавок

вать процесс образования эттрингита в системе, в работе исследовались изменения щелочности среды в зависимости от концентрации индивидуальных растворов сернокислого алюминия и гидроксида кальция (табл. 1).

Полученные данные показывают, что исследованные индивидуальные растворы различаются по показателям щелочности среды, которая в дальнейшем, возможно, будет определять структурные особенности кристаллизации вещества из растворов в составе гипсовых композиций.

Результаты исследований влияния концентрации раствора сернокислого алюминия на pH представлены в табл. 2. Результаты исследований влияния концентрации раствора сернокислого алюминия на pH представлены в табл. 3.

Данные результатов испытаний щелочности среды в зависимости от концентрации растворов показали, что при смешивании индивидуальных растворов pH изменяется, но незначительно. Щелочная среда раствора гидроксида кальция нейтрализуется раствором сернокислого алюминия, так как насыщенный раствор сернокислого алюминия обладает большей концентрацией, чем раствор гидроксида кальция, поэтому фактором, регламентирующим количество образующегося эттрингита, является раствор сернокислого алюминия.

На основе результатов исследований применяемых добавок по щелочности были исследованы процессы кристаллизации дисперсных систем на основе индивидуальных растворов и их смесей.

Полученные результаты исследования влияния добавок на твердение гипсовых композиций и физико-механические характеристики материала показали, что наибольшей прочностью обладают образцы на основе полуводного гипса с комплексной наномодифицирующей добавкой (рис. 1). Образцы с добавкой гидроксида кальция, как и бездобавочные, характеризуются несколько меньшей прочностью, что обусловлено увеличением количества контактов в единице объема кристаллизующегося вещества в случае самоармирования волокнами эттрингита.

Анализ микроструктуры показал, что при применении добавки гидроксида кальция максимальная плотность образцов обусловлена образованием пористой структуры на начальной стадии твердения (рис. 2), которая в дальнейшем уплотняется за счет перекристаллизации тонкодисперсных частичек дигидрата (рис. 3). В случае использования комплексной добавки структура композита состоит из таблитчатых кристаллов гипса и игольчатых кристаллов эттрингита (рис. 4) с характерным их скоплением в области пустот кристаллической решетки.

Сравнительный анализ свойств гипсовых композиций (рис. 1, рис. 5) показал, что при модификации гипсовой матрицы комплексной добавкой в отличие от бездобавочных и модифицированных гидроксидом составов происходит изменение микроструктуры гипсового композита, структура гипсового камня уплотняется, повышаются его основные физико-механические характеристики. Проведенные исследования подтверждают, что при постоянной концентрации гидроксида кальция увеличение прочности и плотности гипсовой матрицы происходит за счет увеличения концентрации сернокислого алюминия. Оптимальное содержание добавки по критерию прочности составляет 11%.

Рис. 2. Кристаллизация дигидрата с добавлением гидроксида кальция из раствора на стекле

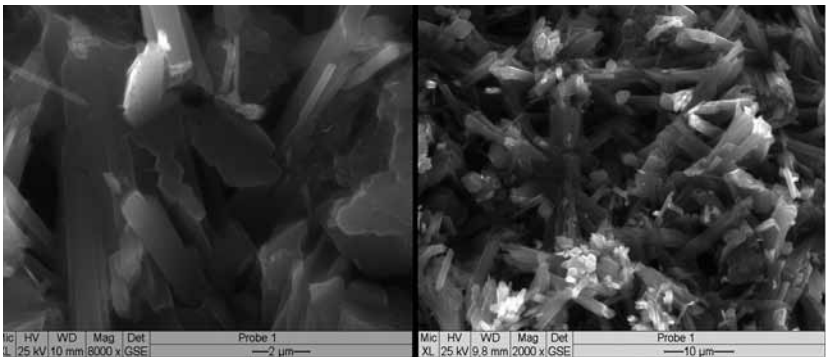


Рис. 3. Микроструктура гипсовой композиции с добавлением гидроксида кальция

Рис. 4. Кристаллизация эттрингита из раствора на стекле

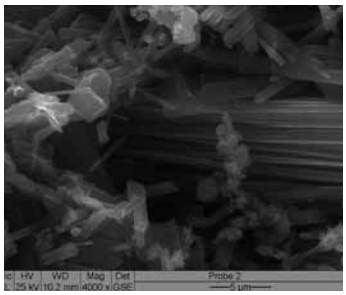


Рис. 5. Микроструктура гипсовой композиции с добавлением комплексного модификатора

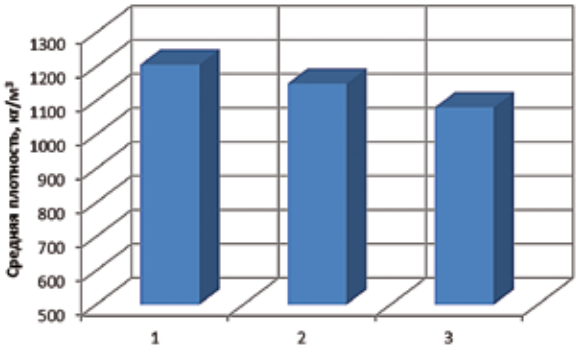


Рис. 5. Сравнительные характеристики средней плотности в зависимости от состава гипсовой композиции: *1* – с добавкой гидроксида кальция; *2* – с комплексной добавкой; *3* – без добавок

Установлено, что кристаллизация эттрингита в системе полугидрата сульфата кальция при поддержании необходимого pH и содержания сернокислого алюминия совпадает по времени с кристаллизацией дигидрата сульфата кальция, поэтому образовавшийся гидросульфоалюминат кальция, заполняя поры, не вызывает вредных напряжений, являясь структурным элементом твердеющей дисперсной системы.

Таким образом, путем направленной кристаллизации модифицированной гипсовой матрицы при твердении композиции с комплексной добавкой возможно образование игольчатых и призматических кристаллов гидросульфоалюминатов кальция, которые будут упрочнять структуру гипса. Установлено, что использование комплексной добавки на основе сернокислого алюминия и гидроксида алюминия позволяет повысить прочность гипсовых материалов по сравнению с контрольными образцами более чем на 80% без значительной потери плотности.

Список литературы

1. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И., Петропавловская В.Б., Фишер Х.-Б., Маева И.С., Новиченкова Т.Б. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. М.: Де Нова. 2012. 196 с.
2. Бабков В.В., Латыпов В.М., Ломакина Л.Н., Шигапов Р.И. Модифицированные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости и гипсокерамзитобетонные стеновые блоки для малоэтажного жилищного строительства на их основе // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 4–8.
3. Сафонова Т.Ю. Влияние реактивного пуццолана на свойства смешанного воздушного вяжущего // *Вестник гражданских инженеров*. 2012. № 2. С. 174 –179.
4. Гаркави М.С., Панферова А.Ю., Некрасова С.А., Михайлова К.А. Формирование структуры наномодифицированного гипсополимерного материала // *Сухие строительные смеси*. 2013. № 2. С. 38–40.
5. Лесовик В.С., Чернышева Н.В., Клименко В.Г. Процессы структурообразования гипсосодержащих компонентов с учетом генезиса сырья // *Известия вузов. Строительство*. 2012. № 4. С. 3–11.
6. Кузьмина В.П. Способ введения базальтового волокна в композитные материалы // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2011. № 2. С. 59–64. http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_2_2009_RUS.pdf (дата обращения 10.06.2014).
7. Гаркави М.С., Некрасова С.А., Трошкина Е.А. Кинетика формирования контактов в наномодифицированных гипсовых материалах // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 38–40.
8. Маева И.С., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П. Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 4–5.
9. Козлова В.К., Вольф А.В. Анализ причин позднего появления эттрингита в цементном камне // *Ползуновский вестник*. 2009. № 3. С. 176–181.
10. Чернышева Н.В., Лесовик В.С. Быстротвердеющие композиты на основе водостойких гипсовых вяжущих. Белгород: БГТУ, 2011. 100 с.

References

1. Belov V.V., Bur'yanov A.F., Yakovlev G.I., Petropavlovskaya V.B., Fisher H.-B., Maeva I.S., Novichenkova T.B. Modifikacija struktury i svojstv stroitel'nyh kompozitov na osnove sul'fata kal'cija [Modification of structure and properties of construction composites based on calcium sulfate]. Moscow: De Nova. 2012. 196 p.
2. Babkov V.V., Latypov V.M., Lomakina L.N., Shigapov R.I. Modified plaster knitting with increased water resistance and gypsum haydite-concrete wall blocks for low housing construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 4–8. (In Russian).
3. Safonova T.Ju. Influence reactive puzzolan on properties of the mixed air knitting. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2012. No. 2, pp. 174–179. (In Russian).
4. Garkavi M.S., Panfjorova A.Ju., Nekrasova S.A., Mihajlova K.A. Structure formation of nanomodified gypsumpolimer material. *Suhie stroitel'nye smesi*. 2013. No. 2, pp. 38–40. (In Russian).
5. Lesovik V.S., Chernysheva N.V., Klimenko V.G. Structurization processes of the gipsum-containing components considering raw materials genesis. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2012. No. 4, pp. 3–11. (In Russian).
6. Kuz'mina V.P. Way of introduction basalt fiber in composite materials. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: scientific internet-journal*. 2011. No. 2, pp. 59–64. http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_2_2009_RUS.pdf (date of access 10.06.2014). (In Russian).
7. Garkavi M.S., Nekrasova S.A., Troshkina E.A. Kinetics of contacts formation in the nanomodified gypsum materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2. pp. 38–40. (In Russian).
8. Maeva I.S., Jakovlev G.I., Pervushin G.N., Bur'yanov A.F., Pustovgar A.P. Structuring of anhydrite matrix by nanodisperse modifying additives. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 4–5. (In Russian).
9. Kozlova V.K., Vol'f A.V. Analysis of the reasons of late emergence ettringite in a cement stone. *Polzunovskij vestnik*. 2009. No. 3, pp. 176–181. (In Russian).
10. Chernysheva N.V., Lesovik V.S. Bystrotverdejushhie kompozity na osnove vodostojkih gipsovyh vjazhushhih [Quick-hardening composites basen on the waterproof plaster knitting]. Belgorod: BGTU. 2011. 100 p.

УДК 666:913

В.Н. ДЕРЕВЯНКО[1], д-р техн. наук, А.Г. ЧУМАК[1], инженер; В.Е. ВАГАНОВ[2], канд. техн. наук

[1] Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (Украина, 49600, г. Днепропетровск, ул. Чернышевского, 24а)
[2] Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)

Влияние наночастиц на процессы гидратации полуводного гипса

Изучение механизмов структурообразования гипсовых вяжущих с использованием наномодифицирующих добавок позволяет управлять процессами получения гипсовых материалов и изделий из них с заданным комплексом свойств. Целью данной работы является проведение исследований в области модифицирования матрицы гипсового вяжущего и изучение влияния многослойных углеродных нанотрубок на процессы гидратации, структуру и физико-механические свойства полученных композитов.

Ключевые слова: наномодификация, стуктурообразование, гипсовые вяжущие, углеродные нанотрубки.

V.N. DEREVYANKO[1], Doctor of Sciences (Engineering), A.G. CHUMAK[1], Engineer; V.E. VAGANOV[2], Candidate of Sciences (Engineering)
[1] Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture (24a, Chernyshevskogo Street, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine)
[2] Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (87, Gorkogo Street, 600000, Vladimir, Russian Federation)

Impact of Nanoparticles on Processes of Hydration of Hemihydrate Gypsum

Study of mechanisms of structure formation of gypsum binders with the use of nano-modifying additives makes it possible to control the processes of production of gypsum materials and products made of them with the specified complex of properties. Studies in the field of modification of a gypsum binder matrix have been conducted; the influence of multi-layered carbon nanotubes on hydration processes, structure and physical-mechanical properties of composites obtained has been studied.

Keywords: nanomodofication, structure formation, gypsum binders, carbon nanotubes.

В последнее десятилетие широкое распространение получило применение наноразмерных добавок для управления структурообразованием строительных композитов. Их влияние проявляется в изменении физико-химических процессов, протекающих при гидратации, структур и свойств композиционных систем.

Обоснован тот факт [1–4], что целенаправленное использование наноразмерных добавок в цементном или гипсовом композите может обеспечить максимальную эффективность производства материала с повышенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.

Целью исследования стало изучение механизма гидратации гипсовых систем в присутствии углеродного наноразмерного модификатора.

Прочностные характеристики вяжущего определялись пределом прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек согласно нормативной документации. Исследования процессов гидратации осуществлялись методами рентгенофазового анализа в динамике. Изучение структурообразования гипсовых композитов осуществлялось при помощи электронной сканирующей микроскопии.

В настоящее время в качестве нанокомпонента системы наиболее часто используют многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ). Это обусловлено в первую очередь тем, что они имеют высокие механические показатели: модуль Юнга около 630 ГПа и прочность при растяжении около 150 ГПа [5]. Физические свойства (электропроводность, теплопроводность и др.) также превышают аналогичные значения для традиционных материалов.

Для более рационального использования углеродного наномодификатора в композитах на основе гипса необходимо решить следующие основные задачи: достижение равномерной диспергации в объеме исходных смесей и обеспечение максимального взаимодействия поверхности УНТ с матрицей материала. Этого можно добиться при помощи химической модификации поверхности УНТ функциональными группами, например гидроксильной или карбоксильной.

Функционализированные УНТ имеют свободные химические связи, вследствие чего могут обеспечивать лучшее взаимодействие с гипсовой матрицей, улучшая структуру и свойства композита.

Карбоксилизация многостенных углеродных нанотрубок осуществлялась путем взаимодействия последних с различными окислительными агентами (азотная кислота в различных средах, соли хрома, марганца в высших степенях окисления, пероксид водорода).

Для создания на поверхности УНТ гидроксильных групп, как правило, используется механохимический метод, который заключается в совместном помоле УНТ и щелочи в течение 60 мин.

В рамках исследования использовались МУНТ, полученные на установке термического пиролиза углеводородов на катализаторах центра углеродных наноматериалов Владимирского государственного университета. В качестве вяжущего использовался гипс марки Г-5. Суспензию из УНТ, воды и поликарбоксилатного пластификтора П-11 производства НПП «Макромер» (Владимир), а также пластификатора Sika Retarder (Швейцария) получали ультразвуковой обработкой предварительно подготовленной смеси.

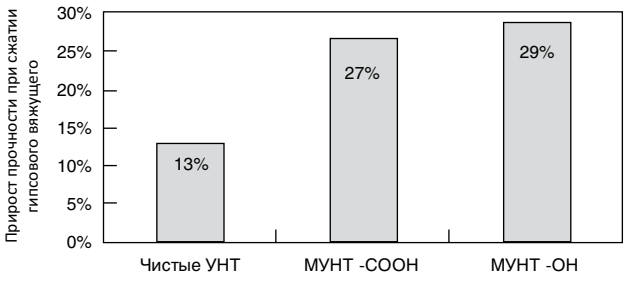


Рис. 1. Механические свойства композитов в зависимости от химической функционализации поверхности углеродных нанотрубок

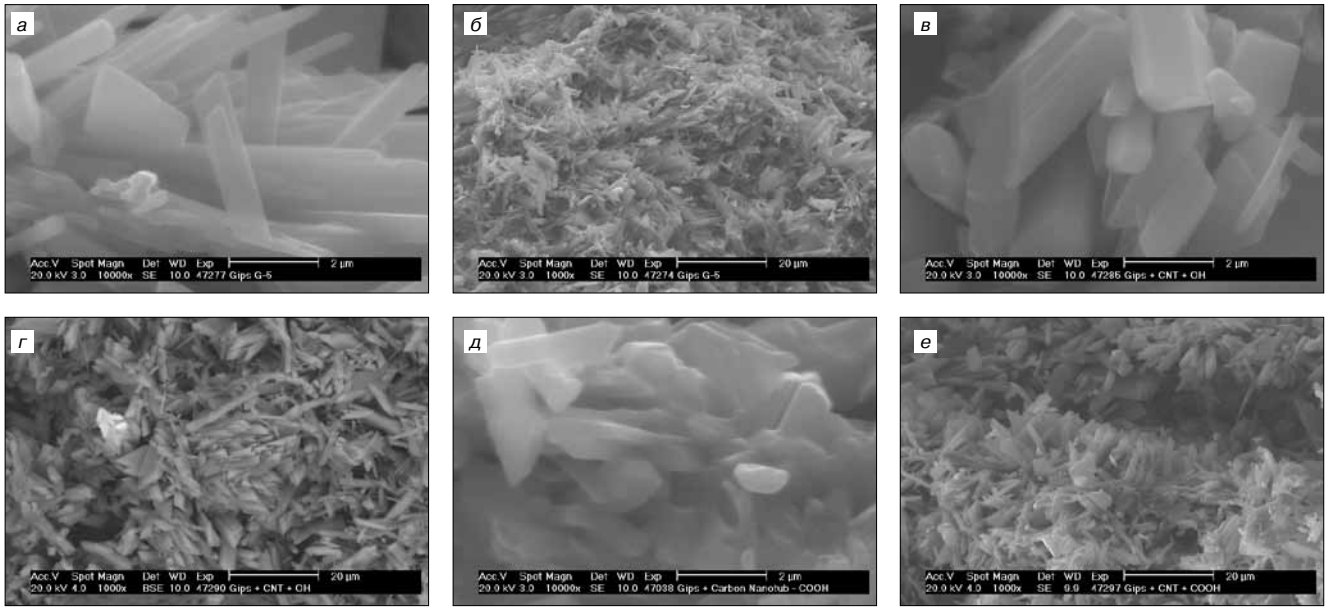


Рис. 2. Микрофотографии гипсовой композиции: *а, б* – без добавления УНТ; *в, г* – с добавлением УНТ-ОН; д, *е* – с добавлением УНТ-СООН

Проведенные исследования по определению предела прочности при сжатии образцов-балочек в возрасте 2 ч показывают, что при одинаковом содержании наномодификатора в гипсовой матрице (0,035%) максимальный прирост прочности достигается при использовании окисленных УНТ и составляет 27–29%, а при использовании исходных УНТ прирост прочности не превышает 13–15% (рис. 1).

Гипсовые вяжущие относятся к системе $CaSO_4 \cdot nH_2O$. В данном ряду каждая устойчивая фаза имеет несколько полиморфных модификаций, описанных в работах [6, 11]. Присутствие той или иной модификации оказывает существенное влияние на процесс гидратации и конечные свойства гипсового вяжущего. Информацию о количественном и качественном фазовом составе материала с высокой точностью в определенный временной период гидратации получали с помощью рентгеновского дифрактометра X`Pert PRO MPD 3040/60 Fa. PANalytical.

В исследованиях были проанализированы исходное гипсовое вяжущее, образцы строительного гипса без добавок и с добавками УНТ. В качестве структурных моделей минеральных компонентов для полнопрофильного количественного РФА использовались: гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (PDF № 01-074–14332); бассанит $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ (PDF № 01-081-1849); ангидрит $CaSO_4$ (PDF № 01-086–2270); углерод С (PDF № 01-075–2078). Результаты количественного рентгенофазового анализа по методу Ритвельда представлены в табл. 1.

Рентгенограмма 1-го цикла гипсового образца показывает наличие большого количества полуводного гипса (91%), присутствие двуводного гипса (до 3%). Длительность каждого цикла составляет 5 мин 16 с. Процесс гидратации завершается на 18-м цикле по истечении 95 мин. Основные импульсы интенсивности линий отражения двуводного гипса соответствуют 6200, 4250, 3300.

Полученные результаты исследований твердения гипсового образца, модифицированного УНТ, свидетельствуют об интенсификации процессов гидратации. Процесс гидратации также завершается на 18-м цикле (по истечении 95 мин твердения), но интенсивность образования двуводного гипса значительно выше. Линии основных импульсов двуводного гипса соответствуют 11300, 9900, 6000.

При гидратации немодифицированного строительного гипса в течение 18 циклов (95 мин) процесс гидратации идет с образованием $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ до 88%. При тех же условиях гидратация модифицированного гипса достигает 93% и даже несколько снижается количество непрореагировавшего $CaSO_4$ (табл. 1)

Микроструктурный анализ гипсовых образцов проводился с помощью растрового электронного микроскопа PHILIPS XL 30 ESEM FEG (Нидерланды) с микроанализатором EDAX FALKON и программным обеспечением GENESIS (FA AMETEK). Использование для затворения гипсового вяжущего суспензии УНТ приводит к радикальному изменению механизма кристаллизации за счет структурной организации новообразований в твердеющей гипсовой матрице [7–9].

Анализ микроструктуры показал, что в образце из чистого гипсового вяжущего преобладают призматические и пластинчатые кристаллы, хаотично распределенные в объеме матрицы длиной 5–10 мкм, достигающие в поперечнике 1–2 мкм. В этом случае образуется структура с повышенной пористостью (рис. 2, *а, б*), которая является причиной низкой механической прочности и водостойкости образцов. В гипсовой матрице, модифицированной УНТ (рис. 2, *в, г, д, е*), формируется упорядоченная и однородная струк-

Таблица 1

	Концентрация фаз, мас. %				
	$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	$CaSO_4$	$CaCO_3$	C
Гипсовое вяжущее	91	3	4	2	–
Строительный гипс без добавок	3	88	4	2	–
Строительный гипс, модифицированный УНТ	1	93	3	2	1

тура с более крупными кристаллами длиной до 20 мкм, в поперечнике 2–4 мкм, что приводит к увеличению площади межфазной поверхности, снижению пористости и соответственно к повышению физико-механических характеристик.

Формирование более плотного массива обусловлено направленным ростом игольчатых кристаллов гипса. Авторы [10], опираясь на данные электронной микроскопии, делают выводы, что УНТ в гипсовом композите выступают в роли упрочняющего компонента системы.

В настоящей работе представлены результаты влияния УНТ на процесс гидратации, структуру, фазовый состав гипсовых композитов и прочностные характеристики. При одинаковом содержании наномодификатора в гипсовой матрице (0,035%) максимальный прирост прочности достигается при использовании окисленных УНТ и составляет 27–29%, а при использовании исходных УНТ прирост прочности не превышал 13–15%.

Исходя из данных фазового анализа можно сделать вывод, что при введении УНТ интенсифицируется процесс гидратации, способствуя более полному переходу полуводного гипса в двуводный.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют влияние углеродных нанотрубок на процесс гидратации полуводного гипса. Процессы гидрато- и структурообразования гипсового вяжущего происходят с образованием упорядоченных структур с плотной упаковкой кристаллогидратов, обладающих повышенной плотностью и прочностью.

Список литературы

1. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Береговой В.А. Модифицирование строительных материалов наноуглеродными трубками и фуллеренами // *Строительные материалы*: *Наука*. 2006. № 8. С. 2–4.
2. Баженов Ю.М., Королев Е.В. Оценка технико-экономической эффективности нанотехнологий в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 66–67.
3. Шаповалов Н.А., Строкова В.В., Череватова А.В. Управление структурой и свойствами высококонцентрированных дисперсных систем с использованием нанопроцессов и технологий // *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. № 8. С. 17–18.
4. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Маева И.С., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Мачюлайтис Р. Модификация ангидритовых композиций многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2010. № 7. С. 25–27.
5. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Pressure-sensitive and microstructure of carbon nanotube reinforced cement composites // *Cement and Concrete Research*. 2007. Vol. 29 (5), pp. 377–382.
6. Еремин А.В., Пустовгар А.П. Современные подходы к рентгенофазовому анализу гипсовых вяжущих // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 62–63.
7. Chaipanich A., Nochaiya T., Wongkeo W., Torkittikul P. Compressive strength and microstructure of carbon nanotubes – fly ash cement composites // *Materials Science and Engineering*. A 527. 2010. 1063–1067.
8. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Пудов И.А., Лушникова А.А. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2011. № 2. С. 47–51.
9. Маева И.С., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П. Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 4–5.
10. Гордина А.Ф., Токарев Ю.В., Яковлев Г.И., Керене Я., Спудулис Э. Различия в формировании структуры гипсового вяжущего, модифицированного углеродными нанотрубками и известью // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 34–37.
11. Строкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Войтович Е.В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 9–11.

References

1. Korolev E.V., Bazhenov Yu.M., Beregovoi V.A. Modifying of construction materials by nanocarbon tubes and fullerenes. *Stroitel'nye Materialy. NAUKA* [Construction Materials. SCIENCE]. 2006. No. 8, pp. 2–4. (In Russian).
2. Bazhenov Yu.M., Korolev E.V. Estimation of technical and economic efficiency of nanotechnologies in building materiology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 66–67. (In Russian).
3. Shapovalov N.A., Strokova V.V., Cherevatova A.V. Management of structure and properties of the high-concentrated disperse systems with use of nanoprocesses and technologies. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2007. No. 8, pp. 17–18. (In Russian).
4. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Maeva I.S., Korzhenko A., Bur'yanov A.F., Machyulaytis R. Modification of anhydrite compositions with multilayer carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 7, pp. 25–27. (In Russian).
5. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Pressure-sensitive and microstructure of carbon nanotube reinforced cement composites. *Cement and Concrete Research*. 2007. Vol. 29 (5), pp. 377–382.
6. Eremin A.V., Pustovgar A.P. Up-to-date approaches to x-ray phase analysis of gypsum binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 62–63. (In Russian).
7. Chaipanich A., Nochaiya T., Wongkeo W., Torkittikul P. Compressive strength and microstructure of carbon nanotubes – fly ash cement composites. *Materials Science and Engineering*. A 527. 2010, pp.1063–1067.
8. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Korzhenko A., Bur'yanov A.F., Pudova I.A., Lushnikova A.A. Modification of cement concretes with multilayer carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 2, pp. 47–51. (In Russian).
9. Maeva I.S., Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Bur'yanov A.F., Pustovgar A.P. Structuring of anhydrite matrix with nanodisperse modifying additives. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 4–5. (In Russian).
10. Gordina A.F., Tokarev Yu.V., Yakovlev G.I., Keriene Ya., Spudulis E. Differences in forming the structure of gypsum binder modified by carbon nanotubes and lime. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 34–37. (In Russian).
11. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Voytovich E.V. Peculiarities of phase formation in a composite nanostructured gypsum binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 9–11. (In Russian).

УДК 691.553.2

О.В. ИЗРЯДНОВА[1], магистр, Г.И. ЯКОВЛЕВ[1], д-р техн. наук, И.С. ПОЛЯНСКИХ[1], канд. техн. наук; Х.-Б. ФИШЕР[2], д-р-инженер; С.А. СЕНЬКОВ[3], канд. техн. наук

[1] Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (426000, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)
[2] Веймарский строительный университет (99423, Германия, г. Веймар, Гешвистер-Шолл штр., 8)
[3] Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15)

Изменение морфологии кристаллогидратов при введении ультра- и нанодисперсных модификаторов структуры в гипсоцементно-пуццолановые вяжущие

Рассмотрена возможность применения микрокремнезема в сочетании с углеродными наноструктурами в качестве модификаторов, способствующих изменению морфологии новообразований в структуре гипсоцементно-пуццолановой композиции. Показано влияние комплексной добавки на основе ультра- и нанодисперсных модификаторов на физико-механические свойства композиции. Установлено, что введение углеродных наносистем совместно с микрокремнеземом и портландцементом влияет на формирование структуры кристаллов гипса. Данные физико-технических испытаний показали увеличение прироста прочности при сжатии на 42% и повышение водостойкости на 39%. Полученные данные доказывают перспективность модификации гипсовых вяжущих ультра- и нанодисперсными добавками.

Ключевые слова: гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, морфология, дисперсия, кристаллогидрат, многослойные углеродные нанотрубки, микрокремнезем.

O.V. IZRYADNOVA[1], Master, G.I. YAKOVLEV[1], Doctor of sciences (Engineering), I.S. POLYANSKIKH[1], Candidate of Sciences (Engineering); H.-B. FISHER[2], Doctor-Engineer; S.A. SENKOV[3], Candidate of Sciences (Engineering)
[1] Izhevsk State Technical University Named after M.T. Kalashnikov (7, Studencheskaya Street, 426000, Izhevsk, Russian Federation)
[2] Bauhaus-Universität Weimar (8, Geshvister-Sholl Street, Weimar, 99423, Germany)
[3] Perm State National Research University (15, Bukireva Street, 614990, Perm, Russian Federation)

Change of Morphology of Crystal Hydrates at Incorporation of Ultra- and Nano Disperse Modifiers Structures into Gypsum Cement-Pozzolana Binders

A possibility to use the micro-silica in combination with carbon nanostructures as modifiers favoring the change of morphology of new formations in the structure of gypsum cement-pozzolana compositions is considered. The influence of a complex additive on the basis of ultra-and nano-disperse modifiers on physical-mechanical properties of compositions is shown. It is established that the incorporation of carbon nano-systems in combination with micro-silica and Portland cement influences on the formation of the structure of gypsum crystals. Data of physical-technical tests show the growth of strength in the course of compression by 42% and improvement of water resistance by 39%. The obtained data prove the prospectivity of modification of gypsum binders with ultra-and nano-disperse additives.

Keywords: gypsum cement-pozzolana binders, morphology, dispersion, crystalline hydrate, multilayer nano-tubes, micro-silica.

Материалы на основе гипсового вяжущего широко применяются в современном строительстве в связи с комплексом положительных свойств, таких как небольшая масса, достаточная прочность, относительно низкая тепло- и звукопроводность [1]. Кроме того, гипсовые материалы огнестойки, обеспечивают поддержание комфортного микроклимата в помещении, так как имеют хорошие показатели паро- и воздухопроницаемости, способны поглощать лишнюю влагу из воздуха и отдавать ее при снижении влажности. Вяжущие на основе сульфата кальция относятся к бесклинкерным, которые отличаются малой энергоемкостью производства, что позволяет одновременно решать проблемы ресурсосбережения. В то же время применение материалов на основе сульфата кальция ограничено из-за низкой водостойкости и повышенной ползучести изделий [2]. Поэтому разработка способов модификации вяжущих на основе сульфата кальция с целью повышения физико-механических характеристик является актуальной задачей.

Основной целью работы является установление возможности модификации структуры гипсоцементно-пуццоланового вяжущего нанодисперсной добавкой в виде многослойных углеродных нанотрубок и влияния их на прочность и изменение структуры.

Строительно-технические свойства гипсовых вяжущих можно улучшать за счет направленного изменения структуры матрицы при введении ультра- и нанодисперсных добавок [3]. Эффективность действия добавок определяется природой, размером и формой частиц [4].

Одним из эффективных и экономически целесообразных методов повышения прочности и водостойкости гипсовых материалов является использование композиции на основе портландцемента и микрокремнезема [5]. Известны работы [6], в которых для стабилизации новообразований с целью исключения формирования эттрингита используются тонкомолотые пуццолановые добавки [7], включая техногенные материалы в виде микрокремнезема.

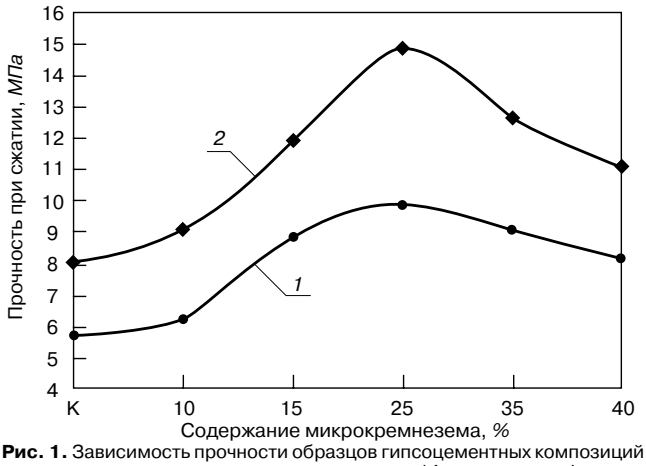


Рис. 1. Зависимость прочности образцов гипсоцементных композиций от содержания микрокремнезема в возрасте 14 сут при модификации 0,006 % МУНТ (содержание портландцемента в количестве 10 % от массы гипсового вяжущего): *1* – при введении 10% портландцемента; *2* – при совместном введении цемента и МУНТ

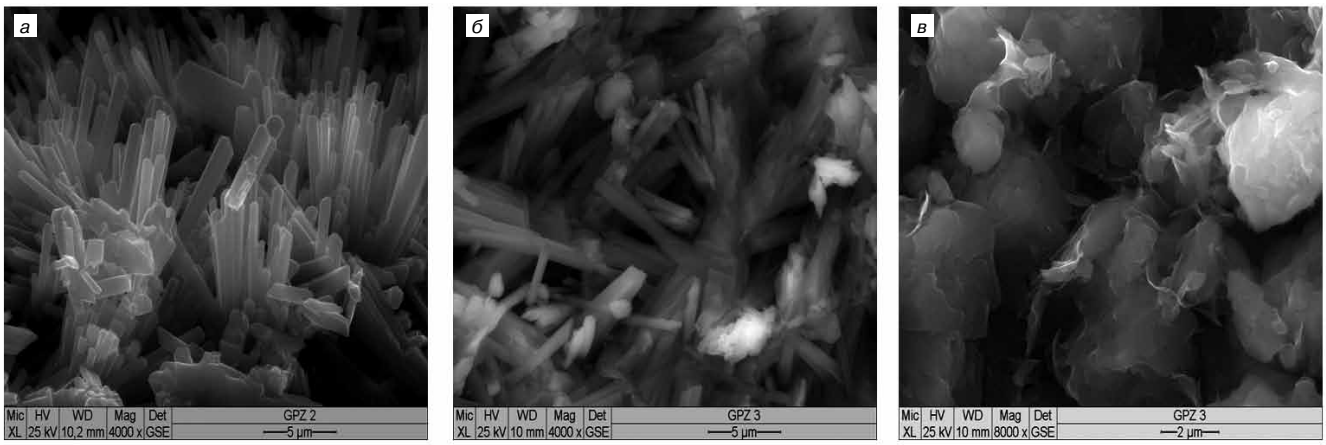


Рис. 2. Микроструктура гипсовой матрицы: *а* – без добавок; *б* – с цементом и микрокремнеземом; *в* – модифицированной микрокремнеземом в сочетании с портландцементом и углеродными наноструктурами в количестве 0,006 %

Микрокремнезем представляет собой ультрадисперсный порошок, образующийся в процессе газоочистки печей при выплавке кремниевых сплавов (силикохрома, ферросилиция, силикомарганца). [8] Частицы микрокремнезема имеют высокую дисперсность (100–300 нм) и пуццолановую активность [9]. В результате взаимодействия микрокремнезема с продуктами гидратации портландцемента происходит значительное уплотнение структуры гипсовой матрицы гидросиликатами кальция, что в конечном итоге приводит к повышению не только прочности, но и водостойкости изделий на основе гипсоцементно-пуццолановых вяжущих.

Регулировать морфологию и размеры кристаллогидратов двуводного гипса можно путем введения нанодисперсных добавок на основе многослойных углеродных нанотрубок. Наночастицы обладают высокой поверхностной энергией, что приводит к повышению физико-механических характеристик изделий [10, 11, 12].

В качестве вяжущего использовался строительный гипс марки Г-4 предприятия «Волма», соответствующий ГОСТ 125–79. Для улучшения физико-механических свойств в состав вяжущего вводили портландцемент марки ПЦ500-ДО и пуццолановую добавку в виде микрокремнезема – техногенный продукт Челябинского электрометаллургического комбината, получаемый при производстве ферросплавов; представлен 95 % оксидом кремния аморфной структуры с удельной поверхностью частиц 20 м^2/г. Частицы микрокремнезема имеют сферическую форму, средний размер 300 нм.

В качестве модификатора структуры в композицию вводилась дисперсия многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) на основе Masterbatch CW2-45 французской корпорации «Аркема» [13, 14]. Дисперсия представляет смесь углеродных нанотрубок в среде карбоксилметилцеллюлозы, содержащей 45% многослойных углеродных нанотрубок.

Образцы размером 4×4×16 см для испытаний изготавливались по стандартной методике. Водогипсовое отношение при изготовлении образцов составляло 0,7.

Содержание микрокремнезема*, %	Коэффициент размягчения
0	0,61
10	0,75
15	0,83
25	0,85

Примечание. * с добавлением многослойных углеродных нанотрубок в количестве 0,006 % и портландцемента 10% от массы гипсового вяжущего.

В результате проведенных ранее исследований установлено, что оптимальная концентрация цемента в составе гипсового вяжущего составляет 10 %, а микрокремнезема – 25 % от массы цемента (рис. 1). Дальнейшее снижение прочности при увеличении концентрации цемента связано с образованием эттрингита в структуре гипсовой матрицы [15].

Оптимальная концентрация многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) при проведении эксперимента составляла 0,006 % от массы гипса. Концентрация микрокремнезема варьировалась 0–40% от массы вяжущего. Гипсовые образцы, модифицированные цементом, микрокремнеземом и дисперсией МУНТ, выдерживали в течение 14 сут при нормальных условиях с последующим проведением механических испытаний.

Проанализировав данные механических испытаний, можно сделать вывод, что значительное увеличение прочностных показателей происходит при введении 25 % микрокремнезема от массы портландцемента совместно с дисперсией МУНТ в количестве 0,006 % (рис. 1).

Предел прочности в сравнении с контрольным составом увеличился на 42%. Полученные результаты можно объяснить тем, что ультрадисперсные добавки совместно с микрокремнеземом и цементом интенсифицируют процесс структурообразования. Нанотрубки, обладая высокой поверхностной энергией, играют роль центров кристаллизации, по поверхности которых происходит интенсивное формирование упорядоченных кристаллов двуводного гипса. Снижение механических показателей при повышении содержания микрокремнезема можно объяснить недостатком вяжущего в граничных слоях. Данную гипотезу подтверждают результаты испытаний по определению коэффициента размягчения гипсовых композиций при совместном введении добавок (см. таблицу).

Результаты физико-механических исследований можно объяснить тем, что при взаимодействии микрокремнезема и цемента совместно с ультра- и нанодисперсными добавками формируются гидросиликатные новообразования, которые блокируют поверхность кристаллогидратов гипса и одновременно увеличивают общую площадь контактов между ними.

На микроструктуре контрольного образца гипсоцементно-пуццоланового вяжущего наблюдаются крупные призматические кристаллы, хаотично расположенные в пространстве матрицы (рис. 2, *а*). Такое строение и взаимное расположение кристаллов гипса может свидетельствовать о высокой пористости материала. Анализ микроструктуры образца с добавлением цемента и микрокремнезема (рис. 2, *б*) показал более плотную упаковку кристаллов гипсовой матрицы. Структурирование гипсового камня после введения дисперсии углеродных нанотрубок приводит к формированию плотной обо-

лочки из новообразований на основе гидросиликатов кальция, которая покрывает кристаллы двуводного гипса, тем самым упрочняя связи между ними (рис. 2, *в*).

Таким образом, результаты исследований показывают, что введение комплексной добавки из микрокремнезема, цемента и дисперсии многослойных углеродных нанотрубок в гипсовое вяжущее позволяет улучшить его механические характеристики, в том числе прочность на 42 % и водостойкость на 39 %. Повышению физико-механических свойств способствует взаимодействие микрокремнезема и цемента. В результате взаимодействия гидрооксида кальция и микрокремнезема формируются гидросиликаты кальция, которые обволакивают кристаллы двуводного гипса и защищают их от растворения водой. МУНТ повышают прочность и водостойкость гипсоцементно-пуццоланового вяжущего, что связано с изменением морфологии кристаллогидратных новообразований, обеспечивающих формирование структуры минеральной матрицы повышенной плотности.

Список литературы

1. Ферронская А.В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций. М.: Стройиздат. 1984. 256 с.
2. Шишкин А.В., Сементовский Ю.В. Минеральное сырье. Гипс и ангидрит. М.: Геоинформмарк. 1998. 23 с.
3. Бондаренко С.А. Модифицированное фторангидритовое вяжущее и строительные материалы на его основе. Дисс... канд. тех. наук. Челябинск. 2008. 146 с.
4. Волженский А.В., Роговой М.И., Стамбулко В.И. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие материалы и изделия. М.: Госстройиздат. 1960. 162 с.
5. Хела Р., Марсалова Я. Возможности нанотехнологий в бетоне. *Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства: Труды III Международной конференции.* Каир (Египет). 14–17 марта 2010. С. 8–15.
6. Mahmoud M.M.H., Rashad M.M., Ibrahim I.A., Abdel-Aal E.A. Crystal modification of calcium sulfate dehydrate in the presence of some surface-active agents // *Journal of Crystal Growth.* 2004. Vol. 270. Iss. 1. Pp. 99–105.
7. Gaiducis S., Zvironaite Ja., Maciulaitis R., Jakovlev G. Resistance of Phosphogypsum Cement Pozzolanic Compositions against the Influence of Water // *Materials Science* (Medziagotyra). 2011. Vol. 17. № 3. Pp. 308–313.
8. Брыков А.С., Камалиев Р.Т., Мокеев М.В. Влияние ультрадисперсных кремнеземов на гидратацию портландцемента // *Журнал прикладной химии.* 2010. Т. 83. № 2. С. 211–216.
9. Quercia G., Lazaro A., Geus J.W., Brouwers H.J.H. Characterization of morphology and texture of several amorphous nano-silica particles used in concrete // *Cement & Concrete Composites.* 2013. № 44. Pp. 77–92.
10. Яковлев Г.И., Керене Я., Маева И.С., Хазеев Д.Р., Пудов И.А. Влияние дисперсий многослойных углеродных нанотрубок на структуру силикатного газобетона автоклавного твердения // *Интеллектуальные системы в производстве.* 2012. № 2. С. 180–186.
11. Sobolkina A., Mechtcherine V., Bellmann C., Khavrus V., Oswald S., Hampel S., Leonhardt A. Surface properties of CNTs and their interaction with silica // *Journal of Colloid and Interface Science.* 2014. № 413. Pp. 43–53.
12. Mridul Garg, Aakanksha Pundir. Investigation of properties of fluorogypsum-slag composite binders – hydration, strength and microstructure // *Cement & Concrete Composites.* 2014. № 45. Pp. 227–233.
13. Patent № 2 969 143. C 04 B 16/12 (2012.01), C 04 B 28/00. Procede D'introduction de nanocharges carbonees dans un inorganique durcissable / Korzhenko A., Havel M., Gaillard P., Yakovlev G.I., Pervuchin G.N., Oreshkin D.V. Published 22.06.12. Bulletin 12/25.
14. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Маева И.С., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Мачюлайтис Р. Модификация ангидритовых композиций многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы.* 2010. № 7. С. 25–27.
15. Singh L.P., Karade S.R., Bhattacharyya S.K., Yousuf M.M., Ahalawat S. Beneficial role of nanosilica in cement based materials // *A review Construction and Building Materials.* 2013. № 47. Pp. 1069–1077.

References

1. Ferronskaya A.V. Dolgovechnost' gipsovykh materialov, izdelii i konstruktsii [Durability of gypsum materials, products and designs]. Moscow: Stroiizdat. 1984. 256 p.
2. Shishkin A.V., Sementovskii Yu.V. Mineral'noe syr'e. Gips i angidrit. [Mineral raw materials. Plaster and anhydrite]. Moscow: Geoinformmark. 1998. 23 p.
3. Bondarenko S.A. Modified fluorineangidrit binder and construction materials based on it. Cand. Diss. (Engineering). Chelyabinsk. 2008. 146 p. (In Russian).
4. Volzhensky A.V., Rogovoi M.I., Stambulko V.I. Gipsotsementnye i gipsoshlakovye vyazhushchie materialy i izdeliya [Gips-cement and gips-shlak binder materials and products]. Moscow: Gosstroiizdat. 1960. 162 p.
5. Hela R., Marsalova J. Posssibilities of nanotechnology in concrete. *Nanotechnology for green and sustainable construction: Proceedings of the II International Conference.* Cairo (Egypt). 2010, pp. 8–15.
6. Mahmoud M.M.H., Rashad M.M., Ibrahim I.A., Abdel-Aal E.A. Crystal modification of calcium sulfate dehydrate in the presence of some surface-active agents. *Journal of Crystal Growth.* 2004. Vol. 270. No. 1, pp. 99–105.
7. Gaiducis S., Zvironaite Ja., Maciulaitis R., Jakovlev G. Resistance of phosphogypsum cement pozzolanic compositions against the influence of water. *Materials Science* (Medziagotyra). 2011. Vol. 17. No. 3, pp. 308–313.
8. Brykov A.S., Kamaliev R.T., Mokeev M.V. Influence of ultra-disperse silicon dioxides on portlandtsement hydration. *Zhurnal prikladnoi khimii.* 2010. No 2, pp. 211–216. (In Russian)
9. Quercia G., Lazaro A., Geus J.W., Brouwers H.J.H. Characterization of morphology and texture of several amorphous nano-silica particles used in concrete. *Cement & Concrete Composites.* 2013. No. 44, pp. 77–92.
10. Yakovlev G.I., Kerene Ya., Maeva I.S., Hazeev D.R., Pudov I.A. Influence of dispersions of multi-walled carbon nanotubes on the structure of silica aerated autoclaved. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve.* 2012. No. 2, pp. 180–186. (In Russian).
11. Sobolkina A., Mechtcherine V., Bellmann C., Khavrus V., Oswald S., Hampel S., Leonhardt A. Surface properties of CNTs and their interaction with silica. *Journal of Colloid and Interface Science.* 2014. No. 413, pp. 43–53.
12. Mridul Garg, Aakanksha Pundir. Investigation of properties of fluorogypsum-slag composite binders – hydration, strength and microstructure. *Cement & Concrete Composites.* 2014. No. 45, pp. 227–233.
13. Patent № 2 969 143. C 04 B 16/12 (2012.01), C 04 B 28/00. Procede D'introduction de nanocharges carbonees dans un inorganique durcissable. Korzhenko A., Havel M., Gaillard P., Yakovlev G.I., Pervuchin G.N., Oreshkin D.V. Published 22.06.12. Bulletin 12/25.
14. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Maeva I.S., Korzhenko A., Bur'yanov A.F., Machyulaitis R. Modification of anhydrite compositions with multilayer carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 7, pp. 25–27. (In Russian).
15. Singh L.P., Karade S.R., Bhattacharyya S.K., Yousuf M.M., Ahalawat S. Beneficial role of nanosilica in cement based materials. *A review Construction and Building Materials.* 2013. No. 47, pp. 1069–1077.

УДК 691.311: 666.914.5

А.Р. ГАЙФУЛЛИН, канд. техн. наук, М.И. ХАЛИУЛЛИН, канд. техн. наук,
Р.З. РАХИМОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН

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

Состав и структура камня композиционного гипсового вяжущего с известью и гибридной минеральной добавкой

Исследовано влияние на состав, структуру и основные физико-механические свойства искусственного камня на основе композиционного гипсового вяжущего гибридной минеральной добавки, в состав которой входят техногенные продукты – керамзитовая пыль и гранулированный доменный шлак в количествах, соответственно, 20 и 30% от массы строительного гипса. Введение в состав строительного гипса гибридной минеральной добавки совместно с добавками извести и суперпластификатора позволяет получить искусственный камень с более плотной и мелкозернистой структурой по сравнению с исходным бездобавочным вяжущим. Наблюдается возникновение низкоосновных гидросиликатов кальция, заполняющих поровое пространство, уплотняющих структуру камня, создающих дополнительные контакты в основной матрице, защищающих сростки гипсовых кристаллов от растворения. В поровой структуре камня на основе композиционного гипсового вяжущего увеличивается доля закрытых пор. При введении гибридной минеральной добавки искусственный камень на основе композиционного гипсового вяжущего в возрасте 28 сут твердения в нормальных условиях имеет прочность при сжатии 30,5 МПа, коэффициент размягчения – 0,92.

Ключевые слова: керамзитовая пыль, доменные шлаки, гибридная минеральная добавка, композиционные гипсовые вяжущие, искусственный гипсовый камень.

A.R. GAYFULLIN, Candidate of Sciences (Engineering), M.I. KHALIULLIN, Candidate of Sciences (Engineering),
R.Z RAKHIMOV, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAACS
Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

Composition and Structure of Composite Gypsum Binder Stone with Lime and Hybrid Mineral Additive

The influence of a hybrid mineral additive which includes anthropogenic products – claydite dust and granulated blast-furnace slag in quantities of 20 and 30% of building gypsum mass – on the composition, structure and basic physical and mechanical properties of artificial stone on the basis of composite gypsum binder has been investigated. The incorporation of the hybrid mineral additive in combination with additives of lime and superplasticizer into the composition of building gypsum makes it possible to produce the artificial stone with more dense and fine-grained structure comparing with an initial binder without additives. The appearance of low-basic calcium hydro-silicates which fill the porous space, compact the stone structure, create additional contacts in the basic matrix, protect splices of gypsum crystals against dissolution is observed. The part of closed pores in the porous structure of stone on the basis of composite gypsum binder increases. Due to the incorporation of hybrid mineral additive the artificial stone on the basis of composite gypsum binder after 28 days of hardening under normal conditions has the compression strength of 30.5 Mpa, and softening index of 0.92.

Keywords: claydite dust, blast-furnace slag, hybrid mineral additive, composite gypsum binder, artificial gypsum stone.

В качестве пуццолановых добавок к гипсово-известковым, известковым и цементным вяжущим в настоящее время применяется широкая номенклатура материалов природного, техногенного и искусственного происхождения. В последнее время в ряде стран повысился интерес к применению в цементах в качестве пуццолановых добавок обожженных глин с ограниченным содержанием каолинита [1–3], которые добавлялись в известковые материалы для повышения прочности и водостойкости [4]. Это связано с доступностью повсеместно распространенных глин и экономическими соображениями.

Одной из разновидностей обожженной глины является попутный продукт производства керамзитового гравия – керамзитовая пыль. Известна эффективность применения керамзитовой пыли в качестве индивидуальной пуццолановой добавки в гипсово-известковых и цементных вяжущих [5–6]. А.В. Волженским и другими исследователями была выявлена эффективность введения в гипсовое вяжущее совместно с 2–5% извести гибридной минеральной добавки, включающей молотый доменный шлак и трепел. Выявлена эффективность введения в портландцемент ряда гибридных минеральных добавок, например микрокремнезема и золы-уноса [7]; микрокремнезема и известняка [8]; доменного шлака, золы-уноса и микрокремнезема [9].

Авторами настоящей работы проведены систематические исследования влияния содержания и удельной поверхности керамзитовой пыли отдельно и совместно с гранулированным доменным шлаком на свойства камня на основе композиционных гипсовых вяжущих [10]. Кроме указанных минеральных добавок в состав композиционных вяжущих вводилось 3–5% извести и 0,5% суперпластификатора Полипласт СП-1ВП. На первом этапе было выявлено, что камень на основе композиционного вяжущего с введением 20% керамзитовой пыли и удельной поверхностью 500 м^2/кг имеет прочность при сжатии на 52% и коэффициент размягчения в 2,86 раза выше, чем у исходного бездобавочного гипсового вяжущего. На втором этапе было установлено, что камень на основе композиционного вяжущего с гибридной минеральной добавкой, включающей 20% керамзитовой пыли и 30% гранулированного доменного шлака, имеет прочность при сжатии на 74,6% и коэффициент размягчения в 3 раза выше, чем у камня на основе бездобавочного гипсового вяжущего.

Ниже приведены результаты исследований состава и структуры камня на основе композиционного гипсового вяжущего с гибридной минеральной добавкой, включающей молотые до удельной поверхности 500 м^2/кг керамзитовую пыль и гранулированный доменный шлак.

Исследовался искусственный камень в возрасте 28 сут и одного года твердения в нормальных условиях, прочность при сжатии которого составила соответственно 30,5 и 35,7 МПа, коэффициент размягчения – 0,92 и 0,96.

Для получения рассмотренного в настоящей работе композиционного гипсового вяжущего с добавками извести, суперпластификатора, керамзитовой пыли и гра-

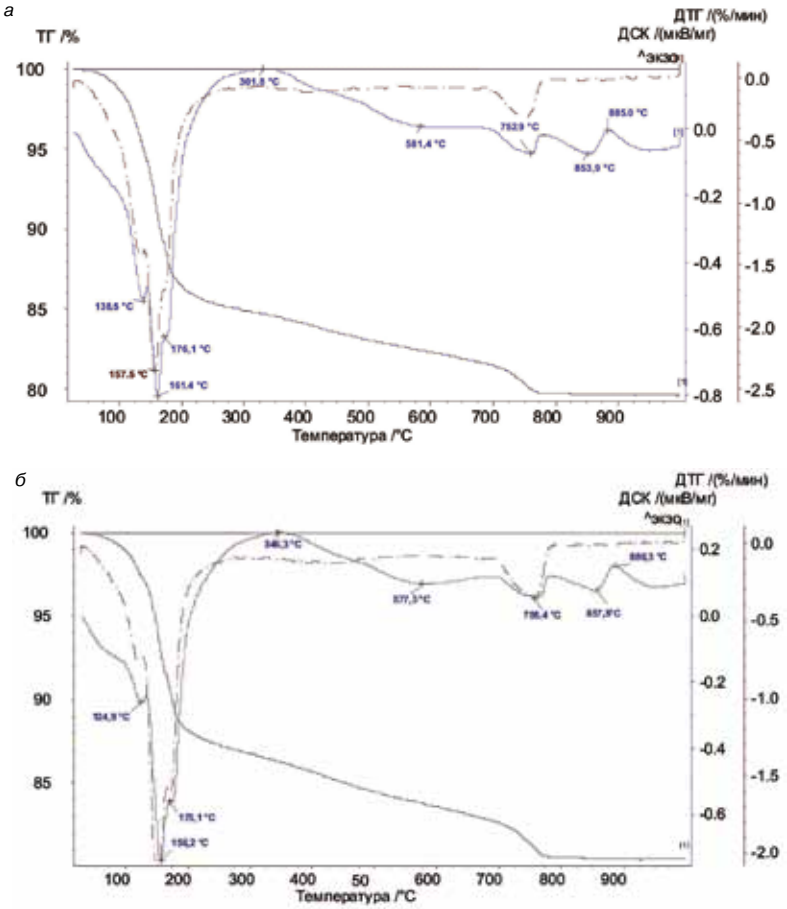


Рис. 1. Термограммы образцов искусственного камня на основе КГИКШВ при длительности хранения в нормальных условиях: *а* – 28 сут; *б* – 1 год

нулированного доменного шлака (КГИКШВ) были использованы следующие материалы:

– строительный гипс Г-6БII производства ООО «Аракчинский гипс» (Казань) по ГОСТ 125;

– керамзитовая пыль с циклонов пылеочистки цеха керамзитового гравия ООО «Камэнергостройпром» (г. Нижнекамск, Республика Татарстан);

– гранулированный доменный шлак Череповецкого металлургического комбината, химический состав которого, мас. %: SiO_2 – 39,3; CaO – 48,4; Al_2O_3 – 4,3; MgO – 3,4; FeO – 0,5; MnO – 0,4; SO_3 – 0,6;

– строительная известь 2-го сорта производства ООО «Казанский завод силикатных стеновых материалов» по ГОСТ 9179;

– суперпластификатор Полипласт СП-1ВП производства ООО «Полипласт Новомосковск» по ТУ 5870-005-58042865-05.

Керамзитовая пыль обладает следующим химическим составом, мас. %: SiO_2 – 59,12; Al_2O_3 – 17,85; Fe_2O_3 – 9,7; MgO – 3,01; CaO – 1,74;K_2O – 2,26; SO_3 – 0,93; TiO_2; Na_2O – 0,81; P_2O_5 – 0,22; MnO – 0,2; ППП – 3,11. В минералогический состав керамзитовой пыли (мас. %) входят: недегидратированные и дегидратированные глинистые минералы – 53; кварц – 15; полевые шпаты – 5; ангидрит – 3; рентгеноаморфная фаза – 27. Методом набухания по ГОСТ 8735–88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» установлено, что керамзитовая пыль содержит 9,5% недегидратированной глины. Пуццолановая активность по поглощению CaO для исходной пробы керамзитовой пыли составила 130 мг/г, для молотой (удельная поверхность до 500 $м^2$/кг) – 462 мг/г.

Показатели пористости искусственного камня, полученного при твердении исследованных гипсовых вяжущих, определялись по ГОСТ 12730.0 – ГОСТ 12730.4. Применялись методы рентгенофазового анализа с использованием дифрактометра марки D8 ADVANCE корпорации Bruker; комплексного дифференциально-термического анализа с использованием синхронного термоанализатора STA 409 PC компании NETZSCH; электронной микроскопии на электронном микроскопе РЭММА-202М ПО «Электрон».

Анализ рентгенограмм образцов искусственного камня на основе КГИКШВ, твердевших в нормальных условиях в течение 28 сут и 1 года, показал следующее.

Основным минералом исследованных образцов является гипс, присутствие которого зафиксировано по наличию характерных рефлексов со значениями межплоскостных расстояний d=7,65; 4,29; 3,06; 2,87; 2,68 Å.

По характерным рефлексам в составе образцов диагностируется эттрингит (d=9,73; 5,61 Å); присутствие кварца (d=4,26, 3,34 Å); кальцита (d=3,05; 2,44; 2,18; 1,89; 1,87 Å); ангидрита (d=3,50; 2,45 Å); бассанита (d=6,00; 3,01 Å); реликтовой полиминеральной, преимущественно гидрослюдистой глины (d=4,49 Å).

Анализ рентгенограмм показывает присутствие в составе образцов новообразованной рентгеноаморфной фазы, что проявляется в виде широких дифракционных максимумов в области межплоскостных расстояний d=2,8–3,3 Å и соответствует незакристаллизованным низкоосновным гидросиликатам кальция.

Характерные рефлексы низкоосновных гидросиликатов кальция типа CSH(B) (d=3,04; 2,80; 1,82 Å) не обнаружены, так как их перекрывают рефлексы преобладающего в рассматриваемых системах гипса.

Интенсивность линий эттрингита на рентгенограммах проб образцов в возрасте 1 год несколько снижается по сравнению с образцами в возрасте 28 сут, т. е. при длительном твердении искусственного камня происходит некоторое уменьшение содержания эттрингита, образующегося в ранние сроки твердения.

Показатели	Искусственный камень на основе		
	строительного гипса	КГИКВ	КГИКШВ
Средняя плотность в сухом состоянии, кг/$м^3$	1360	1460	1564
Водопоглощение, мас. %	27	14,1	9
Полный объем пор, %	50,37	40,38	31,88
Объем открытых капиллярных пор, %	35,14	20,58	14,01
Объем открытых некапиллярных пор, %	0,86	0,79	0,69
Объем условно закрытых пор, %	14,37	19,1	17,11
Показатель микропористости ($П_{мк}$)	0,197	0,29	0,376
Показатель среднего размера открытых капиллярных пор (λ)	0,68	0,35	0,15
Показатель однородности размеров открытых пор (α)	0,5	0,65	0,4

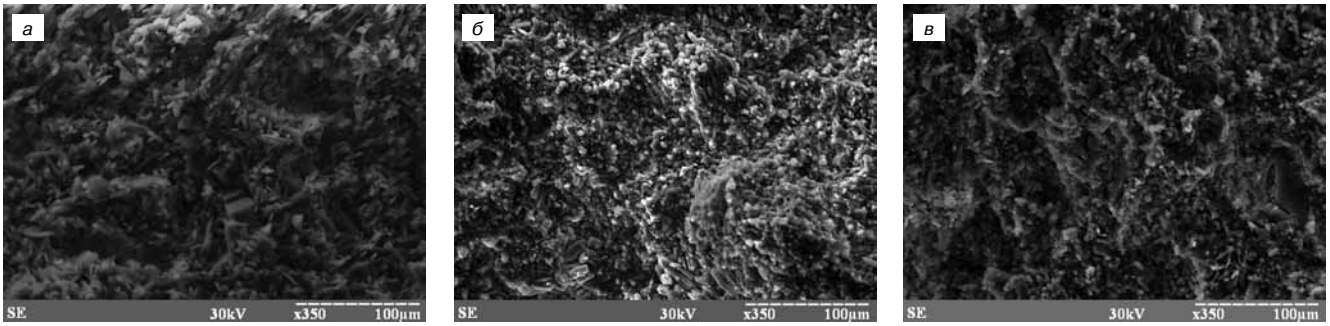


Рис. 2. Электронные микрофотографии образцов искусственного камня (с увеличением х350): *а* – на основе строительного гипса в возрасте 1 год; *б* – на основе КГИКШВ в возрасте 28 сут; *в* – на основе КГИКШВ в возрасте 1 год

Результаты исследований образцов искусственного камня на основе композиционного гипсового вяжущего в возрасте 28 сут и 1 год комплексным методом дифференциально-термического анализа (рис. 1) показывают следующее.

Для образцов в возрасте 28 сут и 1 год в низкотемпературной области нагрева 30–250°С наблюдаются эндоэффекты, связанные с удалением кристаллогидратной воды. Потери массы в данном интервале составляют соответственно 15,11 и 13,25%. Эндоэффект с максимумами при температуре 138,5 и 124,9°С соответствует удалению кристаллогидратной воды у эттрингита. Двойной эндоэффект с максимумами при температуре 161,4, 176,1 156,2 и 175,1°С на кривой ДСК, дублирующийся эффектами на кривой ДТГ, характеризует процесс удаления кристаллогидратной воды у гипса.

В интервале температуры 250–660°С во всех пробах регистрируется постепенная потеря массы в пределах 3,25–3,87% без явно выраженных максимумов термического превращения. Экзоэффекты с максимумами при температуре 301,8 и 346,3°С соответствуют перестройке кристаллической решетки при переходе растворимого ангидрита в нерастворимый. Эндоэффекты с максимумами при температуре 581,4 и 577,3°С связаны с превращением α-модификации кварца в β-модификацию.

В высокотемпературной области по кривым ДСК наблюдаются следующие друг за другом термические эффекты процессов полиморфных превращений и структурообразования, в том числе связанных с реликтовыми минералами доменного шлака.

С увеличением температуры в интервале 660–825°С во всех образцах фиксируется эндоэффект с максимумами при температурах 853,9 и 857,5°С, соответствующий диссоциации кальцита с потерей массы.

При температуре 650–850°С на кривых наблюдаются термические эффекты, связанные с гидросиликатом кальция типа CSH(B): эндоэффект при 752,9 и 756,4°С с потерей массы при дегидратации и экзоэффект при 885 и 886,3°С при кристаллизации волластонита (CS).

В таблице приведены сравнительные данные исследований показателей пористости камня на основе бездобавочного строительного вяжущего, композиционного гипсового вяжущего с добавкой извести, керамзитовой пыли и суперпластификатора (КГИКВ) [10] и КГИКШВ.

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что общая пористость искусственного камня на основе КГИКШВ ниже, чем у камня на основе строительного гипса и КГИКВ, соответственно на 42,7 и 21,1%, а доля закрытых пор в полном объеме пор соответственно выше на 19,84 и 6,38%. Происходит также уменьшение среднего размера пор. Такое изменение структуры порового пространства в результате появления повышенного объема водостойких новообразований в процессе твердения камня на основе вяжущего с гибридной минеральной добавкой объясняет его повышенную прочность и водостойкость.

Анализ результатов исследований образцов искусственного камня на основе строительного гипса методом электронной микроскопии показывает (рис. 2, *а*), что он состоит из достаточно крупных кристаллов гипса плоской и призматической форм с небольшим количеством контактов срастания. Искусственный камень имеет рыхлую структуру со значительным количеством капиллярных пор.

Исследование микроструктуры образцов на основе КГИКШВ показывает (рис. 2, *б, в*), что введение гибридной минеральной добавки приводит к формированию искусственного камня с низкопористой структурой, возникновению значительного количества нерастворимых соединений, в частности наблюдаемых на снимках сферических образований низкоосновных гидросиликатов кальция, заполняющих поровое пространство, уплотняющих структуру камня, создающих дополнительные контакты в основной матрице, защищающие сростки гипсовых кристаллов от растворения.

Структура искусственного камня на основе КГИКШВ в основном сложена мелкокристаллическими призматическими кристаллами гипса четкой формы, в значительной степени сросшимися со скоплениями новообразованых низкоосновных гидросиликатов кальция. На микрофотографиях видны также вытянутые отдельные призматические кристаллы эттрингита, зерна кальцита, кварца, реликтовых минералов компонентов композиционного вяжущего. Образуется достаточно слитная структура с равномерным распределением пор.

Сравнение микрофотографий образцов искусственного камня на основе КГИКШВ в возрасте 28 сут и 1 года нормального твердения демонстрирует, что возникающие в процессе длительного твердения новообразования равномерно заполняют поры по всему объему искусственного камня, увеличивая число контактов, обеспечивая образование более слитной микроструктуры и способствуя повышению физико-механических характеристик камня.

Таким образом, введение гибридной минеральной добавки, включающей молотые керамзитовую пыль и гранулированный доменный шлак совместно с добавками извести и суперпластификатора обеспечивает образование более плотной, слитной и мелкозернистой структуры камня композиционного гипсового вяжущего с повышенным содержанием нерастворимых продуктов гидратации. При введении гибридной минеральной добавки искусственный камень на основе композиционного гипсового вяжущего в возрасте 28 сут твердения в нормальных условиях имеет прочность при сжатии 30,5 МПа, коэффициент размягчения – 0,92. Для исходного бездобавочного строительного гипса, твердевшего в аналогичных условиях, прочность при сжатии составляет 17,5 МПа, коэффициент размягчения – 0,31.

Разработанные композиционные гипсовые вяжущие с гибридной добавкой не только обладают повышенными физико-техническими свойствами по сравнению со строительным гипсом, но и содержат до 50% техногенного сырья.

Список литературы

1. Habert G., Choupay N., Escadeillas G., Guillaume D., Montel J.M. Clay content of argillites: Influence on cement based mortars // *Applied Clay Science*. 2009. Vol. 43. № 3–4. P. 322–330.
2. Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite // *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. № 1. P. 113–122.
3. Тирони А., Тресса М., Сиан А., Ирассар Э.Ф. Термическая активация каолинитовых глин // *Цемент и его применение*. 2012. № 12. С. 145–148.
4. Витрувий М. Десять книг об архитектуре. М.: Издательство Академии архитектуры, 1936. 331 с.
5. Горин В.М., Токарева С.А., Сухов В.Ю., Нехаев П.Ф., Авакова В.Д., Романов Н.М. Расширение областей применения керамзитового гравия // *Строительные материалы*. 2003. № 11. С. 19–21.
6. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.Н. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
7. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Технопроект, 1998. 768 с.
8. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone // *Cement and Concrete Research*. 2012. Vol. 42. № 12. P. 1579–1589.
9. Gomez-Zamorano L., Lozano-Vargas I. Investigation of the behavior of composite cements with ground granulated blast furnace slag, fly ash and Geothermal silica. *Cementing a Sustainable Future XIII ICCC International Congress on the Chemistry of Cement*. Madrid. 2011. P. 56.
10. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Композиционные гипсовые вяжущие с использованием керамзитовой пыли и доменных шлаков // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 13–16.

References

1. Habert G., Choupay N., Escadeillas G., Guillaume D., Montel J.M. Clay content of argillites: Influence on cement based mortars. *Applied Clay Science*. 2009. Vol. 43. No. 3–4, pp. 322–330.
2. Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. No. 1, pp. 113–122.
3. Tironi A., Tpecca M., Sian A., Irassar E.F. Thermal activation of kaolinic clays. *Tsement i ego primenenie*. 2012. No. 12, pp. 145–148. (In Russian).
4. Vitruvii M. Desyat' knig ob arkhitekture [Ten books about architecture]. Moscow: Izdatel'stvo Akademii arkhitektury. 1936. 331 p.
5. Gorin V.M., Tokareva S.A., Sukhov V.Yu., Nekhaev P.F., Avakova V.D., Romanov N.M. Expansion of scopes of ceramsite gravel. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2003. No. 11, pp. 19–21. (In Russian).
6. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.N. Modifitsirovannye vysokokachestvennye betony [The modified high-quality concrete]. Moscow: ASV. 2006. 368 p.
7. Batrakov V.G. Modifitsirovannye betony. Teoriya i praktika [The modified concrete. Theory and practice]. Moscow: Tekhnoproekt. 1998. 768 p.
8. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. *Cement and Concrete Research*. 2012. Vol. 42. No. 12, pp. 1579–1589.
9. Gomez-Zamorano L., Lozano-Vargas I. Investigation of the behavior of composite cements with ground granulated blast furnace slag, fly ash and Geothermal silica. *Cementing a Sustainable Future XIII ICCC International Congress on the Chemistry of Cement*. Madrid. 2011, pp. 56.
10. Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I., Gayfullin A.R. Composite Gypsum Binders with the Use of Claydite Dust and Blast-Furnace Slags. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 13–16. (In Russian).

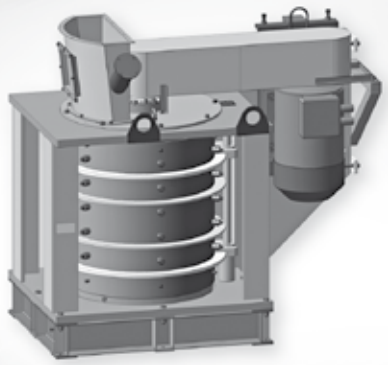
Реклама

ТОРГОВЫЙ ДОМ ИНТА-СТРОЙ

ООО «ТД «ИНТА-СТРОЙ», 644113, Омск, ул. 1-я Путевая, 100
Тел.: (3812) 35 65 44, 35 65 45. E-mail: info@inta.ru. Http: www.inta.ru

ОБОРУДОВАНИЕ «ИНТА–СТРОЙ» ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ДРОБИЛКА МОЛОТКОВАЯ ШЛ 457



Назначение

- Измельчение (размалывание) минеральных веществ (полусухой глины влажностью до 9 %, битого кирпича, каменного угля, мела, гипса и т. д.).
- Применяется в производстве керамических изделий или других строительных материалов.
- Дробилка может встраиваться в автоматические линии производства кирпича методом полусухого формования.

Преимущества:

– отсутствие налипания;
– удобство и простота ремонта и обслуживания;
– простота конструкции;
– высокая степень измельчения.

Основные характеристики:

- производительность, т/ч – 25;
- мощность, кВт – 37;
- габариты (дл., шир., выс.), мм – 2120, 1160, 1890;
- масса, кг – 3890.

МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ

УДК 666.914.5

С.А. НЕКРАСОВА[1], канд. техн. наук, М.С. ГАРКАВИ[2], д-р техн. наук; Е.Н. БУЛДЫЖОВА[3], магистр

[1] Магнитогорский государственный технический университет (455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38)
[2] ЗАО «Урал-Омега» (455037, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 19, стр. 7)
[3] Московский государственный строительный университет (129337, Москва, Ярославское ш., 26)

Сухие строительные смеси на основе стабилизированного гипсового вяжущего

Накопленный опыт производства и применения сухих гипсовых смесей показывает, что основные технические свойства гипсовых растворов зависят от вида гипсового вяжущего, использованного в составах сухих смесей. При хранении готового гипсового вяжущего в различных влажностных условиях происходит изменение его свойств. Один из эффективных способов улучшения строительно-технических свойств – искусственное старение гипсовых вяжущих при рациональных условиях. Исследовано влияние искусственно состаренного гипсового вяжущего на свойства штукатурных и шпатлевочных сухих строительных смесей. Установлено, что процесс искусственного старения гипсового вяжущего при рациональных условиях позволяет снизить расход функциональных добавок и улучшить свойства сухих гипсовых смесей.

Ключевые слова: старение гипсового вяжущего, сухие строительные смеси, искусственное старение гипсового вяжущего.

S.A. NEKRASOVA[1], Candidate of Sciences (Engineering), M.S. GARKAVI[2], Doctor of Sciences (Engineering); E.N. BULDYZHOVA[3], Master
[1] Magnitogorsk State Technical University (38, Lenina Avenue, 455000, Magnitogorsk, Russian Federation)
[2] ZAO "Ural-Omega" (Structur 7, 19, Lenina Avenue, 455037, Magnitogorsk, Russian Federation)
[3] Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

Dry Building Mixes on the Basis of Stabilized Gypsum Binder

The accumulated experience in production and application of dry gypsum mixes shows that basic technical properties of gypsum solutions depend on the type of gypsum binder which is used in the compositions of dry mixes. In the course of storing of ready gypsum binder under different humidity conditions the change of its properties takes place. One of the efficient methods for improving building-technical properties is artificial aging of gypsum binders under rational conditions. An influence of the artificially aged gypsum binder on properties of plaster and putty dry building mixes has been studied. It is established that the process of artificial aging of the gypsum binder under rational conditions makes it possible to reduce the consumption of functional additives and improve the properties of dry gypsum mixes.

Keywords: aging of gypsum binder, dry building mixes, artificial aging of gypsum binder.

Искусственное старение гипсового вяжущего при рациональных условиях по продолжительности процесса и относительной влажности окружающей среды позволяет обеспечить достижение высоких физико-механических характеристик и их стабилизацию. Это обусловливается уменьшением количества растворимого ангидрита, образованием центров кристаллизации в виде дигидрата и залечиванием поверхностных дефектов.

Целью работы стало исследование рациональных условий искусственного старения для получения гипсового вяжущего с улучшенными строительно-техническими характеристиками для изготовления сухих строительных смесей.

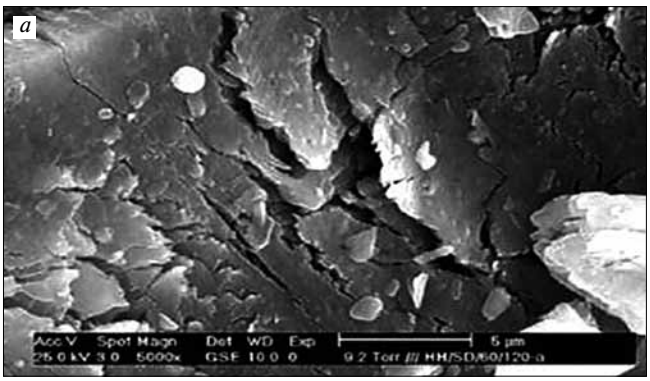
Экспериментально были определены рациональные условия искусственного старения гипсового вяжущего β-модификации – относительная влажность воздуха не более 80% и длительность не более 3 сут [1, 2, 3]. В этих условиях происходит снижение удельной поверхности вяжущего, уменьшение водопотребности за счет превращения растворимого ангидрита в полугидрат, укрупнение частиц и самозалечивание дефектов кристаллической структуры (рис. 1) [4, 5].

Кроме того, при твердении гипсового вяжущего после искусственного старения формируется упорядоченная и термодинамически устойчивая структура гипсового камня (рис. 2) с высокими физико-механическими характеристиками: прочность при сжатии увеличивается на 18–24%, при изгибе на 22–46% [6, 3]. Так как искусственное старение в процессе производства гипсового вяжущего способствует улучшению и стабилизации технических свойств, это приводит к оптимизации показателей сухих гипсовых смесей и позволяет откорректировать их состав – сократить содержание функциональных добавок [7].

На кафедре строительных материалов и изделий МГТУ разработаны составы сухих строительных смесей на основе такого гипсового вяжущего. Физико-технические характеристики полученных смесей приведены в таблице. Как следует из приведенных данных, применение указанного гипсового вяжущего позволяет:

– повысить водоудерживающую способность с 95 до 98% для шпатлевочных и с 95 до 97% для штукатурных смесей;

– увеличить прочность сцепления с основанием на 13,5–17% для шпатлевочных и на 5–8% для штукатурных смесей;



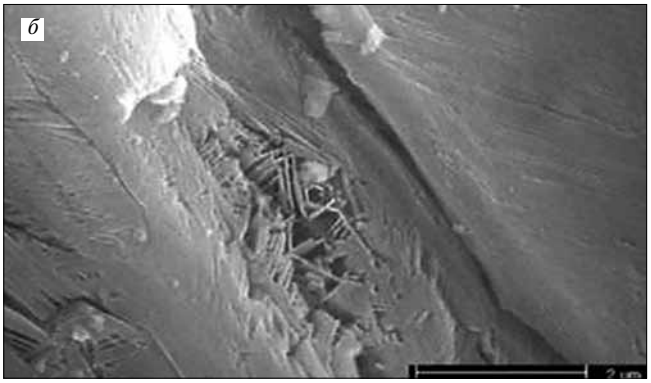


Рис. 1. Новообразования гипса на поверхности и в микротрещинах частиц полугидрата после искусственного старения: *а* – до искусственного старения; *б* – после искусственного старения

Показатели	Сухие смеси			
	Шпатлевочные		Штукатурные	
	до старения	после старения	до старения	после старения
В сухом состоянии				
Насыпная плотность, кг/м^3	725	722	980	978
Готовые к применению				
Время начала схватывания, мин	100	120	75	90
Подвижность (пластичная), мм	163	163	162	165
Водоудерживающая способность, %	95	98,2	95,1	97,3
Затвердевшие смеси				
Прочность сцепления с основанием (адгезия), МПа	0,38	0,45	0,47	0,53
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	1,13	2,31	1,16	1,79
Прочность при сжатии, МПа	2,6	4,2	2,7	5,6

– увеличить прочность при сжатии на 54–62% для шпатлевочных и на 84–107% для штукатурных смесей;

– снизить расход функциональных добавок.

Следовательно, технологическая операция искусственного старения, проведенная при установленных рациональных условиях (в течение 3 сут при относительной влажности воздуха 80%), является эффективным средством получения сухих строительных смесей с высокой прочностью при сжатии и сцепления с основанием, повышенной водоудерживающей способностью. Однако эта операция еще не получила широкого распространения.

Для производителя решающим фактором при производстве сухих строительных смесей является экономическая эффективность использования этой технологической операции.

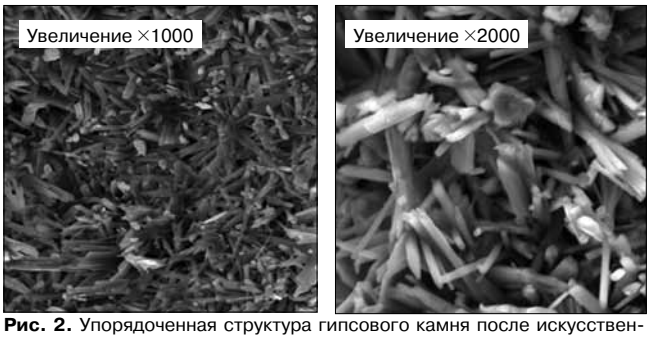


Рис. 2. Упорядоченная структура гипсового камня после искусственного старения в течение 3 сут при φ=0,8

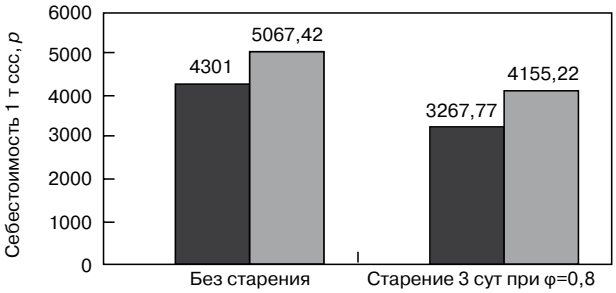


Рис. 3. Экономическая оценка изменяющейся части себестоимости сухих гипсовых смесей до и после искусственного старения гипсового вяжущего

Процесс искусственного старения гипсового вяжущего (в течение 3 сут при φ=0,8) позволяет снизить расход функциональных добавок и улучшить свойства сухих гипсовых смесей. Максимальный экономический эффект полученный при производстве сухих гипсовых смесей с использованием гипсового вяжущего после искусственного старения в рациональных условиях, составляет 1033,48 р/т для шпатлевочных смесей и 912,2 р/т для штукатурных (рис. 3).

Положительный результат опытного внедрения процесса искусственного старения гипсового вяжущего доказывает перспективность использования данного технологического передела в производстве гипсовых материалов.

Список литературы

1. Некрасова С.А., Гаркави М.С., Панферова А.Ю. Влияние искусственного старения на формирование структуры гипсового камня // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 24–25.
2. Погорелов С.А. Физико-химические основы старения гипсовых веществ. *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы VII Академических чтений РААСН. Международная научно-техническая конференция*. Белгород: БГТАСМ. 2001. Ч. 1. С. 438–441.
3. Nekrasova S.A., Garkavi M.S., Troshkina E.A., Fisher H.-B. Influence of artificial ageing conditions on the properties of gypsum binders. *2 Weimar Gypsum Conference*. Weimar. 2014. Pp. 295–301.
4. Алтыкис М.Г. Экспериментально-теоретические основы получения композиционных и многофазовых гипсовых вяжущих веществ для сухих строительных смесей и материалов. Дисс... д-ра техн. наук. Казань. 2003. 435 с.
5. Фишер Х.-Б. Низкообожженные полугидраты сульфата кальция и их влагопоглощение // *Цемент и его применение*. 2005. № 4. С. 39–42.
6. Garkavi M., Nekrasova S., Melchaeva O., Garkavi S., Fischer H.-B., Nowak S. Thermodynamic explanation of rational conditions of the «aging» of plaster binder: *18 ibausil. Internationale Baustofftagung*. Weimar. 2012. Pp. 1-0741-0748
7. Дергунов С.А. Комплексный подход к проектированию составов сухих строительных смесей общестроительного назначения. Дисс. ... канд. техн. наук. Самара. 2006. 206 с.

References

1. Nekrasov S.A., Garkavi M.S., Panferova A.Y. Effect of artificial agingtion on the structure of gypsum. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 24–25. (In Russian).
2. Pogorelov S.A. Physico-chemical basis of aging plaster substances. *Modern problems of building materials: Materials of the VIIth Academic readings of RAACS. International Scientific and Technical Conference*. Belgorod: BGTASM. 2001. Vol. 1, pp. 438-441. (In Russian).
3. Nekrasova S.A., Garkavi M.S., Troshkina E.A., Fisher H.-B. Influence of artificial ageing conditions on the properties of gypsum binders. *2 Weimar Gypsum Conference*. Weimar. 2014, pp. 295–301.
4. Altykis M.G. Experimental and theoretical fundamentals of composites and multiphase gypsum binders for dry construction mixtures and materials. Dr. Diss. (Engineering). Kazan. 2003. 435 p. (In Russian).
5. Fisher H.-B. Nizkoobozhzhennye calcium sulfate hemihydrate and water absorption. *Zement i ego primenenie*. 2005. No. 4, pp. 39–42. (In Russian).
6. Garkavi M., Nekrasova S., Melchaeva O., Garkavi S., Fischer H.-B., Nowak S. Thermodynamic explanation of rational conditions of the "aging" of plaster binder: *18 ibausil. Internationale Baustofftagung*. Weimar. 2012. pp. 1-0741-0748.
7. Dergunov S.A. Integrated approach to designing formulations of dry building mixes general construction purposes. Cand. Diss. (Engineering). Samara. 2006. 206 p. (In Russian).

Идеальный пол – миф или реальность?

Как сделать ровный пол

Современное строительство не обходится без материалов для выравнивания основания пола перед финишным покрытием как в существующем жилом фонде при ремонте, так и в новостройках. Стяжка – оптимальный вариант для устранения перепада уровней плит, выравнивания неровностей, устройства системы теплого пола.

Именно стяжка воспринимает основную нагрузку от мебели, движения людей, естественных деформаций здания. Поэтому при ее укладке необходимо не только строго соблюдать технологию, но и тщательно выбирать материал для заливки.

В настоящее время традиционная стяжка на основе цемента и песка применяется все реже. Ее приходилось укладывать относительно толстым слоем, что требовало длительного времени, а результат не всегда соответствовал требованиям. Кроме того, стяжка из цементно-песчаного бетона долго схватывается и часто растрескивается.

Современные строители все активнее переходят на другие, более технологичные решения для устройства стяжки, в том числе применяют самовыравнивающийся наливной пол. Одним из таких продуктов является **КНАУФ-Трибон – новинка от компании КНАУФ** – лидера европейской строительной индустрии. Среди его достоинств: простота применения, значительное сокращение сроков работ и, конечно, высокое качество.

Область применения самовыравнивающейся смеси КНАУФ-Трибон

КНАУФ-Трибон применяется для создания стяжек толщиной 10–60 мм под последующую укладку финишных покрытий (линолеума, паркета, плитки, ламината и др.). Материал можно использовать в различных типах помещений с сухим и нормальным режимом влажности: административных (школы, детские сады, государственные учреждения, поликлиники и больницы), жилых (частные дома, коттеджи, многоэтажные жилые комплексы) и коммерческого назначения (офисы, торговые центры, предприятия) как по бетонным, так и по деревянным основаниям.

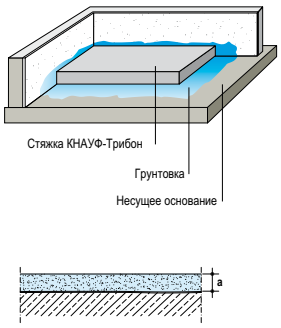
Этапы работы с КНАУФ-Трибон

Определение типа и толщины стяжки

Слои от 10 мм наносят на предварительно загрунтованное основание. При наличии разделительного слоя из подкладочной бумаги КНАУФ или плотной полиэтиленовой пленки толщина стяжки должна составлять не менее 30 мм. Стяжка на изолирующем слое из теплоизоляционных материалов и по системе теплых полов заливается толщиной от 35 мм, при этом в случае системы теплых полов толщина слоя отсчитывается от высшей точки нагревательного элемента.

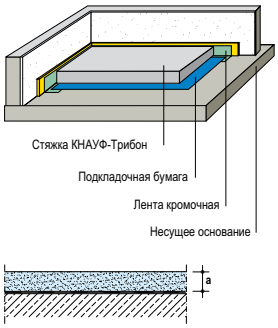
Виды стяжек с КНАУФ-Трибон

Выравнивающая стяжка непосредственно по несущему основанию



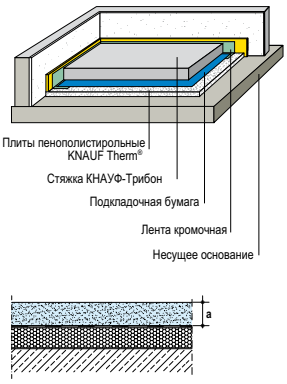
a = 10–60 мм КНАУФ-Трибон

Выравнивающая стяжка на разделительном слое



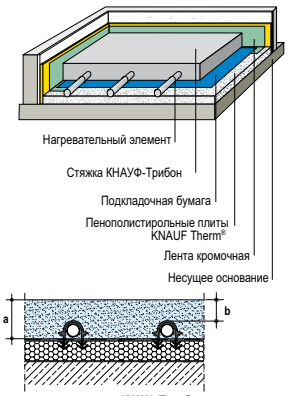
a = 30–60 мм КНАУФ-Трибон

Выравнивающая стяжка на изолирующем слое из пенополистирольных плит



a = 35–60 мм КНАУФ-Трибон

Выравнивающая стяжка с системой обогреваемого пола



a – не более 60 мм КНАУФ-Трибон
b – толщина слоя над элементами обогрева ≥ 35 мм

Подготовка основания

При устройстве стяжки, особенно без разделительного или изолирующего слоя, основание должно быть прочным, сухим, без трещин, очищено от пыли и масляных пятен. При контактном способе заливки основание обрабатывается грунтовкой Ротбанд-грунд или разведенной водой грунтовкой КНАУФ-Грундирмиттель в соотношении 1:3.

Крепление кромочной ленты

По периметру помещения крепят кромочную ленту КНАУФ для наливных полов. Разворачивается полиэтиленовая «юбка», сверху укладывается подкладочная бумага. В углах ленту следует надломить, чтобы не было пустот и зазоров. «Юбка» ленты будет служить защитой от протечек.

Приготовление раствора смеси

Подготовка раствора смеси выполняется вручную или механизированным способом. При ручном способе приготовления смеси в емкость предварительно наливают 6,5 л (4,5 л) чистой воды, затем засыпают содержимое мешка весом 30 кг (20 кг) и перемешивают строительным миксером до получения однородной консистенции. Время перемешивания одного замеса составляет не менее 2 мин.

Заливка

Перед заливкой пола по его площади на требуемую толщину выставляют специальные маяки для наливного пола. Заливка готового раствора выполняется от дальнего края помещения. Массу равномерно распределяют и постепенно добавляют новые порции смеси в центр и по направлению к выходу. Толщину слоя заливки контролируют по выставленным маякам. Для распределения жидкой смеси и удаления из нее пузырьков воздуха рекомендуется использовать специальную щетку или рейку.

После заливки

Время схватывания стяжки составляет около 6 ч, по истечении которого по ней уже можно ходить, а через 24 ч поверхность допускается нагружать. Во время выполнения заливки и в первый день после нее в помещении необходимо избегать сквозняков и прямых солнечных лучей для равномерного схватывания растворной смеси. Если данное условие не соблюдается, то возможно появление микротрещин на поверхности стяжки. В последующие дни, наоборот, необходимо хорошо проветрить помещение, чтобы сократить время полного становления.

КНАУФ-Трибон на строительных объектах

КНАУФ-Трибон совсем недавно появился на российском рынке, но его достоинства уже смогли оценить строители разных регионов России.

Примерами могут служить уже реализованные проекты: офисное здание в **Уфе** (заливка пола КНАУФ-Трибон была выполнена механизированным способом с использованием штукатурной машины PFT Cayman (Германия)); жилой многоквартирный дом в **Москве** (заливка пола КНАУФ-Трибон выполнена ручным способом).

По мнению специалистов, которые уже работали с новым универсальным самонивелирующимся полом КНАУФ-Трибон, качество поверхности отвечает самым высоким требованиям современного строительства, материал пригоден под укладку большинства финишных покрытий.

По вопросам крупных оптовых поставок обращайтесь в региональные подразделения ООО «КНАУФ ГИПС»

www.knauf.ru

УДК 666.91

Х. ВЕТЕГРОВЕ, дипломированный инженер, Claudius Peters Projects GmbH (Германия)

Инновационное производство гипса на GIPS AD

На примере компании GIPS AD (Кошава) показана реализованная технология производства строительного гипса по технологии и инжиниринговым решениям компании Claudius Peters. Проект включал операции от дробления гипсового камня до отгрузки строительного гипса потребителю. Описаны все стадии технологических переделов с применением оборудования и инженерных решений Claudius Peters. Даны иллюстрации наиболее интересных видов оборудования

На протяжении многих лет компания GIPS AD (Кошава) работает на рынке гипса и гипсовых вяжущих в Болгарии. Она реализует не только непосредственно строительный гипс, но также поставляет природный гипс с собственного карьера, разрабатываемого шахтным способом. Существовавшее производство строительного гипса осуществлялось в гипсоварочных котлах с газогенератором на дизельном топливе. Для того чтобы соответствовать европейским нормам по выбросам, было решено организовать новое производство строительного гипса неподалеку от старого. Завод располагается в селе Кошава поблизости от г. Видин на берегу реки Дунай на северо-западе Болгарии*.

Предприятие производило строительный гипс различного качества, который упаковывался как в обычные мешки, так и в биг-беги, а также отгружался навалом непосредственно в грузовики. Система кальцинации гипса проектировалась для работы с природным гипсом, поставляемым с местных гипсовых карьеров (рис. 1). Для того чтобы заменить три старых гипсоварочных котла, была спроектирована новая линия кальцинации производительностью 14 т/ч строительного гипса на основе мельницы кальцинации гипса EM 47–568 Claudius Peters. Компания Claudius Peters была выбрана в качестве комплектного поставщика оборудования, от дробления и подачи сырьевого гипса до упаковки строительного гипса (рис. 2).

Рис. 1. Новый завод Green Field (на новом месте)

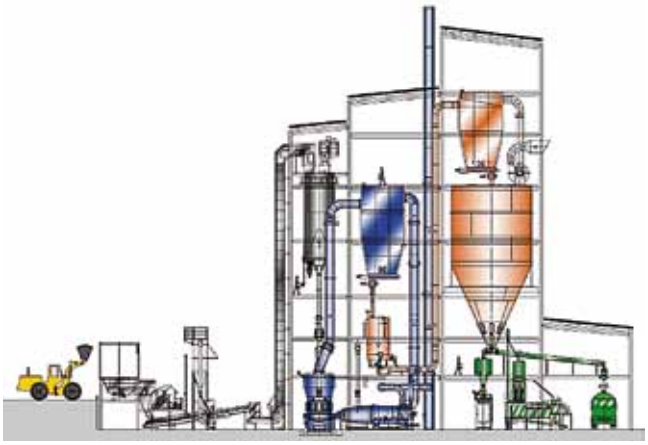


Рис. 2. Проект нового завода

Дробление и транспортировка сырьевого материала

Система дробления и транспортировки сырья включает все необходимое оборудование для обращения гипсового камня, поступающего из карьера, и подачи его в требуемом качестве и количестве в систему кальцинации (рис. 3). Сырьевой гипс загружается с помощью колесного погрузчика в бункер вибропитателя. Затем он дозируется в ударную дробилку, где происходит дробление до размера, необходимого для последующего измельчения в мельнице EM. Раздробленный материал выгружается и с помощью ленточного транспортера подается к вертикальному ленточному транспортеру. Металлические части отделяются с помощью постоянного надленточного магнита. Кроме того, установлен детектор металла для исключения попадания металлических частей в систему кальцинации.

Вертикальный ленточный транспортер с двойной лентой подает гипс в силос сырьевого материала (высота подъема ~25 м). Такая техника была выбрана, поскольку позднее к природному гипсу планировалось примешивать FGD-гипс (гипс, полученный в процессе сероочистки дымовых газов). По той же причине установлен силос сырьевого гипса, имеющий днище с механической выгрузкой (рис. 4) вместо стандартного силоса с односторонним конусным днищем.

Рис. 3. Дробление и транспортировка сырьевого материала

* Этот документ был создан при финансовой поддержке Производственной программы для развития конкурентоспособности болгарской экономики, софинансируемой Европейским союзом через Европейский фонд регионального развития. Компания GIPS AD является исключительно ответственным за содержание документа и оно ни в коем случае не должно рассматриваться как мнение Европейского союза и государственного заказчика.

Рис. 4. Механическая выгрузка силоса сырьевого гипса

Рис. 5. Цепной скребковый питатель

Из силоса сырьевого гипса материал поступает в цепной скребковый питатель Claudius Peters, который осуществляет постоянную регулируемую подачу гипсового камня в мельницу Claudius Peters. Преимуществом цепного скребкового питателя являются его износостойкость и герметичность (рис. 5).

Система кальцинации строительного гипса

Для обслуживания производства сухих строительных смесей была установлена инновационная система кальцинации гипса Claudius Peters, включающая не только вертикальную тарельчато-шаровую мельницу, но и гомогенизатор.

Мельница EM Claudius Peters установлена на более чем 100 гипсовых заводах и хорошо известна как оборудование для производства строительного гипса. Такой опыт эксплуатации позволяет считать оборудование помола и кальцинации Claudius Peters самым современным уровнем развития техники.

Процессы помола, сушки, кальцинации и сепарации осуществляются в мельнице EM. Вспомогательное оборудование требуется для генерации горячих газов, выделения пылеобразного продукта из воздушного потока системы и создания воздушного потока. Конструкция мельницы выполняется в расчете на температуру горячего газа на входе до 650°С, что позволяет снизить объемы воздушного потока и приводит к значительному улучшению энергетических показателей. Рециркуляция дымового газа к газогенератору способствует максимальному использованию тепловой энергии и обеспечивает оптимальные условия для получения стабильного качества продукта.

Материал подается в мельницу через течку и попадает в центр нижней тарелки, которая приводится в движение редуктором мельницы (рис. 6). Под действием центробежной силы гипс равномерно распределяется под мелющими шарами и выводится из зоны помола через внешний край нижней мелющей тарелки, где вовлекается в поток горячего газа, поступающий из генератора горячих газов и поднимающийся снизу вверх к сепаратору (рис. 7). Равномерное распределение материала по периметру нижнего мелющего кольца, а также оптимальное распределение горячего газа благодаря особому способу подачи воздуха в сопловое кольцо обеспечивают равномерную сушку и обжиг гипса. До поступления в сепаратор частицы крупных размеров оседают в зоне помола благодаря гравитационной силе. Оставшиеся частицы поступают в сепаратор, где происходит процесс разделения материала. Функция сепаратора заключается в отделении максимального количества частиц, не достигших заданной тонкости помола. Крупка возвращается назад в зону помола. Материал, измельченный до заданной тонкости помола, выносится из мельницы с потоком горячего газа. Конечный продукт отделяется от газового потока в пылеуловителе. Система работает в замкнутом контуре, т. е. значительная часть горячего воздуха, использованного для кальцинации, очищается и рециркулирует и повторно подается вместе с горячими газами газогенератора в мельницу.

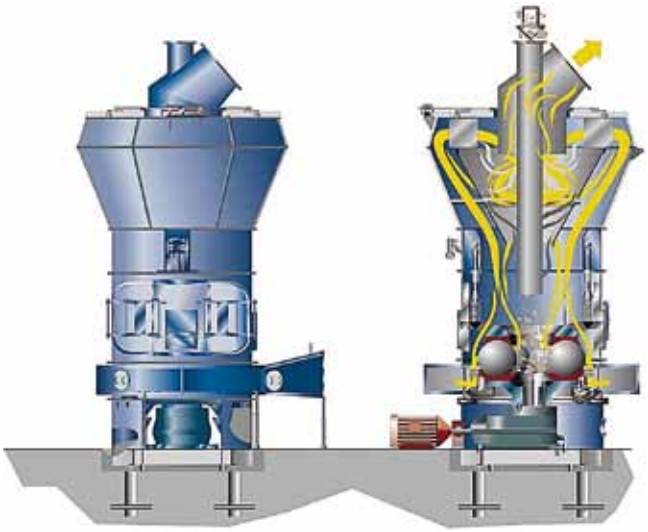


Рис. 6. Вертикальная тарельчато-шаровая мельница Claudius Peters

Рис. 7. Мелющие элементы

Рис. 8. Гомогенизатор с вертикальной трубой

Главные преимущества мелющего механизма:

- отсутствие подшипников и мест смазки в зоне помола;
- не требуется воздушного уплотнения для мельницы, работающей под разрежением;
- низкое удельное потребление энергии на помол;
- допускается температура воздуха на входе до 620°С;
- шары остаются идеально круглыми благодаря их вращательным движениям;
- не требуется наваривания мелющих элементов;
- постоянная производительность в течение всего срока службы;
- долгий срок службы мелющих элементов (до 8–10 лет);
- оптимальная кальцинация материала при постоянных условиях для надежного высочайшего качества продукта;
- равномерное распределение материала в зоне помола для оптимального качества;
- наивысшая стабильность при попадании инородных частиц;
- автоматическое удаление инородных частиц без остановки мельницы.

Обработка строительного гипса в гомогенизаторе

Строительный гипс, осажденный в пылеуловителе системы кальцинации, поступает в гомогенизатор Claudius Peters, где происходит его дальнейшая обработка, позволяющая экономически эффективно повысить качество продукта (рис. 8).

Свежекальцинированный β-полугидрат изменяет свои характеристики при продолжительном хранении или перевалке. Этот эффект известен как «естественное старение» и основан на взаимодействии гипса с влагой окружающей среды. Кальцинированный гипс из технологического процесса не является чистым гипсовым полугидратом. Он также включает долю безводного гипса, главным образом в форме растворимого ангидрита, а также некальцинированный гипс, который остается в форме гипсового дигидрата. Присутствие влаги делает возможным обратное преобразование растворимого ангидрита в полугидрат, а при достаточном уровне влажности и времени контакта даже назад в дигидрат. Это обратное преобразование происходит преимущественно возле трещин и пор разрушенного полугидрата, приводя к покрытию и заполнению этих пустот. Таким образом, снижается удельная поверхность по BET, в результате чего изменяются другие характеристики продукта.

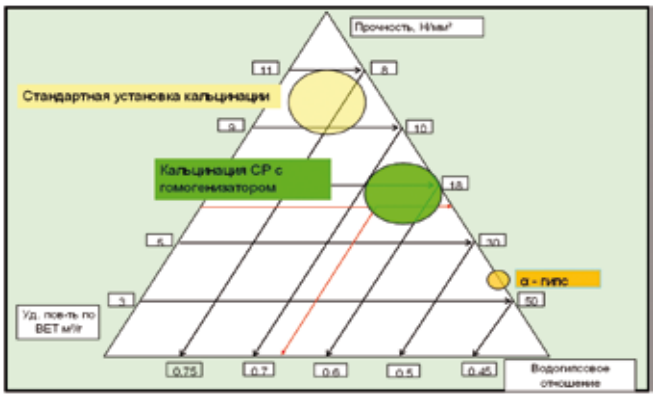


Рис. 9. Улучшение качества

В природном старении этот процесс может занимать часы или даже сутки с трудно прогнозируемыми параметрами качества продукта. По этой причине во многих случаях для дальнейших технологических процессов производители предпочитают работать непосредственно со свежекальцинированным гипсовым вяжущим.

Сниженная удельная поверхность гипсового вяжущего указывает на компактную кристаллическую структуру (как в α-полугидрате) которая влечет за собой снижение водопотребления гипса. Снижение водопотребления в свою очередь приводит к повышенной прочности при сжатии и изгибе (рис. 9).

Развивая концепцию искусственного старения, компания Claudius Peters разработала технологию, позволяющую улучшить следующие параметры при производстве гипса (табл. 1):

- гомогенность качества продукта;
- стабилизация продукта;
- снижение водопотребления;
- увеличение прочности продукта.

Ключевым компонентом в этом процессе является гомогенизатор Claudius Peters. Свежекальцинированный гипс поступает в непрерывном режиме из фильтра кальцинации с температурой кальцинации и вводится в гомогенизатор. С той же производительностью обработанный гипс выгружается из гомогенизатора, в данном случае к последующему процессу охлаждения. Уровень гипса в гомогенизаторе обеспечивает обработку гипса при требуемой температуре в течение определенного времени. Влага может подаваться в гомогенизатор как компонент газов технологического процесса из установки кальцинации.

Таблица 1

Свойства строительного гипса

Показатель	До гомогенизатора	После гомогенизатора	Относительное улучшение, %
Удельная поверхность по BET, м²/г	9–12	~7	22–42
Водогипсовое отношение	0,65–0,75	~0,6	8–20
Прочность при сжатии, Н/мм²	~11	~16	~45
Содержание связанной воды, %	5,5–6,2	~6,2	0–13
Содержание растворимого ангидрита, %	5–10	~1	80–90

Рис. 10. Гомогенизатор с аэрационным днищем

Рис. 11. Пневматическая труба охлаждения

Введенные в гомогенизатор газы обеспыливаются фильтром технологического процесса.

Гомогенизатор представляет собой вертикальный реактор, днище которого оснащается тканью, способствующей равномерному распределению газа псевдоожижения (рис. 10). Благодаря псевдоожиженному состоянию гипс может легко перемещаться в реакторе и интенсивно контактировать с привнесенной влагой. Кроме того, центральная вертикальная труба реактора получает дополнительное количество воздуха, что позволяет транспортировать гипс от днища к верхней секции гомогенизатора, интенсифицируя смешивание и гомогенизацию продукта [1, 2]).

Система охлаждения

Из гомогенизатора строительный гипс поступает с помощью дозирующего вальца Claudius Peters в пневматический всасывающий охладитель. Система охлаждения снижает температуру гипса от температуры обжига (приблизительно 155°С) до 80°С путем непосредственного охлаждения окружающим воздухом (рис. 11). В фильтре гипс отделяется от воздушного потока и поступает через ячейковый затвор непосредственно в силос хранения строительного гипса. Другое транспортное оборудование, например шнеки или ковшовые элеваторы, не требуется.

Отделение упаковки и отгрузки

Отделение упаковки и отгрузки состоит из трех независимых частей: затаривание в биг-беги, фасовка в клапанные мешки с укладкой их на поддоны и система загрузки навалом в автотранспорт. Строительный гипс подается во все установки из одного и того же силоса, причем возможна одновременная работа всех трех установок. Вместимость силоса составляет 500 т.

Система упаковки в биг-беги (рис. 12)

Система упаковки спроектирована для биг-бегов с четырьмя стропами с весовым диапазоном 500–2000 кг. Заполнение осуществляется грубым и тонким потоками с помощью загрузочного шнека. Скорость вращения загрузочного шнека регулируется частотным преобразователем. Система управляется электронным прибором PACTRON Claudius Peters.

Система упаковки для клапанных мешков (рис. 13)

Заполнение мешков осуществляется с помощью двухштуцерной рядной упаковочной машины Claudius Peters модульного исполнения с горизонтальной крыльчаткой заполнения, восходящим потоком обеспыливания, процессом заполнения грубым и тонким потоками, контрольным взвешиванием пустых и заполненных мешков на штуцере и самооптимизацией параметров заполнения с помощью системы взвешивания PACTRON.

Проектная производительность для мешков 40 кг составляет 500 мешков/ч. В настоящее время упаковочная машина работает с мешками 25 кг с производительностью 600 мешков/ч. Для мешков с другой массой также могут быть подобраны параметры работы [3]).

От рядной упаковочной машины мешки перемещаются роликовым транспортером, который оснащен устройством пневматической очистки мешков. На следующем ленточном транспортере мешки выравниваются и поступают на укладку на поддоны через систему подачи. Механизм поворота располагает мешки в ряд согласно программе управления. Толкатель рядов перемещает отдельные ряды для формирования полных слоев. Протяжная плита укладывает эти слои на поддон подъемника для формирования штабеля (рис. 14).

Паллетайзер можно настраивать в соответствии с требованиями.

Система загрузки навалом для грузовиков

Дозирующий валец управляет подачей строительного гипса из силоса хранения в аэрожелоб. По аэрожелобу материал транспортируется к стационарному загрузочному устройству Claudius Peters. При загрузке с помощью этого устройства в грузовик обеспыливание происходит с помощью центрального обеспыливающего фильтра. На рис. 15 показана красная труба к нему.

Система автоматики

Компания Claudius Peters осуществила инжиниринг и поставила комплектную систему автоматического управления, а также низковольтные коммутационные устройства. Система автоматики состоит из IT-инфраструктуры, системы программируемого логического контроллера (PLC), компьютеров и интерфейса машина-человек (HMI).

Рис. 12. Система упаковки в биг-беги

Рис. 13. Система фасовки клапанных мешков

Рис. 14. Установка укладки мешков на поддоны

Рис. 15. Система загрузки навалом

Рис. 16. Визуализация в центре управления

Визуализация запрограммирована с помощью WinCC. Пример системы визуального контроля у стола оператора показан на рис. 16, где отображен контур кальцинации с детальными параметрами генератора горячих газов.

История проекта

В связи с финансированием проекта Европейским союзом была проведена официальная тендерная процедура ЕС, по результатам которой в декабре 2009 г. компания Claudius Peters выбрана в качестве исполнителя. Контракт был подписан в июле 2010 г. В феврале 2011 г. начался монтаж оборудования Claudius Peters, который продлился шесть месяцев. Первый кальцинированный материал был произведен в сентябре 2011 г., т. е. через 14 месяцев после подписания контракта. Эксплуатационная приемка оборудования проведена в октябре 2011 г. (табл. 2).

Таблица 2

Эксплуатационные показатели цеха кальцинации

Установка кальцинации	Технические данные
Производительность установки	⩾14 т/ч
Тонина продукта	⩽ 1 % остаток на сите 200 мкм
Тонина продукта (9 т/ч)	⩽ 3 % остаток на сите 100 мкм
Общее потребление топлива	⩽ 940 кДж/кг
Общая электрическая мощность	⩽ 25 кВт•ч/т (включая охлаждение)
Начало схватывания	6–9 мин
Выделение пыли	⩽ 10 мг/нм^3

Во время реализации всего проекта, от инжиниринга до отгрузки оборудования, монтажа и пуска в эксплуатацию, между компаниями GIPS AD и Claudius Peters наладилось тесное взаимодействие. Это позволило наилучшим образом использовать на всех этапах предшествующий опыт для организации инновационного гипсового производства. С другой стороны, поставка компанией Claudius Peters комплектной системы от дробления и транспортировки гипсового камня до упаковки и отгрузки строительного гипса позволила компании GIPS AD минимизировать численность производственного персонала для нового завода. Полностью автоматизированная система требует только нескольких операторов и обеспечивает такое качество строительного гипса, которое является оптимальным для дальнейшего получения продуктов на гипсовой основе. Установка кальцинации GIPS AD является экологичной и гибкой для поставки на конкурентный рынок гипсового вяжущего с желаемыми характеристиками по низким ценам.

Список литературы / References

1. Wetegrove H. The Claudius Peters Homogenizer: Cost cutting plaster production technology. *Global Gypsum Magazine*. 2009 Nov./Dec., pp. 24–26.
2. Hilgraf P. Quality improvement of β-plasters. *Cement Lime Gypsum* (ZKG). 2011. No. 6, pp. 38–50.
3. Lübbert B. Packing Machines for Gypsum. Global Gypsum Conference. Las Vegas, 17–18 October 2011.

ЗАО САМАРСКИЙ ГИПСОВЫЙ КОМБИНАТ

FORMAN
Сухие строительные смеси

САМАРСКИЙ ГИПСОВЫЙ КОМБИНАТ: 70 ЛЕТ УСПЕХА

В 2014 г. Самарский гипсовый комбинат празднует свое 70-летие.

Что такое 70 лет для крупного производственного предприятия, история которого началась, по сути, в другой стране и в совершенно другой системе экономики? Это большой накопленный опыт и сформировавшиеся ценности. Это сотрудники, которые работают на комбинате по 20–25 лет, и даже целые «гипсовые» династии. Это преемственность традиций качества продукции: по техническим и качественным показателям высокопрочного гипса СГК разрабатывался государственный стандарт для высокопрочных гипсовых вяжущих. В настоящее время ЗАО «СГК» – это предприятие, специализирующееся, пожалуй, в самом сложном сегменте гипсовой отрасли – производстве высокопрочного гипса, являющееся пионером своего дела, сотрудники которого радеют душой за свой комбинат.

В течение многих лет Самарский гипсовый комбинат остается безусловным лидером рынка РФ по производству высокопрочного гипса. Однако рынок меняется и компания должна меняться вместе с ним. Краеугольным решением для компании стал переход от продуктовой стратегии к рыночной. Поэтому в 2008 г. был открыт завод по производству сухих строительных смесей, затем завод по производству пазогребневых плит европейского стандарта. В 2013 г. завершен полный цикл вертикальной интеграции. Сначала СГК был исключительно производственной площадкой, затем производственно-сырьевой. Мы приобрели карьер, начали разработку и в настоящее время осуществляем полный цикл добычи и переработки гипсового камня. Теперь при производстве целого ряда строительных материалов используется сырье собственного карьера. Мы планируем нарастить производство высокопрочного гипсового вяжущего и увеличить переработку природного гипса. Это позволит масштабнее подойти к производству готовых продуктов на основе гипса, что еще больше приблизит нас к потребителю. И первые шаги на этом пути уже сделаны: на сегодняшний день FORMAN вошел в топ-20 производителей сухих смесей в России.

Главной составляющей успеха компании является качество производимых продуктов. Мы постоянно ведем мониторинг рынка, организуем контрольные закупки, проводим сравнительные испытания и стараемся знать максимум о том, что происходит в отрасли как в России, так и за рубежом. Специалисты комбината обладают широким спектром знаний в специфических областях, умеют создавать продукты под конкретную задачу и с четко заданным набором качеств. Сегодня ЗАО «СГК» – единственное предприятие в России, которое не

только производит сухие строительные смеси и гипсовые ПГП, но и создает уникальные продукты со специфическими характеристиками, часть из них уже успешно используется в искусстве и оформлении интерьеров. Новые продукты будут предложены целому ряду отраслевых рынков в самое ближайшее время.

Например, именно из гипсовых вяжущих производства СГК создаются 3D-стеновые панели. Недавно на Самарском гипсовом комбинате были разработаны и начато производство двух уникальных продуктов с оптимально подобранным составом на основе высокопрочного гипса улучшенных характеристик – «Скульптор» и «Камнедел». Они позволяют в сжатые сроки и с высокой экономической отдачей изготавливать элементы для оформления интерьеров, в частности весьма востребованный рынком декоративный камень. При помощи «Камнедела» можно создавать камни любой формы, цвета, размера: сланец, плиточный песчаник, речную гальку, мрамор и т. д. «Скульптор» – готовая гипсовая смесь, применяющаяся для изготовления стеновых 3D-панелей, а также скульптур. Она позволяет точно воспроизвести поверхности формы без образования пузырьков, раковин и наколов, обеспечивает высокую механическую прочность изделий.

У СГК большой опыт и большая дорога впереди – дорога вместе с его партнерами, которые во многом являются для него драйверами изменений и усовершенствований!

С.А. Кильдюшев,
директор по продажам и маркетингу ЗАО «СГК»

443052, г. Самара, ул. Береговая, д. 9А
Тел./факс: +7 (846) 269 64 25
www.samaragips.ru

НЕМЕЦКИЙ СТАНДАРТ. ЕДИНОЕ КАЧЕСТВО ДЛЯ ВСЕХ СТРАН

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

Реклама

www.knauf.ru

У высокотехнологичных решений есть имя – Гренцебах

Компания Гренцебах БСХ ГмбХ (Grenzebach BSH GmbH) осуществляет свою деятельность по всему миру, постоянно растет и до сих пор является семейным предприятием. Компания занимается проектированием, разработкой и автоматизацией технологических линий и предлагает оборудование, разрабатываемое в соответствии с идивидуальными требованиями заказчиков на основании самых современных технологий с целью выполнения высокотехнологичных производственных и автоматизационных задач. Более 1600 сотрудников компании Гренцебах, занятых в представительствах в Европе, Америке и Азии, разрабатывают высокотехнологические решения для комплексных производственных нужд своих заказчиков.

Гренцебах является ведущим мировым поставщиком оборудования и систем для промышленности строительных материалов: переработки и производства гипса, древесины, минеральной ваты или термической обработки. Клиенты компании Гренцебах во всех уголках земного шара эффективно используют профессиональные навыки и более чем 90-летний опыт специалистов, работающих в г. Бад Херсфельд (Германия).

Высокая надежность, низкие производственные расходы, оптимальная энергоэффективность – системы Гренцебах для производства гипса соответствуют самым высоким стандартам качества. Компания Гренцебах разрабатывает, изготавливает и поставляет технологические линии для производства гипсокартонных листов, гипсовых конструкционных и пазогребневых плит и потолочных плит с возможностью сдачи «под ключ».

Системы кальцинирования и сушки гипса

Гренцебах проектирует и строит производственные линии для обработки и переработки природного и синтетического гипса в гипсовое вяжущее. Помимо переработки природного гипса, все большее значение приобретает во всем мире переработка синтетического гипса. Новые концепции кальцинирования синтетического гипса, разработанные и реализованные компанией Гренцебах, стали стандартом в мировой гипсовой промышленности. Процесс кальцинирования является важным фактором для контроля характеристик продукции, так как он непосредственно влияет на кристаллическую структуру и фазовый состав гипса.

Линии по производству гипсокартонных листов

Какая бы задача не ставилась клиентом – отдельные узлы оборудования, комплектная производственная линия или завод «под ключ», в лице компании Гренцебах обеспечено профессиональное консультирование, превосходные технологии, надежное оборудование и поддержка при запуске. Все системы проверены многолетним опытом в гипсовой промышленности. Производственные технологии постоянно усовершенствуются за счет новых практических решений, часто разрабатываемых в процессе сотрудничества с заказчиками и отражающих промышленные стандарты технологий управления. Технологические линии могут отличаться в зависимости от используемого гипса, необходимой производительности, различных продуктов и индивидуальных предпочтений.

Линии по производству пазогребневых плит

Пазогребневые плиты являются строительными изделиями, которые производятся из сульфата кальция и воды и могут содержать включения волокон, наполнители, заполнители и другие добавки. Они оснащены гребнем и пазом и используются при внутренней отделке зданий в качестве перегородок. Пазогребневые плиты обычно имеют размеры 500×666 мм, и толщину от 50 до 120 мм. Возможно производство полнотелых и пустотелых плит. Пазогребневые плиты просты в использовании, огнестойки, устойчивы к плесени и паразитам и помогают регулировать влажность в помещении. Компания Гренцебах поставляет комплектные линии для производства пазогребневых плит различной мощности в соответствии с пожеланиями заказчика и потребностями рынка.

GRENZEBACH

Гренцебах БСХ ГмбХ Рудольф-Гренцебах-Штрассе, 1 36251 Бад Херсфельд
Тел.: +49 6621 81-3000 Факс: +49 6621 81-93613
E-mail: info.gbsh@grenzebach.com www.grenzebach.com

Есть
Такая
Система

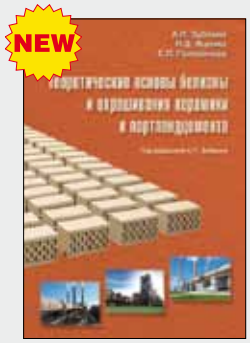
ETC

Группа компаний
«Единая Торговая Система»

20 ЛЕТ
НА РЫНКЕ
СПЕЦИАЛЬНОГО
ХИМИЧЕСКОГО
СЫРЬЯ

WWW.UTSRUS.COM

Реклама



Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента

Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Голованова С.П.

М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2014. 152 с.

В книге представлены теоретические основы белизны и окрашивания керамических строительных материалов и белого портландцемента (БПЦ) с позиции теории цветности силикатных материалов в зависимости от их фазовоминерального состава, структуры, содержания хромофоров Fe, Mn и Ti, условий обжига и охлаждения (окислительных или восстановительных).

В результате исследований авторов и других ученых с применением комплекса физико-химических методов состояния окрашивающих примесей и ионов хромофоров в силикатах и алюминатах кальция, в алюмосиликатных минералах и подобных стеклофазах.

Установлены закономерности зависимости белизны, цвета и особенности окрашивания как пигментов, так и твердых растворов бесцветных фаз ионами-хромофорами от структуры, изовалентного или гетеровалентного изоморфизма, образования окрашивающих кластеров. Разработаны эффективные способы управления белизной и декоративными свойствами строительных керамических материалов (фарфора, фаянса, облицовочной плитки, кирпича) и белого портландцемента.

Книга предназначена для научных сотрудников, инженерно-технических работников промышленности, преподавателей, аспирантов, студентов.

Тел./факс: (499) 976-22-08; 976-20-36
www.rifsm.ru

Защита деревянных конструкций

Автор – А.Д. Ломакин, канд. техн. наук, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2013. 424 с.

В книге приведены результаты исследований, проведенных автором и разработанные им рекомендации по конструкционной и химической защите деревянных конструкций. Большое внимание уделено защите несущих ДКК и конструкций из ЛВЛ от эксплуатационных воздействий и возгорания.

Приведены известные и разработанные автором методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натурных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Описаны результаты мониторинга влажностного состояния несущих КДК в таких крупных объектах, как ЦВЗ «Манеж», крытый конькобежный центр в Крылатском в Москве и др., при проведении которого использована разработанная автором методика оценки влажности древесины с использованием модельных образцов.

Книга рассчитана на специалистов и научных работников, работающих в области защиты деревянных конструкций, технологов предприятий по производству КДК и заводов деревянного домостроения, сотрудников проектных организаций и преподавателей вузов. Она может быть полезна также и для организаций, занимающихся строительством зданий и сооружений с применением деревянных конструкций.

Цена 1000 р. **без почтовых расходов.**

Заявки для прибретения направлять
по тел./факсу: (499) 976-20-36, 976-22-08
E-mail: mail@rifsm.ru

Седьмая Международная конференция по гипсу * Нижний Новгород 2014 *

10–12 сентября 2014 г.

Нижний Новгород

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

Российская гипсовая ассоциация
Московский государственный строительный университет
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН
ГУП «НИИМосстрой»

Седьмая Международная конференция

«Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»

Тематика конференции:

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

Генеральный информационный спонсор: журнал Строительные Материалы

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ПО ТЕХНОЛОГИЯМ И ПЕРЕРАБОТКЕ СЫПУЧИХ И ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР», МОСКВА, РОССИЯ 3-5 СЕНТЯБРЯ 2014 Г.

POWX2014

BULK POWDER EXPO RUSSIA

POWX – ЭТО НОВОЕ МЕРОПРИЯТИЕ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ, КОТОРОЕ ПОСВЯЩЕНО ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ТЕХНОЛОГИЯМ ОБРАБОТКИ СЫПУЧИХ И ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В СФЕРЕ ПЕРВИЧНОЙ И ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ. POWX ОХВАТЫВАЕТ ВСЕ ТЕХНОЛОГИИ ПО ПОГРУЗКЕ, РАЗГРУЗКЕ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ТРАНСПОРТИРОВКЕ, СКЛАДИРОВАНИЮ, КОНТРОЛЮ, СУШКЕ, СОРТИРОВКЕ, ФИЛЬТРАЦИИ, РАЗДЕЛЕНИЮ, ДРОБЛЕНИЮ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЮ И УПАКОВКЕ. ЕСЛИ ВЫ ЗАИНТЕРЕСОВАНЫ В УЧАСТИИ В ВЫСТАВКЕ ИЛИ КОНФЕРЕНЦИИ POWX 2014, СВЯЖИТЕСЬ С НАШИМ ОТДЕЛОМ ПО ПРОДАЖАМ @ OWP INTERNATIONAL
(ТЕЛ) +49 (0)911 / 50711-150 (ФАКС) +49 (0)911 / 50711-250
(EMAIL) INFO@POWX-RUSSIA.RU

WWW.POWX-RUSSIA.RU

ВАС ОЖИДАЮТ ЭКСПЕРТЫ ИЗ ОТРАСЛЕЙ »
- ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
- ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
- ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ И КОРМА ДЛЯ ЖИВОТНЫХ
- КЕРАМИКА И СТЕКЛО
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КАМЕННЫЕ ПОРОДЫ, ГРУНТ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАВОДОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ

ВЫ ОЗНАКОМИТЕСЬ С ТЕХНОЛОГИЯМИ »
- ПЕРЕРАБОТКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ
- СКЛАДИРОВАНИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ
- БЕЗОПАСНОСТЬ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА
- УСЛУГИ И КОНСАЛТИНГ
- ТРАНСПОРТ И ЛОГИСТИКА

Деловой вояж российских известковиков в Китай

В последние годы стало очевидно, что в производстве извести наблюдается устойчивая тенденция ввода новых и модернизации уже имеющихся производственных мощностей, что обусловлено их достаточно высоким износом. Естественно, что поиск оптимального по соотношению цена-качество технологий и оборудования, является первоочередной задачей для руководителей многих предприятий. Много интересных решений предлагает ряд компаний из стран Западной Европы, Америки, но также известно, что не всегда эти предложения оптимальны по цене.

В то же время китайские машиностроители активно продвигают свою продукцию в РФ. Уже известны случаи приобретения и успешной эксплуатации некоторых видов технологического оборудования для производства извести, однако реально оценить технологию можно только на месте. Поэтому продолжением делового сотрудничества Некоммерческого партнерства производителей извести и научно-технического и производственного журнала «Строительные материалы»®, начавшегося с проведения семинаров «Инновационные технологии производства извести» в Москве в 2012 г. и Мюнхене (Германия) в 2013 г., стала идея организации деловой поездки российских известковиков в Китай.

Приятной неожиданностью при посещении компании «Зенит» стало растяжка-приветствие на русском языке

Р.Ф. Галиахметов (ООО «Росизвесть», Воронеж) и В.И. Зуев (ООО ВПП «Известa», Воронеж)

Е.В. Климкина, главный технолог завода «Сибит» (Новосибирск), точно знает характеристики извести, которая нужна для производства качественных изделий. Консультации по оборудованию предоставляет Д.Н. Усманов («Зенит»)

Шоу рум компании «Зенит»

Семинар компании «Шицзячжуан Синьхуа Энергия Экологические Технологии», где нашим специалистам представили все виды печей, разработанных компанией

Российские специалисты ознакомились с работой конструкторского бюро компании «Шицзячжуан Синьхуа Энергия Экологические Технологии»...

...а во время обеденного перерыва сыграли с китайскими коллегами в бильярд. В дружеском матче победу одержал В.Н. Ермолаев (ЗАО «Известь Сысерти»)

Представители ОАО «Химико-металлургический завод» (Красноярск) А.К. Никулин (слева) и Г.Б. Крылов обращали внимание на все особенности производства

На заводе Hebei Puyang Iron And Steel Co., Ltd, слева О.Ю. Тарарыков (ЗАО «Копанищенский комбинат строительных материалов»), справа В.Д. Дьяконов (ОАО «Солигаличский известковый комбинат»)

На мониторах весь технологический процесс производства извести

В заключении делегация российских известковиков попала на прием к секретарю ячейки Коммунистической партии Китая товарищу Хоу Эрхэ, которой принадлежит завод завода Hebei Iron And Steel Co., Ltd. Нашу делегацию ознакомили с состоянием и перспективами развития организации, в собственности которой также аграрный комплекс и деревня на 400 тыс. жителей.

В конце апреля 2014 г. команда представителей российских производителей извести отправилась в Китай. В программе поездке было посещение горной машиностроительной компании «Зенит» (Zenith Mining and Construction Machinery Co., Ltd.) в Шанхае, холдинга ЦНБМ (CNBM International Engineering Co., Ltd.) в Пекине, «Шицзячжуан Синьхуа Энергия Экологические Технологии» (Shijiazhuang Xinhua Energy Environmental Technology CO., LTD) в г. Шицзячжуане и двух заводов производства извести Hebei Puyang Iron And Steel Co., Ltd (шахтные печи) и Hebei Iron And Steel Co., Ltd. (вращающиеся печи) в г. Ханьдань

Общая оценка уровня технологического оборудования в сочетании со вполне адекватной ценой позволяет предположить, что при реализации ряда организационных моментов, в РФ возможно появление производства извести по технологиям из Китая

VIII Международная научно-практическая конференция

Развитие производства силикатного кирпича в России

СИЛИКАТэкс

8–9 октября 2014 г.

Москва

Программа конференции:

- Технологии и оборудование для производства силикатного кирпича
- Сырьевые материалы, подготовка, оптимизация составов
- Особенности производства цветного кирпича
- Современные виды силикатных материалов, использование в строительстве
- Нормативная база отрасли
- Диверсификация заводов

Участники конференции посетят ЗАО «Калужский завод строительных материалов»

Организатор конференции – журнал «Строительные материалы»®

Генеральный спонсор «**ИНВЕСТ–ТЕХНОЛОГИЯ**»

Спонсор EIRICH

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»®

УДК 666.91

Л.И. СЫЧЕВА, канд. техн. наук, Д.В. АМЕЛИНА, инженер

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

Влияние термообработки на строительно-технические свойства продуктов дегидратации гипса

Определены состав и количество продуктов дегидратации гипсового камня в температурном интервале 140–350°С. Показана взаимосвязь состава многофазового гипсового вяжущего с его строительно-техническими свойствами. Удельная поверхность гипсового вяжущего изменяется ступенчато в соответствии с фазовыми переходами при его получении. Увеличение времени термической обработки гипсового камня приводит к значительному изменению фазового состава гипсового вяжущего и повышению доли растворимого ангидрита. Определено влияние на свойства многофазового гипсового вяжущего. Появление растворимого ангидрита в продуктах термической обработки гипсового камня растворимого ангидрита не приводит к увеличению удельной поверхности и нормальной густоты, но удлиняет сроки схватывания гипсового вяжущего. Показано, как изменяется фазовый состав гипсовых вяжущих при хранении в естественных условиях.

Ключевые слова: многофазовое гипсовое вяжущее, растворимый ангидрит, продукты дегидратации гипса.

L.I. SYCHEVA, Candidate of Sciences (Engineering), D.V. AMELINA, Engineer

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

Influence of Heat Treatment on Building-Technical Properties of Products of Gypsum Dehydration

The composition and quantity of products of gypsum stone dehydration within the temperature interval of 140–350°C are determined. The interconnection of the composition of multiphase gypsum binder with its building-technical properties is shown. The specific surface of gypsum binder changes step-by-step in accordance with phase transitions taking place in the course of its production. The increase in time of heat treatment of gypsum stone leads to the significant change of the phase composition of gypsum binder and the increase of the part of soluble anhydrite. The influence of the soluble anhydrite on properties of multiphase gypsum binder is determined. The appearance of soluble anhydrite in products of heat treatment of gypsum stone does not lead to the increase in the specific surface and normal consistency but prolongs the time of gypsum binder setting. It is shown as the phase composition of gypsum binders changes when storing under natural conditions.

Keywords: multiphase gypsum binder, soluble anhydrite, products of gypsum dehydration.

Известно, что в процессе термической обработки гипсового камня при получении вяжущего образуется многофазовый продукт, состоящий из дигидрата и полугидрата сульфата кальция, растворимого и нерастворимого ангидрита. Количество этих фаз определяется в первую очередь параметрами термической обработки гипсового камня, а также типом теплового агрегата, в котором проводят обжиг.

Чтобы обеспечить выравнивание фазового состава строительного гипса, при его производстве предусматривают стадию томления или вторичного помола. В результате первоначально присутствовавшие в вяжущем дигидрат сульфата кальция и растворимый ангидрит переходят в полугидрат сульфата кальция. В современных технологиях быстрого обжига гипсового камня, который идет при повышенных температурах, таких переделов, как правило, не предусмотрено и получаемое вяжущее имеет многофазовый состав [1, 2].

Существует устойчивое мнение, что в процессе производства низкообжиговых гипсовых вяжущих следует избегать повышения температуры, которое приводит к образованию растворимого ангидрита и, как следствие, к ухудшению свойств вяжущего [3, 4].

Цель данной работы – выявить связь между фазовым составом вяжущего и параметрами термообработки гипсового камня, а также определить влияние фазового состава на строительно-технические свойства гипсовых вяжущих.

Гипсовый камень обжигали в лабораторных условиях при температуре от 140 до 350°С и изотермической выдержке материала 1 ч. В работе использовали новомосковский гипсовый камень, предварительно измельченный в шаровой мельнице до удельной поверхности 360 м^2/кг. Содержание дигидрата сульфата кальция в гипсовом камне составило 84%.

Фазовый состав продуктов обжига оценивали по методике, предложенной Б.С. Бобровым, Л.В. Киселевой, И.Г. Жигун и др. (Бобров Б.С., Киселева Л.В., Жигун И.Т. и др. Определение фазового состава строительного и высокопрочного гипса // Строительные материалы. 1983. № 7. С. 23–24). В ее основе лежит расчетно-аналитический метод, который сводится к проведению следующих операций. Первоначально навеску анализируемого материала выдерживают во влажной камере, затем высушивают при 50°С и по увеличению массы рассчитывают содержание растворимого ангидрита (операция 1). Затем пробу нагревают в сушильном шкафу для превращения двуводного гипса в полугидрат или растворимый ангидрит (операция 2). Растворимый ангидрит переводят в полугидрат сульфата кальция, выдерживая пробу во влажной камере (операция 3). Конечным продуктом операций 2 и 3 является полуводный гипс. Уменьшение массы пробы соответствует удалению 1,5 молей воды из двуводного гипса, что позволяет рассчитать его содержание. Затем навеску прокаливают при температуре 400°С (операция 4). По потере массы находят содержание первоначального полугидрата сульфата кальция.

Определение удельной поверхности, нормальной густоты, сроков схватывания вяжущих и формование образцов для измерения прочности выполняли сразу же после термообработки гипсового камня, охлажденного до 20°С.

В вяжущем, полученном при температуре 140°С, еще присутствует значительное количество дигидрата сульфата кальция (ДГ) – 53,1% (табл. 1). Максимальное количество полугидрата сульфата кальция (ПГ) содержится в вяжущем, полученном при температуре 160°С, – 62,5%, наряду с этим в продукте обжига все еще велико содержание ДГ – 20,9%. Продукт обжига при 180°С еще содержит некоторое количество ДГ и в его составе появляется растворимый ангидрит (РА), доля ПГ при этом несколько снижается. При температуре обжига 250°С в фазовом составе вяжущего зафиксировано максималь-

Таблица 1

Зависимость фазового состава гипсового вяжущего от температуры термообработки гипсового камня

Температура обжига, °С	Содержание фаз, мас. %		
	Дигидрат сульфата кальция	Полугидрат сульфата кальция	Растворимый ангидрит
140	53,1	30,5	–
160	20,9	62,5	–
180	6,4	55,7	18,9
200	1,6	44	36,8
250	–	–	79,4
300	–	–	71,8*
350	–	–	41,6*

Примечание. * Остальное – нерастворимый ангидрит.

ное содержание растворимого ангидрита – 79,4%, при этом полностью отсутствуют дигидрат и полугидрат сульфата кальция.

При дальнейшем увеличении температуры термообработки содержание РА уменьшается, что свидетельствует об образовании в продуктах обжига нерастворимого ангидрита.

Рентгенофазовый анализ (РФА) при идентификации в продуктах обжига гипсового камня фаз ПГ и РА является недостаточно информативным. Основной дифракционный максимум ПГ – 5,98Å, а РА – 6,05Å, кроме того, другие дифракционные максимумы РА имеют близкие значения с рентгеновскими пиками ПГ и ДГ. Так как в процессе пробоподготовки образца и самой рентгеновской съемки часть РА переходит в ПГ, то достоверно оценить количество этих фаз не представляется возможным. Так, например, по результатам РФА максимальное количество ПГ содержится в материале, полученном при 180–200°С, что не соответствует данным анализа, приведенным в табл. 1, и указывает на то, что за время пробоподготовки образца и проведения рентгеновской съемки часть РА перешла в ПГ. Образование стабильной фазы нерастворимого ангидрита при 300°С и выше подтверждается РФА [5].

В процессе обжига гипсового камня меняется удельная поверхность получаемых материалов (рис. 1), что обусловлено фазовыми превращениями ДГ при его термообработке. Дегидратация ДГ и увеличение доли ПГ в системе сопровождаются ростом удельной поверхности вяжущего от 380 до 530 м^2/кг. Появление среди продуктов обжига (180°С) гипсового камня РА приводит к некоторому снижению удельной поверхности вяжущего. Последующее уменьшение удельной поверхности вяжущего происходит при температуре обжига 300°С и более, когда в материале появляется нерастворимый ангидрит.

Температура термообработки гипсового камня существенно влияет на строительно-технические свойства получаемого вяжущего.

Нормальная густота гипсовых вяжущих по мере увеличения температуры их получения снижается, так же как и удельная поверхность. Высокие абсолютные значения нормальной густоты обусловлены высокой удельной поверхностью гипсового вяжущего. Нормальная густота вяжущих, полученных в интервале температуры 140–350°С, снижается ступенчато в соответствии с фазовыми переходами, происходящими при получении вяжущих. Изменение фазового состава, сопровождаемого переходом ДГ в ПГ, наблюдается в интервале температур 160–180°С, нормальная густота вяжущего при этом снижается с 0,9 до 0,84. При температуре 180°С в вяжущем почти полностью отсутствует ДГ и появляется РА. Дальнейшее изменение фазового состава и переход ПГ в РА происходят в интервале температур 200–250°С, нормальная густота вяжущего при этом снижается с 0,8 до 0,7. При последующем повышении температуры термообработки материала нормальная густота продолжает снижаться, что связано с появлением в составе вяжущих нерастворимого ангидрита (рис. 2).

Таким образом, появление в продуктах термической обработки гипсового камня РА не приводит к увеличению удельной поверхности и нормальной густоты гипсового вяжущего.

Сроки схватывания вяжущих, полученных в температурном интервале 140–250°С, замедляются с увеличением температуры обжига. Самые короткие сроки схватывания (2–6 мин) у вяжущих, полученных при температуре 140–160°С, хотя нормальная густота гипсового теста при этом высокая (0,94–0,9). Вероятно, это определяется присутствием в гипсовом вяжущем наряду с ПГ значительного количества ДГ, который выступает в роли центров кристаллизации и ускоряет схватывание.

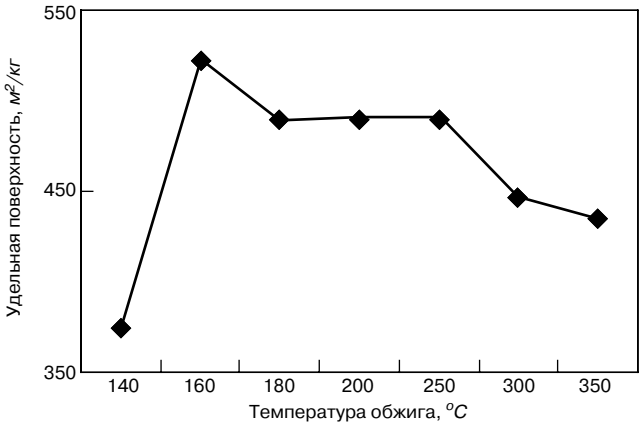


Рис. 1. Зависимость удельной поверхности гипсового вяжущего от температуры его получения

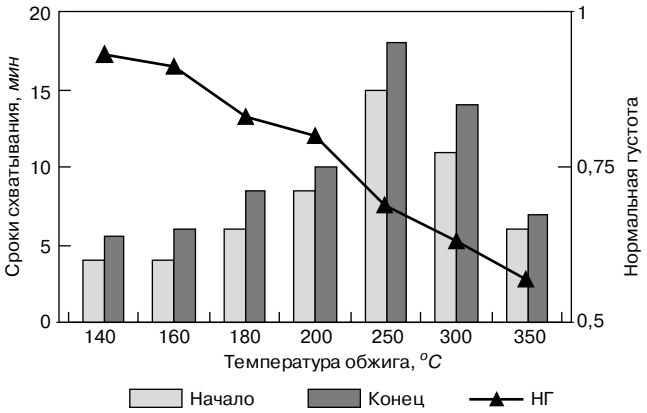


Рис. 2. Нормальная густота и сроки схватывания гипсового вяжущего, полученного при различной температуре

Таблица 2

Зависимость фазового состава гипсового вяжущего от времени термообработки

Температура, °С	Содержание фаз, мас. %								
	Дигидрат			Полугидрат			Растворимый ангидрит		
	Время термообработки, ч								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
160	20,9	3,2	3,2	62,5	53,7	17,4	–	26,5	60,5
250	–	–	–	–	–	–	79,4	71,8*	68,1*

Примечание.* Остальное – нерастворимый ангидрит.

Таблица 3

Зависимость фазового состава гипсового вяжущего, полученного при 250°С, от времени хранения

Температура обжига и время хранения	Содержание фаз, мас. %	
	Полугидрат	Растворимый ангидрит
250°С, сразу после обжига	–	79,4
250°С, 1 сут	28	52,9
250°С, 2 сут	56,5	22,7
250°С, 4 сут	80,5	3,8

При дальнейшем увеличении температуры обжига вплоть до 250°С увеличивается содержание РА в вяжущем и продолжают расти сроки схватывания: начало – 15, конец – 18 мин. У гипсовых вяжущих, полученных при температурах 300°С и 350°С, сроки схватывания опять сокращаются, несмотря на увеличение количества НА.

По мере увеличения температуры термообработки гипсового камня и появления в продуктах обжига сначала ПГ, а затем и РА прочность вяжущего возрастала и достигла максимального значения у материала, полученного при 300°С. Это вяжущее было представлено в основном РА. При дальнейшем увеличении температуры термообработки гипсового камня до 350°С доля НА в вяжущем увеличилась до 38% и, как следствие, снизилась прочность. Такой же характер носит зависимость коэффициента размягчения многофазового вяжущего от температуры его получения (рис. 3).

В зависимости от температуры термообработки вяжущего изменяется водопоглощение гипсового камня. Водопоглощение гипсового камня из вяжущего, полученного при температуре 160°С составляет 56%, а из вяжущего, полученного при температуре 180°С – 45%, т. е. в интервале температур 160–180°С, водопоглощение снижается на 11%. Следующее резкое снижение водопоглощения гипсового камня наблюдается в интервале температур 200–250°С и составляет 13%. Минимальным водопоглощением 21% обладает вяжущее, состоящее в основном из РА (72%) и полученное при 300°С.

Таким образом, фазовые переходы при термообработке гипсового камня, зафиксированные количественными методами анализа, подтверждаются изменением строительно-технических характеристик.

Было оценено влияние времени термообработки на фазовый состав гипсового вяжущего (табл. 2). Так, увеличивая время обжига гипсового камня с 1 до 3 ч при температуре 160°С, содержание ДГ в нем снизилось с 20,9 до 3,2%, а доля РА в вяжущем достигла 60,5%, при этом удельная поверхность материала уменьшилась на 12%. Увеличивая время обжига гипсового камня, при 250°С наблюдаем переход РА в его нерастворимую форму.

Интересно отметить, что увеличение времени термообработки при 160°С, которое приводило к образованию значительного количества ПГ и повышению доли РА в вяжущем, практически не изменяло его нормальной густоты, но существенно удлиняло сроки схватывания (рис. 4). Прочность и коэффициент размягчения гипсового вяжущего по мере увеличения времени термообработки при 160°С увеличивались в большей степени, чем для вяжущего, полученного при 250°С.

Таким образом, на фазовый состав и свойства полученного вяжущего существенное влияние оказывает

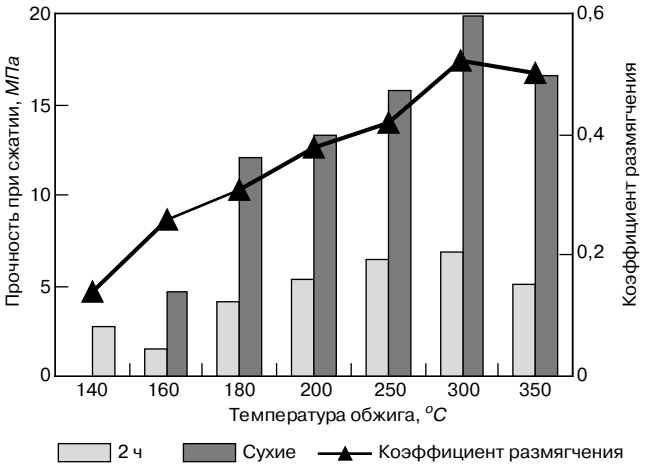


Рис. 3. Прочность и коэффициент размягчения многофазового гипсового вяжущего

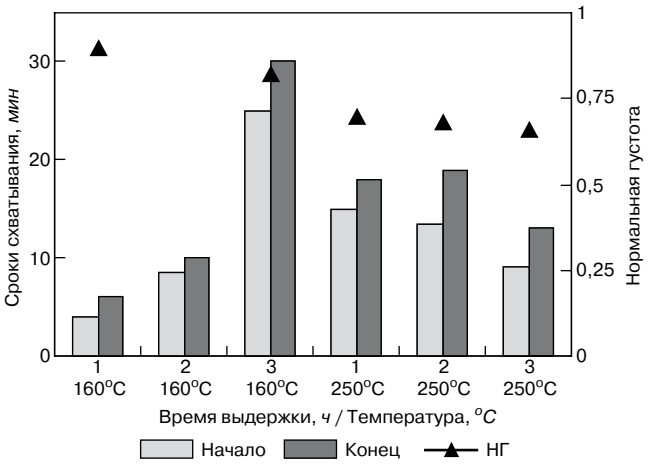


Рис. 4. Влияние времени термообработки на нормальную густоту и сроки схватывания гипсового вяжущего

не только температура, но и время термообработки гипсового камня.

Было определено влияние времени хранения многофазового гипсового вяжущего на его состав. С этой целью фазовый состав вяжущего определяли сразу после обжига и в процессе его хранения. Вяжущее хранилось в лаборатории в естественных условиях. В табл. 3 приведены данные изменения фазового состава, а именно содержания ПГ и РА в вяжущем, полученном при 250°С и времени изотермической выдержки 1 ч. Как показал эксперимент, растворимый ангидрит полностью переходил в полугидрат сульфата кальция в течение 4 сут.

В заключение следует отметить, что фазовый состав гипсовых вяжущих зависит от температуры и времени термообработки сырья и является основным фактором, определяющим их строительно-технические свойства. Появление в составе низкообжигового гипсового вяжущего РА не приводит к ухудшению его свойств. Наличие РА в свежеобожженном вяжущем способствует увеличению прочности и повышению коэффициента размягчения. Это окажет положительный эффект при производстве гипсовых изделий из такого вяжущего. В случае даже кратковременного хранения гипсового вяжущего растворимый ангидрит, находящийся в его составе, переходит в полугидрат сульфата кальция и не будет влиять на свойства вяжущего и изделий из него.

Список литературы

1. Nowak S., Fischer H.-B. Mechanismen der Alterung – Wasserdampfaufnahme und Auswirkung auf die Reaktivität von Calciumsulfatbindemitteln // *1 Weimarer Gipstagung*. 2011, pp. 25–34.
2. Trettin R., Pritzel C. Bildung von Anhydrit und totgebrannten Gips // *Weimar Gypsum Conference*. 2014, pp. 47–54.
3. Гонтарь Ю.В., Чалова А.И., Бурьянов А.Ф. Сухие строительные смеси на основе гипса и ангидрита. М.: Де Нова, 2010. С. 62–66.
4. Лесовик В.С., Чернышева Н.В., Клименко В.Г. Процессы структурообразования гипсосодержащих композитов с учетом генезиса сырья // *Известия вузов. Строительство*. 2012. № 4. С. 3–11.
5. Клименко В.Г. Активаторы твердения ангидрита на основе продуктов термообработки гипса // *Известия вузов. Строительство*. 2011. № 4. С. 21–28.

References

1. Nowak S., Fischer H.-B. Mechanismen der Alterung – Wasserdampfaufnahme und Auswirkung auf die Reaktivität von Calciumsulfatbindemitteln. *1 Weimarer Gipstagung*. 2011, pp. 25–34.
2. Trettin R., Pritzel C. Bildung von Anhydrit und totgebrannten Gips. *Weimar Gypsum Conference*. 2014, pp. 47–54.
3. Gontar YU.V., Chalova A.I., Buryanov A.F. *Dry-mixes mortars on the basis mixes on the basis of plaster and anhydrite* [Sukhie stroitel'nye smesi na osnove gipsa i angidrita]. M.: De Nova, 2010, pp. 62–66.
4. Lesovik V.S., Chernysheva N.V., Klimenko V.G. Structurization processes the gupsumcontaining of composites taking into account raw materials genesis. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2012 . No. 4, pp. 3–11. (In Russian).
5. Klimenko V. G. Anhydrite solidification activating agent based on plaster prebaking products. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2011 . No. 4, pp. 21–28. (In Russian).

УДК 666.913

Н.В. ЧЕРНЫШЕВА, канд. техн. наук

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

Использование техногенного сырья для повышения водостойкости композиционного гипсового вяжущего

Представлены результаты экспериментальных исследований композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости с активной минеральной добавкой из техногенного сырья – отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отходов ММС). Предложена модель структурообразования композиционного гипсового вяжущего, заключающаяся в быстром наборе прочности системы. На первой стадии (через 2 ч) быстрый набор прочности системы осуществляется за счет синтеза крупных кристаллов двуводного гипса, одновременно выполняющих функцию регулирования раннего схватывания. На следующей стадии (к 7 сут) в ранее созданной структуре в результате гидратации клинкерных минералов происходит формирование нового типа определенным образом организованной микроструктуры за счет кристаллизационного роста малорастворимых минералообразующих микроразмерных низкоосновных гидросиликатов кальция, уплотняющих структуру. В общей гелеобразной массе формируются нитевидные образования разной морфологии и размеров. Причем на этой стадии играет большую роль уплотнение структуры. Кристаллизация ранее сформированных объектов способствует самоуплотнению системы различных морфогенетических типов микроразмерных кристаллических образований, форма которых задается еще на докристаллизационной (второй) стадии. Параллельно формируются новообразования второй генерации гидросиликатов кальция за счет взаимодействия выделяющегося портландита при гидратации алита с рентгеноаморфными частицами минеральных добавок, зависящих от генетических особенностей кремнезема, с их последующей самоорганизацией.

Ключевые слова: композиционное гипсовое вяжущее, минеральные добавки, отходы ММС, структурообразование.

N.V. CHERNYSHEVA, Candidate of Sciences (Engineering)
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukov Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

The Use of Anthropogenic Raw Materials for Increase of Water Resistance of a Composite Gypsum Binder

Results of pilot studies of a composite gypsum binder of increased water resistance with an active mineral additive from anthropogenic raw materials– waste of wet magnetic separation of ferruginous quartzite (waste of WMS) are presented. The model of structure formation of the composite gypsum binder, consisting in a fast set of system durability is offered. At the first stage (in 2 h) the fast set of system durability is carried out due to the synthesis of large crystals of the calcium sulfate dehydrate, which is at the same time executes the function of regulation of early stiffening. At the following stage (to 7 days) in the earlier created structure, as a result of hydration of clinker minerals, the formation of a new type of microstructure organized in a define way due to the crystallization growth of slightly soluble mineralizing micro-dimensional low-basic calcium hydrosilicates compacting the structure takes place. In the general gel-like mass, thread-like formations of different morphology and sizes are formed. The structure consolidation plays a large role at this stage. Crystallization of earlier created objects favours the self-consolidation of the system of different morphogenetic types of micro-dimensional crystal formations which form is set at the precrystallization (second) stage. In parallel, new formations of the second generation of calcium hydrosilicate are formed due to interaction of Portland cement segregated in the course of hydration of alite with X-ray amorphous particles of mineral additives, which depend on genetic peculiarities of silica, with their following self-organization.

Keywords: composite gypsum binder, mineral additives, waste of WMS, structurization.

Долгосрочным проектом стратегии развития промышленности строительных материалов РФ на период до 2020 г. предусмотрено расширение номенклатуры строительных материалов повышенного качества и разработка новых энергосберегающих, экономически эффективных и экологически безопасных технологий их производства. Этим требованиям отвечают гипсовые композиционные материалы, свойства которых позволяют расширить диапазон их использования за счет обновления технологических решений на основе последних научных разработок [1–5].

Наиболее эффективной областью применения бетонов на композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) являются ограждающие конструкции малоэтажных зданий, при изготовлении и эксплуатации которых наиболее полно можно использовать положительные свойства гипсовых вяжущих [4]. Обобщение и оценка отечественного и зарубежного опыта показывают, что за рубежом в последние годы возросло применение гипсовых материалов на единицу объема строительных работ, например в Японии и США – в 1,8 и 2,5 раза соответственно. Особенно это касается КГВ повышенной водостойкости. При этом влияние генезиса и свойств кварца в составе минеральных добавок на процессы структурообразования КГВ мало исследованы. Создание многокомпонентных систем модификацией вяжущего микродисперсными наполнителями из природного и техногенного сырья с учетом генетических особенностей кварцсодержащих компонентов в сочетании с другими добавками, изучение структуры и способов ее регулирования позволят получить высококачественные строительные композиты, обладающие повышенной водостойкостью и долговечностью и во многих случаях заменить энергоемкие цементные бетоны и значительно сократить сроки возведения зданий.

Предложен и исследован новый для строительного материаловедения вид добавок, существенно отличающийся от традиционно применяемого кварцевого сырья, – крупнотоннажный отход мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отход ММС) [5]. Запасы подобных техногенных накоплений в России и в мире исчисляются десятками миллиардов тонн. Это уникальное для управления процессами структурообразования КГВ сырье отличается полиминеральным составом. Основной породообразующий минерал отходов ММС – кварц представлен тремя генетическими типами, включая реакционноспособные разновидности. Отходы ММС состоят из остроугольных изометрических агрегатов и отдельных частиц кварца (68%), магнетита (4%), гематита (7%), силикатов – амфиболов (12%) и карбонатов (9%). Модуль крупности отходов

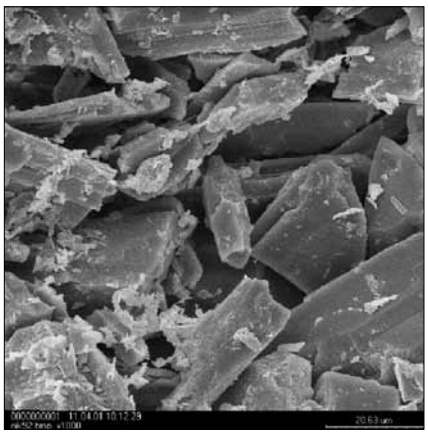


Рис. 1. Микрофотоснимок отходов ММС железистых кварцитов, РЭМ

Рис. 2. Эволюция кварца отходов ММС железистых кварцитов

значительно меньше 1, около 80–85% частичек размером меньше 0,074 мм, средневзвешенный диаметр 0,08–0,13 мм (рис. 1).

Физико-химические свойства отходов ММС зависят: от генезиса природного вещества, т. е. термодинамических условий его образования в различных слоях земной коры; условий плавления и кристаллизации магм; последующих условий и степени метаморфизма и осадкообразования либо от техногенеза, т. е. генезиса горных пород, условий и степени техногенных преобразований (рис. 2).

За счет глубинных геологических процессов это сырье претерпело естественную и технологическую активизацию пород, которая выражается в нарастании дефектности кристаллической решетки породообразующих минералов, частичной аморфизации породы и ее структурных зерен, которые претерпевают к тому же частичную или полную деструкцию с увеличением удельной и суммарной поверхности твердых частиц. Сырье прошло путь от седиментогенеза до катагенеза и метагенеза, претерпело динамометаморфизм и высокотемпературный контактный метаморфизм, т. е. является генетически активированным. Все породообразующие минералы отходов ММС (оксиды, силикаты, карбонаты и др.) имеют большое количество структурных дефектов, что позволяет ускорить и улучшить их взаимодействие с клинкерными минералами при формировании новообразований и приводит к созданию более плотного и прочного гипсоцементного камня [3, 5]. Именно поэтому применение отходов ММС, полученных при обогащении метаморфогенных горных пород зеленосланцевой фации метаморфизма, в качестве активной минеральной добавки при производстве КГВ особенно эффективно по сравнению с кварцевым песком осадочных пород.

Минеральная добавка отходов ММС при помоле до удельной поверхности 600 м^2/кг приобретает полимодальную гранулометрию с наличием ярко выраженных пиков, которые оказывают положительное влияние на формирование микроструктуры затвердевшего КГВ (рис. 3). Она активно взаимодействует с CaO, соотношение Д/Ц=1:1 (табл. 1), препятствуя образованию эттрингита и развитию разрушительной гидросульфоалюминатной коррозии.

Достоверной методикой определения эффективности минеральных добавок в составе КГВ следует считать определение физико-механических показателей быстротвердеющих вяжущих с добавкой, которая моделирует условия ее контакта с матрицей и процессы между ними (табл. 2).

Установлено, что КГВ с отходами ММС в качестве минеральной добавки обладают высокими показателями предела прочности при сжатии ($R_{сж}$=22 МПа) и повышенной водостойкостью ($K_р$=0,78).

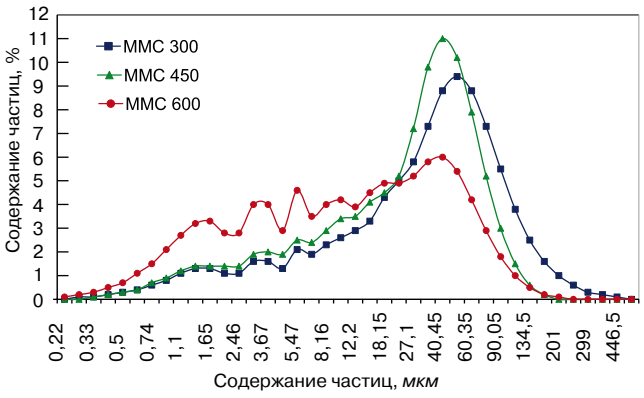


Рис. 3. Анализ гранулометрии отходов ММС

Таблица 1

Влияние минеральных добавок на концентрацию CaO в водной суспензии КГВ (ТУ 21-31-62–89)

Материалы, г			Концентрация CaO в растворе, г/л, через			
Г	ПЦ	МД	5 сут		7 сут	
			Отходы ММС	Кварцевый песок	Отходы ММС	Кварцевый песок
4	2,5	1,25	0,98	1,13	0,81	0,98
4	2,5	2,5	0,9	1	0,78	0,86
4	2,5	3,75	0,85	1,01	0,74	0,83

Таблица 2

Влияние удельной поверхности минеральных добавок на физико-механические свойства КГВ ($В/В_{вяж}$=0,5)

Вид добавки	Удельная поверхность добавки, $м^2/кг$	Подвижность, м	Сроки схватывания, мин–с		Прочность при сжатии, МПа, в возрасте				Коэффициент размягчения, $K_р$
			начало	конец	2 ч	7 сут	28 сут	более 28 сут	
Отходы ММС	300	0,19	9–30	12–30	5,1	12,2	15,2	20,5	0,72
	450	0,18	9–00	12–00	5,3	12,6	15,6	21,6	0,74
	600	0,175	9–00	12–00	5,5	12,8	16,8	22	0,78
Кварцевый песок	300	0,155	4–50	8–26	4,2	8,9	9,3	18,5	0,71
	450	0,15	4–47	9–30	5,7	10,8	12,4	19,6	0,73
	600	0,144	4–47	10–33	7,3	13,1	14	20,1	0,75
Примечание. Состав по массе КГВ: Г:Ц:Д=70:15:15.									

Таблица 3

Показатели свойств затвердевшего гипсового вяжущего и КГВ

Твердение	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут			Коэффициент размягчения, в возрасте, сут		
	28	90	180	28	90	180
Гипсовое вяжущее						
Воздушное В воде	18,3 6	18,3 4,4	18,5 3,9	0,34 –	0,33 –	0,33 –
КГВ с отходами ММС/кварцевым песком						
Воздушное В воде	17/13 13,1/9,8	17,4/13,4 13,4/10,2	17,6/13,8 14,1/10,6	0,78/0,75 –	0,79/0,76 –	0,80/0,77 –

С увеличением удельной поверхности минеральных добавок активность КГВ с отходами ММС изменяется незначительно (по сравнению с кварцевым песком), так как сама минеральная добавка является достаточно активной (табл. 3).

Подтверждением стабильности сформировавшихся структур затвердевшего КГВ являются результаты ДТА, РФА и электронной микроскопии. Основным цементирующим веществом исследованных проб является двуводный сульфат кальция d=7,62; 4,28; 3,81 Å. Рентгенограммы содержат линии карбоната кальция d=2,502; 2,088; 1,89 Å; кварца d=3,34; 1,54 Å; частично закристаллизованного тоберморитоподобного гидросиликата кальция d=11,3; 5,00; 3,07; 2,87; 2,79; 2,41; 1,99; 1,84; 1,81 Å; следы портландита d=2,73; 1,95; 1,93; 1,78 Å. Линии эттрингита на рентгенограммах обнаружены у образцов в возрасте 7 сут d=5,6; 4,92 Å; в возрасте 1 года имеются лишь следы эттрингита.

Термограммы образцов, твердевших 7 сут, характеризуются двумя основными эндотермическими эффектами: первый сдвоенный эффект (с максимумами при температуре 160–220°С) характерен для двуводного гипса, второй (при температуре 560°С) характерен для портландита, третий (при температуре 890–910°С) вызван диссоциацией карбоната кальция. Эффект при 879°С характерен при наличии кварца в свободном состоянии. Экзотермический эффект при температуре 500°С свидетельствует об окислении Fe^{+2} в Fe^{+3}, содержащихся в отходах ММС. Экзотермические эффекты разложения C_2SH_2 и CSH(B) при температуре 780–820°С накладываются на эндотермический эффект декарбонизации.

Анализ микроструктуры (рис. 4, 5) показал, что в результате использования нового вида кремнеземсодержащей минеральной добавки отходов ММС (в отличие от обычного кварца) и гетерогенного состава КГВ синтезируется плотная и прочная структура композита за счет увеличения содержания низкоосновных гидросиликатов кальция, уменьшения количества $Ca(OH)_2$, а также устранения условий роста высокоосновных гидроалюминатов кальция и эттрингита, что ведет к повышению прочности в 1,5–2 раза, водостойкости и долговечности затвердевщей матрицы по сравнению с гипсовым камнем (табл. 3).

Предложена модель структурообразования КГВ, заключающаяся в быстром наборе прочности системы. На первой стадии (через 2 ч) быстрый набор прочности системы осуществляется за счет синтеза крупных кри-

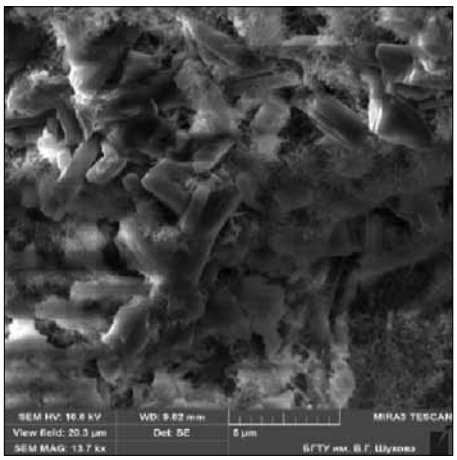


Рис. 4. Микроанализ процессов кристаллизации

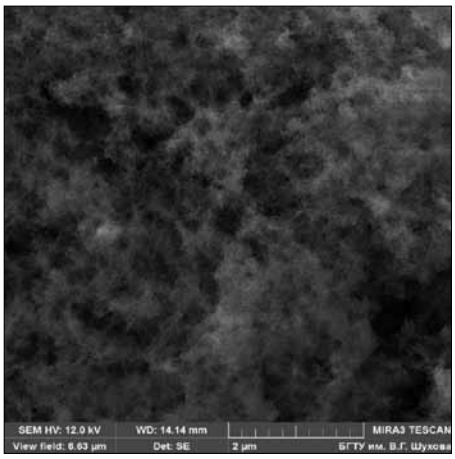


Рис. 5. Сетчатая микроструктура низкоосновных гидросиликатов кальция

сталлов двуводного гипса, одновременно выполняющих функцию регулирования раннего схватывания. На следующей стадии (к 7 сут) в ранее созданной структуре в результате гидратации клинкерных минералов происходит формирование нового типа определенным образом организованной микроструктуры за счет кристаллизационного роста малорастворимых минералообразующих микроразмерных низкоосновных гидросиликатов кальция, уплотняющих структуру. В общей гелеобразной массе формируются нитевидные образования разной морфологии и размеров длиной 1–20 мкм, шириной менее 0,01 мкм – от 20 до 60 нм. Причем на этой стадии играет большую роль уплотнение структуры. Дальнейшая кристаллизация ранее сформированных объектов способствует самоуплотнению системы различных морфогенетических типов микроразмерных кристаллических образований, форма которых задается еще на докристаллизационной (второй) стадии. Параллельно формируются новообразования второй генерации гидросиликатов кальция за счет взаимодействия выделяющегося портландита при гидратации алита с рентгеноаморфными частицами минеральных добавок, зависящих от генетических особенностей кремнезема с их последующей самоорганизацией.

Таким образом, происходит самоуплотнение системы за счет взаимодействия халцедоновидного кварца с $Ca(OH)_2$, а частицы контактно- и динамометаморфогенного кварца выполняют роль центров кристаллизации и микронаполнителя. В результате минимизируются внутренние напряжения и объемные деформации, в связи с чем уменьшается количество микротрещин, что приводит к повышению эффективности синтезируемого КГВ по сравнению с традиционно применяемым гипсовым вяжущим, а в сравнении с портландцементом – быстрым набором прочности без тепловлажностной обработки. Поры практически полностью зарастают мелкими кристаллами гидросиликатов кальция, выполняющих армирующую функцию и создающих уплотненную объединенную сетчатую структуру вокруг частиц гипса в виде взаимопроникающих сеток, что приводит к увеличению гелевой пористости и существенному приросту прочности композитов и водостойкости.

Список литературы

1. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // *Жилищное строительство*. 2013. № 1. С. 9–12.
2. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: АСВ, 2006. 526 с.
3. Lesovik V.S., Chernysheva N.V., Eleyan Issa Jamal Issa, Drebezgova M.Y. Effective composite gypsum binders on the basis of raw materials from the middle east countries. *Advances in Natural anl Applied Scienes*. 2014. No. 8. Pp. 363–372.
4. Коровяков В.Ф. Перспективы производства и применения в строительстве водостойких гипсовых вяжущих и изделий // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 67–68.
5. Лесовик В.С., Чернышева Н.В., Клименко В.Г. Процессы структурообразования гипсосодержащих композитов с учетом генезиса сырья // *Известия вузов. Строительство*. 2012. № 4. С. 3–11.
6. Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Новиченкова Т.Б Малоэнергоемкие гипсовые материалы и изделия на основе отходов промышленности // *Строительные материалы*. 2006. № 7. С. 8–9.
7. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И., Петропавловская В.Б., Фишер Х.-Б., Маева И.С., Новиченкова Т.Б. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. М.: Де Нова, 2012. 196 с.

References

1. Lesovik V.S. Architectural geonik. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 1, pp. 9–12. (In Russian).
2. Lesovik V.S. Povyshenie jeffektivnosti proizvodstva stroitel'nyh materialov s uchetom genezisa gornyh porod [Improving the efficiency of the production of building materials with regard to the genesis of rocks]. Moscow: ASV. 2006. 526 p.
3. Lesovik V.S., Chernysheva N.V., Eleyan Issa Jamal Issa, Drebezgova M.Y. Effective composite gypsum binders on the basis of raw materials from the middle east countries. *Advances in Natural anl Applied Scienes*. 2014. No. 8, pp. 363–372.
4. Korovyakov V.F. Prospects for production and use in construction waterproof gypsum binders and products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 67–68. (In Russian).
5. Lesovik V.S., Chernysheva N.V., Klimenko V.G. Structure formation processes of gypsum-containing composites based on the genesis of raw materials. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2012. No. 4, pp. 3–11. (In Russian).
6. Petropavlovskaya V.B., Bur'yanov A.F., Novichenkova T.B. Low power gypsum materials and products based on industrial wastes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 7, pp. 8–9. (In Russian).
7. Belov V.V., Bur'yanov A.F., Yakovlev G.I., Petropavlovskaya V.B., Fisher H.-B., Maeva I.S., Novichenkova T.B. Modifikacija struktury i svojstv stroitel'nyh kompozitov na osnove sul'fata kal'cija [Modification of the structure and properties of building composites based on calcium sulfate]. Moscow: De Nova. 2012. 196 p.

УДК 666.913:539.2

И.В. ЖЕРНОВСКИЙ[1], канд. геол.-мин. наук, А.В. ЧЕРЕВАТОВА[1], д-р техн. наук,
Е.В. ВОЙТОВИЧ[1], канд. техн. наук; А.Д. КСЕНОФОНТОВ[2], канд. хим. наук

[1] Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)
[2] Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (119991, г. Москва, Ленинские горы, 1)

Жаростойкость композиционного вяжущего системы CaO-SO_3-SiO_2-H_2O

Рассматриваются вопросы термической трансформации фазового состава гипсового и композиционного наноструктурированного гипсового вяжущего. Показано, что образование силикатных и сульфосиликатных минеральных фаз в системе CaO-SO_3-SiO_2-H_2O способствует уменьшению объема кристаллических фаз в вяжущем при термальном воздействии, что повышает резистентность материала деструктивным процессам при высокой температуре. В частности, изменение объема кристаллических фаз при термальной фазовой трансформации сульфосиликатного кальциевого вяжущего при T=1000°C близко к единице в отличие от гипсового вяжущего, у которого наблюдается почти четырехкратное уменьшение объема кристаллических фаз, что является причиной деструктивных процессов. Сделан вывод о целесообразности расширения вяжущей системы CaO-SO_3-H_2O до CaO-SO_3-SiO_2-H_2O путем введения реакционно-активного кремнезема для выравнивания за счет формирования сульфосиликатных и силикатных фаз кальция, молярных объемов вяжущих в исходном состоянии и после термических воздействий, приводящих к дегидратационным и десульфатационным трансформациям фазового состава.

Ключевые слова: композиционное сульфосиликатное вяжущее, жаростойкость, термическая трансформация фазового состава, оптимально-структурированная матрица, гидроксиэллестадит, буферные новообразования, наноструктурированное вяжущее, реакционно-активный кремнезем.

I.V. ZHERNOVSKY[1], Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), A.V. CHEREVATOVA[1], Doctor of Sciences (Engineering),
E.V. VOYTOVICH[1], Candidate of Sciences (Engineering); A.D. KSENOFONTOV[2], Candidate of Sciences (Chemistry)
[1] Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kosyukova Street, 308012, Belgorod, Russian Federation)
[2] Moscow State University named after M.V. Lomonosov (1, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russian Federation)

Heat Resistance of Composite Binder of CaO-SO_3-SiO_2-H_2O System

Issues of thermal transformation of a phase composition of gypsum and composite nano-structured gypsum binder are considered. It is shown that the formation of silicate and sulfosilicate mineral phases in the CaO-SO_3-SiO_2-H_2O system favours the decrease of crystal phase volume in the binder under the thermal impact that increases the resistance of material to destructive processes at high temperature. In particular, the change of the volume of crystal phases at thermal phase transformation of the sulfosilicate calcium binder at T=1000°C is close to the unit in contrast to the gypsum binder when almost a four-fold reduction of crystal phases volume is observed that is a reason for destructive processes. It is concluded that it is reasonable to expand the CaO-SO_3-H_2O binding system up to CaO-SO_3-SiO_2-H_2O by means of incorporation of reactive silica, for equalization, due to the formation of sulfur-silicate and silicate phases of calcium, molecular volumes of binder in the initial state and after thermal effects which lead to dehydration and desulfatation transformation of the phase composition.

Keywords: composite sulfosilicate binder, heat resistance, thermal transformation, transformation of phase composition, optimal-structured matrix, hydroxyellestadite, buffer new formations, nano-structured binder, reactive silica.

Возникновение структурно-сопряженных контактных зон между минеральными новообразованиями и наполнителями композиционных вяжущих является важнейшим фактором формирования высоких прочностных и других эксплуатационных свойств строительных материалов. В особой степени это относится к композиционным сульфосиликатным вяжущим с суперпозицией механизмов твердения.

Ранее [1] было установлено, что взаимодействие полуводного гипса при его гидратации с коллоидным раствором кремнезема (фазовый компонент наноструктурированного вяжущего – НВ) приводит к образованию буферных сульфосиликатных кальциевых фаз, в частности гидроксиэллестадита $Ca_5(SiO_4)_3(SO_4)_3(OH)_2$, обеспечивающих возникновение структурно-сопряженных кристаллических контактов между минеральными индивидами двуводного гипса и α-кварца. Образование $Ca_5(SiO_4)_3(SO_4)_3(OH)_2$ подтверждено результатами полнопрофильного количественного XRD и IR-спектроскопией.

Представляется правомерным утверждение, что возникновение эмерджентных свойств композиционного наноструктурированного гипсового вяжущего (КНГВ), т. е. не свойственных компонентам системы, проявляется за счет формирования оптимально-структурированной матрицы системы с учетом специфики одновременного протекания в ней двух процессов структурообразования: полимеризационно-поликонденсационного и гидратационного.

Данная работа посвящена изучению особенностей фазово-структурных изменений в КНГВ в условиях воздействия высокой температуры.

Известно, что гипсовое вяжущее относится к вяжущему гидратационного типа структурообразования, что уже по его природе исключает возможность применения в условиях повышенной температуры или большого температурного градиента. Тем не менее конечной целью данных исследований

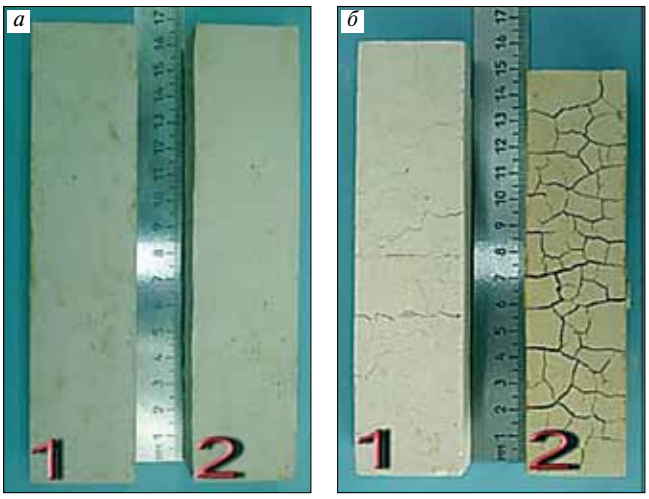


Рис. 1. Особенность влияния термообработки до испытаний (*а*) и после (*б*) (t = 1000°C) на гипсовую систему: *1* – КНГВ; *2* – ГВ

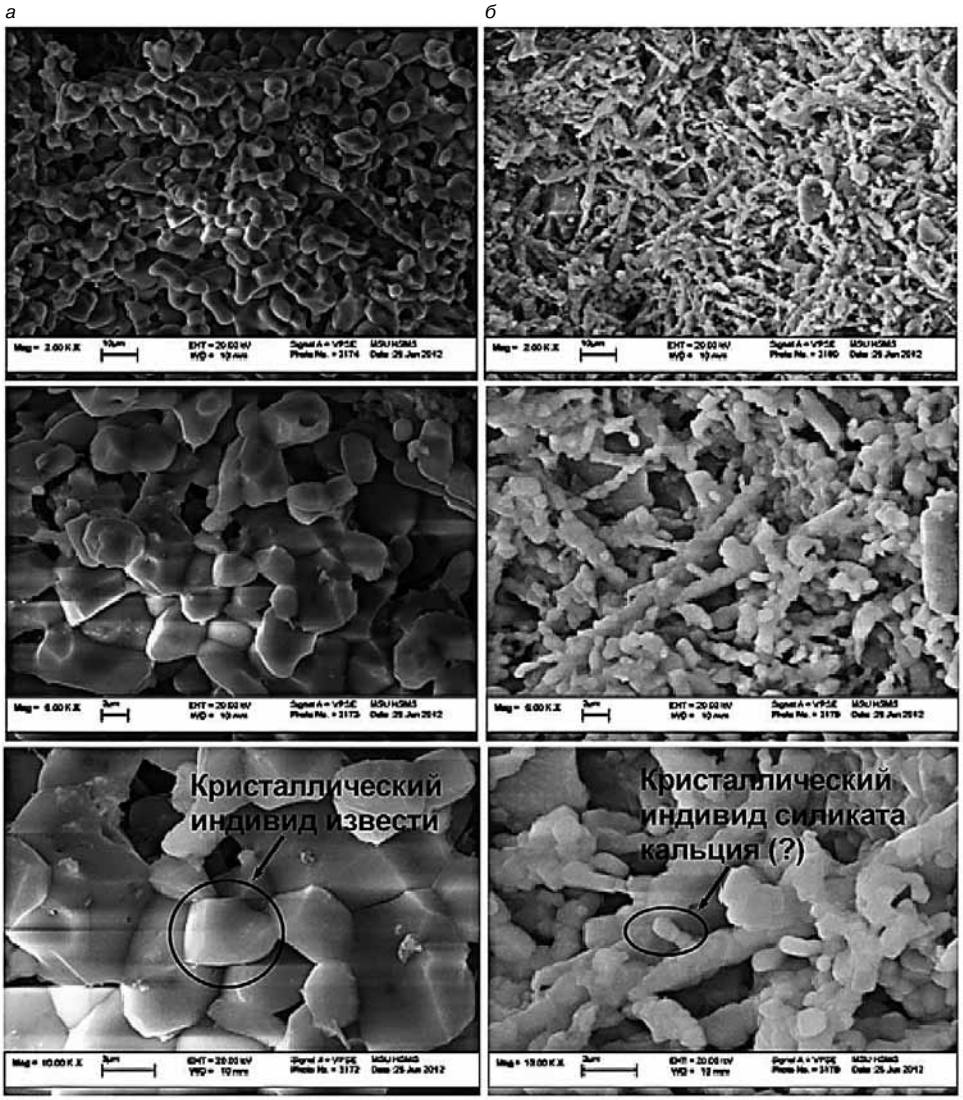


Рис. 2. Микроструктура вяжущих после температурного воздействия при 1000°С: *а* – ГВ; *б* – КГВ (НКК 15%)

является практическое подтверждение жаростойкости композиционного гипсового вяжущего при воздействии высокой (до 1000°С) температуры, обоснованной протеканием кристаллизационных процессов с участием кремнеземной составляющей, при применении наноструктурированного вяжущего в качестве активного минерального компонента.

Для проведения эксперимента готовили образцы (балочки 16×4×4 см) с одинаковым В/Г отношением. Набор прочности осуществлялся в естественных условиях, образцы предварительно высушивались до постоянной влажности.

Так как гипсовые изделия прогреваются относительно медленно и разрушаются лишь после 6–8 ч нагрева, экспериментальные образцы были подвергнуты термообработке с последующей изотермической выдержкой в течение 6 ч при температуре 1000°С (рис. 1).

В результате экспериментальной проверки выявлено отсутствие деструктивных изменений в оптимальных композициях (концентрация НВ 15–20 мас. %). При этом для других экспериментальных составов наблюдается снижение прочности под воздействием температуры по сравнению с контрольным, что может характеризоваться отсутствием упорядоченной структурной организации получаемых систем.

Анализ изменения геометрических размеров показал, что в контрольном образце общая объемная усадка соответствует 28,8 %, а в КНГВ – 9,1 %.

Микроструктура гипсового вяжущего после высокотемпературной обработки (рис. 2, *а*) представлена кристаллическими индивидами извести, вероятно, псевдоморфозами извести по ангидриту. Микроструктура КНГВ (рис. 2, *б*) характеризуется преобладающим отношением индивидов с пластинчатой морфологией к мелкокристаллическим изометричным индивидам, располагающимся эпитаксиально на них или образующих глобулярное скопление. Кроме того, в относительно небольшом количестве фиксируются индивиды с призматически-игольчатой морфологией, относящиеся к силикатным новообразованиям.

Для получения общей информации о процессах, происходящих в разработанных смешанных системах при их нагревании, был применен метод ДТА. Все системы подвергались дифференциально-термическому анализу в исходном (нетермообработанном) состоянии.

Для сравнения и сопоставления особенностей проявления эндо- и экзоэффектов приведены кривые ДТА исходного гипсового вяжущего и композиций с содержанием НВ 15 и 20 % (рис. 3).

Первый эндотермический эффект в интервале температуры 30–200°С с двойным максимумом в температурном интервале 142–145 и 158–161°С, дублирующийся эффектами на кривой ДТГ, характеризует процесс удаления кристаллогидратной воды у гипса и начало процесса образования растворимого ангидрита III. Следует обратить внимание, что на экспериментальных

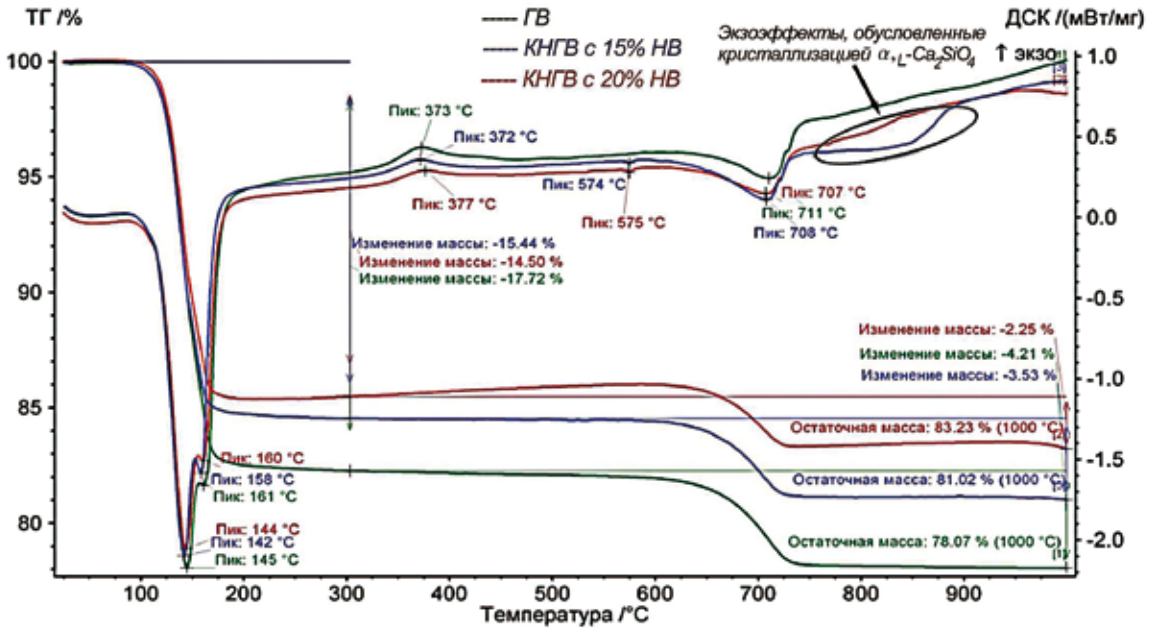


Рис. 3. Обзорные термограммы ГВ и КНГВ

составах этот эффект проявляется при более низкой температуре. В температурном интервале 372–377°С наблюдается резкий экзотермический эффект, который характеризует перестройку структурной кристаллической решетки системы с образованием из растворимого ангидрита III нерастворимого ангидрита II.

В высокотемпературной области на ДТА-кривых наблюдаются следующие друг за другом термические эффекты процессов полиморфных превращений и структурообразования, в том числе связанные и с кристаллизацией новых фаз.

Эндоэффект, проявляющийся только на экспериментальных составах в температурном интервале 574–575°С, связан с полиморфным переходом α↔β кварца.

На характер и форму эндо- и экзоэффекта существенное влияние оказывает изменение размера частиц. Причем установлено [2, 3], что при одинаковом размере частиц одного и того же вещества более высокая степень кристалличности его способствует увеличению термического эффекта. Известно также [4], что мокрый механохимический синтез, равно как и другие формы механического измельчения, приводит к дефекту поверхности кристаллической решетки кварца, обусловливая тем самым повышение активности. Поэтому полученный эндотермический эффект (рис. 3) имеет достаточно большую площадь и не столь четко выражен.

С увеличением температуры в интервале 650–815°С на всех экспериментальных составах фиксируется двойной эндоэффект с четким максимумом при температуре 707, 708 и 711°С (для разных составов), соответствующий диссоциации кальцита и сопровождающийся потерей массы.

При температуре 650–880°С на кривых ДТА экспериментальных составов начинают проявляться нетипичные для гипсовых систем экзоэффекты (ориентировочный максимум при 875°С), предположительно обусловленные кристаллизацией $\alpha_{,L}$-Ca_2SiO_4.

Таким образом, по результатам анализа термограмм изучаемых систем можно сделать заключение, что введение НВ в исходное гипсовое вяжущее существенно изменяет характер процессов, происходящих в этих системах при нагревании.

Для детализации представлений о термических фазовых трансформациях в КНГВ использовались данные рентгеновской высокотемпературной дифрактометрии. Рентгенограммы образцов были получены на дифрактометре STOE STADI (STOE & Cie GmbH, Германия) на излучении медного анода*.

Высокотемпературная дифрактометрия (Т=1000°С) проводилась с использованием высокотемпературной приставки фирмы Stoe, позволяющей проводить рентгеновские исследования в диапазоне температуры 25–1500°С. Рентгенометрическая диагностика минеральных фаз проведена на основании дифракционной базы данных PDF-2 с применением программы Crystallographica SearchMatch v 2,0,2,0 (Oxford Cryosystems).

Количественное определение концентраций кристаллических минеральных образований (содержание аморфной фазы не определялось) выполнено полнопрофильным РФА с применением программы DDM v.1.95d в варианте ритвельдовского алгоритма [5]. Для сравнительного анализа термических фазовых превращений в КНГВ (при концентрации НВ 20 мас. %) проведен анализ чистого гипсового вяжущего. Исследование кварцевого наноструктурированного вяжущего ввиду тривиальности системы не проводилось**.

Результаты полнопрофильного количественного РФА гидратированного гипсового вяжущего приведены в таблице. Интересной особенностью высокотемпературной десульфатации гипсового вяжущего является появление на рентгенограмме при Т=1000°С отражений фазы, идентифицированной как сульфид кальция – ольдгамит (CaS).

Минеральный состав КНГВ соответствует составу, описанному ранее образца вяжущего [1]. Низкая концентрация эллестадита в сравнении с ранними данными объясняется более низким содержанием коллоидного кремнезема в НВ.

Минеральный состав КНГВ при Т=1000°С по сравнению с гипсовым вяжущим при такой же температуре характеризуется присутствием высокотемпературного β-кварца, эллестадитом и полиморфной модификацией двухкальциевого ортосиликата – $\alpha_{,L}$-Ca_2SiO_4.

* Дифрактограммы образцов получены на геологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова.

** Детальное обсуждение результатов высокотемпературной дифрактометрии КНГВ является темой отдельной публикации.

Минеральный состав вяжущих (мас. %) при комнатной температуре и при Т=1000°С (по результатам высокотемпературного РФА)

Гипсовое вяжущее				Композиционное наноструктурированное гипсовое вяжущее			
Комнатная температура		Т=1000°С		Комнатная температура		Т=1000°С	
Гипс	82,85 (2,78)	Известь	78,87 (2,78)	Гипс	66,06 (1,53)	β-Кварц	19,55 (0,86)
Бассанит	2 (0,4)	Периклаз	5,33 (0,52)	Ангидрит	5,04 (0,13)	Известь	26,57 (0,71)
Ангидрит	5,93 (0,24)	Ольдгамит	15,8 (0,3)	Доломит	6,99 (0,29)	Периклаз	2,13 (0,34)
Доломит	9,22 (0,41)			α-Кварц	20,51 (0,23)	Ангидрит	6,70 (1,33)
				Эллестадит	1,40 (0,29)	Эллестадит	5,68 (1,14)
						α'_L-Ca_2SiO_4	30,01 (1,13)
						Ольдгамит	9,36 (0,44)

Примечание. В скобках приведены расчетные величины среднеквадратических отклонений значений концентраций фаз.

Появление этой фазы как результата взаимодействия высвобождающейся при термической десульфатации извести и кремнезема согласуется с литературными данными по температурному интервалу ее устойчивости [6]. Кроме того, отмечается увеличение концентрации эллестадита.

В качестве показателя изменение объема кристаллических компонентов рассматриваемых вяжущих при термическом воздействии принимаются отношения (аналог изменения молярного объема):

$$a = \sum_i C_i^{T=25°C} \cdot V_i^{\text{элем.яч.}} \Big/ \sum_j C_j^{T=1000\,°C} \cdot V_j^{\text{элем.яч.}},$$

где C_i и C_j – массовые концентрации минеральных фаз вяжущего при Т=25°С и Т=1000°С; $V_{i,j}$ – объемы элементарных ячеек этих фаз.

На основании полученных результатов для гипсового вяжущего a=3,96, для КНГВ – a= 0,88.

Таким образом, изменение объема кристаллических фаз при термальной фазовой трансформации сульфосиликатного кальциевого вяжущего (КНГВ) близко к единице в отличие от гипсового вяжущего, у которого при Т=1000°С наблюдается почти четырехкратное уменьшение объема кристаллических фаз, что является причиной деструктивных процессов.

На этом основании можно сделать вывод о целесообразности расширения вяжущей системы CaO-SO_3-H_2O до CaO-SO_3-SiO_2-H_2O путем введения реакционно-активного кремнезема для выравнивания за счет формирования сульфосиликатных и силикатных фаз кальция молярных объемов вяжущих в исходном состоянии и после термических воздействий, приводящих к дегидратационным и десульфатационным трансформациям фазового состава.

Представленные исследования выполнены в рамках гранта № А-4/14 Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 гг. (№ 2011-ПР-146. Мероприятие 2 «Модернизация научно-исследовательского процесса и инновационной деятельности»).

Список литературы

1. Строкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Войтович Е.В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 9–11.
2. Рамачандран В.С. Применение дифференциального термического анализа в химии цементов. М.: Стройиздат, 1977. 408 с.
3. Шестак Я. Теория термического анализа: Физико-химические свойства твердых неорганических веществ. М.: Мир, 1987. 456 с.
4. Череватова А.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие. Природа, технология и перспективы применения. Saarbrucken: LAM LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2011. 170 p.
5. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization // *Journal of Applied Crystallography*. 2004. № 37. P. 743–749.
6. Ямнова Н.А., Зубкова Н.В., Еремин Н.Н., Задов А.Е. Кристаллические структуры ларнита β-Ca_2SiO_4 и кальциооливина – природных α- и β-полиморфных модификаций двухкальциевого ортосиликата. Особенности структурных переходов глазерит-арканит-оливин // *Working Papers V Intrernational Symposium: Mineral Diversity. Research and Preservation*. Earth and Man Foundation Sofia, Bulgaria. 2009. P. 181–192.

References

1. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Voytovich E.V. Peculiarities of Phase Formation in a Composite Nanostructured Gypsum Binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 9–11. (In Russian).
2. Ramachandran V.S. Primenenie differentsial'nogo termicheskogo analiza v khimii tsementov [Application of Differential Thermal Analysis in cement chemistry]. Moscow: Stroiizdat. 1977. 408 p.
3. Shestak Y. Teoriya termicheskogo analiza: Fiziko-khimicheskie svoistva tverdykh neorganicheskikh veshchestv [Theory of chemical analysis: Physical and chemical properties of nonorganic solids]. Moscow: Mir. 1987. 456 p.
4. Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Mineral'nye nanostrukturirovannye vyazhushchie. Priroda, tekhnologiya i perspektivy primeneniya [Mineral nanostructured binders. Nature, technology and prospective of application]. Saarbrucken: LAM LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2011. 170 p.
5. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization. *Journal of Applied Crystallography*. 2004. No. 37, pp. 743–749.
6. Yamnova N.A., Zubkova N.V., Eremin N.N., Zadov A.E. Crystal structures of larnite β-Ca_2SiO_4 and lime-olivine as natural α- and β-polymorphous modifications of dicalcium orthosilicate. Features of structural transformations glaserite-arcanite-olivine. *Working Papers V Intrernational Symposium: Mineral Diversity. Research and Preservation*. Earth and Man Foundation. Sofia, Bulgaria. 2009, pp. 181–192.

Время пересмотра стандарта на гипсовые перегородочные плиты настало

Гармонизированные стандарты в области строительства и производства строительных материалов ведут к более интенсивному развитию отрасли. Это один из способов, который ведет к устранению барьеров в торговле и созданию единых и равных условий для конкуренции и функционированию единого рынка.

С момента введения в действие ГОСТ 6428–83 «Плиты гипсовые для перегородок. Технические условия» прошло более 30 лет. Опыт производства материалов и их применения в строительстве подтвердили необходимость пересмотра стандарта. Основной объем плит на заводах гипсовой отрасли в настоящее время выпускается на импортном и качественном отечественном оборудовании, отвечающем современным требованиям.

Рассматриваемый межгосударственный стандарт при разработке был максимально гармонизирован в части технических требований к плитам и методам их испытания с европейским стандартом EN 12859:2011 «Гипсовые пазогребневые плиты – определения, требования и методы испытаний» («Gips – Wandbauplatten – Begriffe, Anforderungen und Prufverfaheren»; Deutsche Fassung EN 12859:2011), так как прямое введение европейского стандарта EN 12859 в РФ невозможно по причине наличия в его тексте ссылок на нормы шести европейских стандартов, не действующих в Российской Федерации. В текст настоящего стандарта, следовательно, не включены ссылки на шесть европейских стандартов, не принятых на территории стран СНГ в качестве межгосударственных стандартов, а также положения, касающиеся пожарной безопасности и требований к маркировке CE.

Целью разработки проекта стандарта является решение следующих вопросов:

- обеспечение потребностей экономики стран СНГ и Таможенного союза в установлении единых требований и их гармонизации с региональными (европейскими) стандартами для производителей плит гипсовых пазогребневых для стен и перегородок;
- устранение технических барьеров при ведении коммерческой деятельности, в том числе в рамках Таможенного союза;
- обеспечение конкурентоспособности продукции, производимой в государствах СНГ и Таможенного союза, на международном рынке;
- активизация участия стран СНГ и Таможенного союза в работе по международной стандартизации.

Достоинством предлагаемого пути разработки стандарта является то, что принятая для гармонизации европейская нормативная система является комплексной, научно обоснованной и апробированной в гипсовой промышленности ряда европейских стран.

Отличительные особенности разработанного документа:

1. Проект, в отличие от действующего стандарта, вообще не предусматривает возможности выпуска морально устаревшей продукции – пазовых плит.

2. Номенклатура плит предусматривает выпуск полнотелых и пустотелых плит, которые разделены на следующие типы:

- два типа по прочности – A и R. Плиты типа A должны выдерживать предельные разрушающие нагрузки при изгибе, достаточные для целей их использования. В особых случаях требуются плиты типа R, выдерживающие повышенную предельную нагрузку при изгибе;
- три типа по плотности: L – низкая; M – средняя и D – высокая, к которым для идентификации применяют объемную окраску;
- два типа по водопоглощению – H1 – гидрофобизированные и H2 – без гидрофобизирующей добавки, к которым также применяют для идентификации объемное окрашивание.

3. Предусмотрена визуальная идентификация плит отдельных типов способом объемного окрашивания (по двум критериям – плотности и показателю водопоглощения).

4. Установлены дополнительные показатели (по водопоглощению, плотности, отклонению от прямоугольности лицевых поверхностей, отпускной влажности плит), а также установлены требования к конструкции пустотелых плит.

5. Разработаны более объективные методы испытаний, которые выполняются на целых плитах или их фрагментах, что позволяет точнее оценить свойства плит, чем по действующему стандарту, где испытания выполняются на специально изготовленных из формовочной массы образцах-балочках.

6. Предложена новая, более информативная система условного обозначения плит, по которой можно определить типы водопоглощения, прочности и средней плотности изделий.

7. Приведена методика факультативной оценки твердости лицевой поверхности плит.

8. Предложена стандартная методика отбора пробы потребителем для проведения независимого контроля.

По проекту стандарта получены согласующие письма от ряда организаций, а также замечания и предложения по отдельным пунктам стандарта, большинство из которых уже учтены при разработке окончательной редакции проекта стандарта. Было проведено совещание рабочей группы 6.6 «Стеновые, перегородочные и облицовочные материалы» ТК 465 «Строительство» с приглашением представителей заинтересованных организаций для публичного обсуждения отдельных пунктов стандарта.

Введение в действие предлагаемого к рассмотрению стандарта предполагается осуществить во второй половине 2014 г. Стандарт разработан в категории ГОСТ для последующего включения его в перечень межгосударственных нормативных документов в области стандартизации стран Таможенного союза и СНГ.

Создание и применение гармонизированного стандарта позволит приблизиться к целям устойчивого развития и своевременно учитывать многие аспекты современности:

- политические: поддержка конкурентоспособности России на мировых рынках; экономическая интеграция в рамках единого европейского пространства и в рамках Таможенного союза; борьба с нелегальным экспортом отходов и др.;
- экономические: необходимость оптимизации процессов использования первичного сырья; применение потенциала вторичных и природных ресурсов; проведение мероприятий по оптимизации управления производством и управления рисками; повышение качества производимых материалов;
- экологические: сохранение и защита окружающей среды; защита жизни и здоровья людей, управление окружающей средой и ресурсосбережением;
- социальные: повышение качества продукции и уровня жизни населения; расширение спектра предоставляемых услуг и продукции; обеспечение ценовой доступности продукции и услуг;
- технологические: оптимизация жизненного цикла продукции; максимальное использование вторичных ресурсов; модернизация технологий.

А.Ф. Бурьянов, Т.А. Белякова
Российская гипсовая ассоциация

Андрею Викторовичу Кочеткову – 50 лет !

Андрей Викторович Кочетков работает в дорожном хозяйстве с 2001 г.

Доктор технических наук, профессор, академик Российской академии транспорта, главный эксперт ФГУП «РОСДОРНИИ».

В 2001–2004 гг. – заместитель директора по научной работе ФГУП Саратовский научно-производственный центр «РОСДОРТЕХ» Министерства транспорта Российской Федерации. С 2004 г. работает в ФГУП «РОСДОРНИИ», главный эксперт.

Подготовил 12 кандидатов технических наук (из них 3 – сотрудники ФГУП «РОСДОРНИИ», 3 – граждане Республики Казахстан, 1 – гражданин Китая), 8 докторов наук Российской академии транспорта. В настоящее время научный руководитель 3 аспирантов из числа сотрудников ФГУП «РОСДОРНИИ». В 2010 г. ему было присвоено ученое звание профессора по кафедре «Мосты и транспортные сооружения».

Андрей Викторович является автором Концепции развития дорожной науки РФ до 2010 г. и на дальнейшую перспективу, автором проекта Стратегии развития инновационной деятельности Федерального дорожного агентства и Перечня критических технологий дорожного хозяйства, разработанных в рамках государственного контракта с Федеральным дорожным агентством.

Участвовал в разработке ГОСТ «Дороги автомобильные общего пользования. Искусственные неровности» и ГОСТ «Дороги автомобильные общего пользования. Габариты приближения». Также участвовал в выполнении ряда научно-исследовательских тем в области применения спирально-винтовых водопропускных труб, защитных пластиковых панелей барьерных ограждений, программы технологического развития дорожного хозяйства, разработки ускоренных методов диагностики дорожных цементобетонов. Руководил разработкой пяти отраслевых дорожных методических документов по строительству, ремонту и содержанию автомобильных дорог и мостовых сооружений, в том числе ОДМ «Устройство дорожных покрытий с шероховатой поверхностью», ОДМ «Рекомендации по обеспечению экологической безопасности придорожной полосы при зимнем содержании автомобильных дорог» и др. Является популяризатором применения литого асфальтобетона на основе полимерно-битумных вяжущих при устройстве ездового полотна мостового сооружения.

Начиная с 2004 г. регулярно публикует научные статьи, которые посвящены методам технического регулирования и нормирования показателей качества дорожных работ на всех этапах жизненного цикла автомобильных дорог и искусственных сооружений.

В период с 2005 по 2012 г. А.В. Кочетков являлся экспертом Межгосударственного совета дорожников стран СНГ. Ведет активную работу по развитию международных связей в Республике Казахстан: с Казахской автомобильно-дорожной академией, Казахской академией транспорта и коммуникаций, Научно-исследовательским институтом транспорта и коммуникаций, Казахским национальным техническим университетом им. К.И. Сатпаева; в качестве приглашенного ведущего ученого читает курсы лекций в Казахской академии транспорта и коммуникаций и Карагандинском государственном индустриальном университете.

Андрей Викторович имеет более 450 публикаций, из них 10 в изданиях СКОПУС, более 150 изданиях перечня ВАК, 8 патентов России и Казахстана, 10 монографий, индекс Хирша – 7.

А.В. Кочетков был непосредственным организатором и руководителем конференций и семинаров, проводимых Федеральным дорожным агентством.

Имеет диплом и наградной знак Президентской программы подготовки управленческих кадров, наградные часы губернатора Саратовской области, награжден медалью им. А.А. Николаева. Он член Президиума, руководитель Поволжского отделения Российской академии транспорта РФ, член московского отделения Российского общества инженеров строительства, эксперт Минюста России, профессор кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина и «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Коллектив редакции журнала «Строительные материалы» поздравляет Андрея Викторовича Кочеткова, своего постоянного автора и искреннего друга журнала, с юбилеем!

УДК 625

А.В. КОЧЕТКОВ, д-р техн. наук, академик, член президиума Российской академии транспорта, главный эксперт ФГУП «РОСДОРНИИ», Л.В. ЯНКОВСКИЙ, канд. техн. наук
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
(614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

Перспективы развития и актуальные задачи дорожной науки

Дорожная наука оказывает позитивное влияние на работу дорожного хозяйства. Проведен целый ряд комплексных исследований по совершенствованию нормативно-технической базы, позволивших предъявить на современном уровне требования к разработке технологических процессов, качеству дорожно-строительных материалов, методам их испытаний и выполнению работ. Дорожная наука активно участвует в формировании направлений развития и совершенствования дорожного хозяйства. С ее участием разработаны ранее принятые государственные, отраслевые и региональные дорожные программы. Вместе с тем научный потенциал дорожного хозяйства реализован не в полной мере, недостаточна его координация и концентрация на основных направлениях. Необходимо поэтапное развитие дорожной науки по выбранным критическим узлам на основе разработки и реализации среднесрочных целевых программ и годовых планов научных исследований, развития новой техники и реализации достижений научно-технического прогресса.

Ключевые слова: дорожная наука, перспективы развития, инновационная деятельность, автомобильные дороги, фундаментальные и прикладные исследования.

A.V. KOCHETKOV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician, Member of the Presidium of the Russian Transport Academy,
Chief Expert of FGUP "ROSDORNII", L.V. YANKOVSKY, Candidate of Sciences (Engineering)
Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Avenue, 614990, Perm, Russian Federation)

Prospects of Development and Actual Problems of Road Science

Road science has a positive influence on the operation of road facilities. A number of comprehensive studies on the improvement of normative-technical base which made it possible to lay, at the modern level, claims to the development of technological processes, road building materials, methods for their testing and execution of works were carried out. Road science actively participates in forming directions of development and improvement of road facilities. State, branch and regional road programs previously approved have been developed with its participation. However, the scientific potential of road facilities is realized not fully, its coordination and concentration on main directions are insufficient. It is necessary to develop the road science with due regard for selected critical components on the basis of development and implementation of medium-term target programs and annual plans of scientific research, development of new equipment and implementation of achievements of scientific-technical progress.

Keywords: road science, prospects of development, innovative activity, automobile roads, fundamental and applied studies.

Целью государственной политики в области развития науки и технологий является переход к инновационному пути развития страны на основе выбранных приоритетов. Необходимо создание научных, организационных и экономических механизмов для повышения востребованности инноваций отечественным производством [1].

Несмотря на определенные результаты, состояние научной базы дорожного хозяйства не улучшилось, а дорожная наука в целом столкнулась с рядом серьезных проблем. В настоящее время дорожная наука – это в наименьшей степени адаптированная к условиям рынка сфера деятельности. Формирование рынка дорожных работ и развитие конкуренции в дорожном хозяйстве практически не сопровождались развитием рынка научных разработок.

Внедрение новых технологий, конструкций и материалов в основном осуществлялось прежними административными методами, что снизило эффективность влияния науки на технический прогресс в отрасли. Произошло падение престижа научной деятельности, старение научных кадров. В таких условиях научные организации, пытаясь найти выход из создавшейся ситуации, частично перепрофилировали свою деятельность, в результате чего основной объем работ отраслевых научно-исследовательских институтов связан с выполнением диагностики автомобильных дорог, научным и инженерно-техническим сопровождением проектов, в том числе при внедрении зарубежных технологий. Отдельные научные организации начали заниматься проектированием автомобильных дорог, а также другими видами работ и услуг, которые для них оказываются экономически более выгодными. Сложившаяся ситуация породила целый ряд нерешенных в настоящее время проблем: развитие теоретической части не обеспечивает решение стоящих перед отраслью задач; недостаточно отлажен механизм внедрения научных разработок и взаимодействия научных, проектных и производственных организаций; не в полной мере удовлетворяются проблемные запросы отрасли из-за отсутствия у исполнителей соответствующей квалификации; снизилось качество научных исследований и получаемых результатов; за последние годы не появилось отечественных принципиально новых технологий, техники и материалов, позволяющих повлиять на деятельность дорожного хозяйства [2].

Необходимо поэтапное развитие дорожной науки по выбранным критическим узлам на основе разработки и реализации среднесрочных целевых программ и годовых планов научных исследований, развития новой техники и реализации достижений научно-технического прогресса. Можно выделить следующие приоритеты [3]:

- обеспечение развития фундаментальной дорожной науки, а на ее основе – важнейших прикладных исследований и разработок;
- создание и развитие общих и специальных технических регламентов, системы национальных стандартов, стандартов организаций, а также документов методического характера, обеспечивающих оптимизацию стоимости дорожных работ с применением прогрессивных технологий, новых материалов и техники;
- совершенствование отраслевой системы развития инновационной деятельности в дорожном хозяйстве, включая совершенствование механизма взаимодействия научных организаций и предприятий дорожного хозяйства, профильных вузов, предприятий ВПК в целях внедрения новых технологий в производство;
- создание и развитие объектов инновационной инфраструктуры [4, 5].

Транспортной стратегией РФ на период до 2020 г., одобренной на заседании правительства РФ 28 апреля 2005 г., в качестве важнейшего приоритета установлено соблюдение интересов пользователей автомобильных дорог и населения страны, а в качестве приоритетных задач определены следующие:

– обеспечение повышения скорости движения автомобильного транспорта за счет увеличения пропускной способности перегруженных участков автомобильных дорог, улучшение транспортно-эксплуатационного их состояния;

– сокращение времени и издержек доставки грузов и пассажиров путем строительства автомобильных дорог и мостов по основным направлениям движения грузо- и пассажиропотоков.

В качестве основных направлений развития федеральных автомобильных дорог следует считать:

– завершение формирования опорной сети автомобильных дорог для обеспечения связи с регионами;

– увеличение пропускной способности сети федеральных автомобильных дорог за счет создания многополосных автомагистралей на существующих направлениях;

– формирование новых автодорожных маршрутов, обеспечивающих оптимальное распределение автотранспортных потоков на направлениях в обход перегруженного движением автотранспорта Московского дорожного узла;

– создание подъездов к крупным транспортным узлам и объектам транспортной инфраструктуры, включая реконструкцию и строительство подъездов к портам и логистическим центрам;

– строительство и реконструкцию обходов крупных населенных пунктов.

В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» №184-ФЗ в настоящее время в дорожном хозяйстве создается система технического регулирования, в целом в своем развитии опережающая аналогичные системы других отраслей. Определены приоритеты в разработке технических регламентов и национальных стандартов, требующих первоочередной разработки и переработки, которые, по сути, являются программой действий на среднесрочную перспективу.

Проблемы дорожной науки выдвигают в качестве неотложных решение задач коренного улучшения ситуации, формирования новой концепции научно-технической политики, отвечающей современным потребностям дорожного хозяйства, определения приоритетных направлений научных исследований.

Научно-техническая политика в дорожной сфере должна формироваться исходя из направлений совершенствования дорожного хозяйства, ориентироваться на

достижение технических, экономических и социальных результатов, отвечающих потребностям создания единой транспортной сети страны, включающей автомобильные дороги общего пользования, обладающих единой системой потребительского качества на федеральном и территориальном уровнях.

Основные задачи научно-технической политики состоят в:

– формировании научно-технической политики на основе экономических подходов исходя из наибольшей эффективности технических и конструктивных решений с учетом всего комплекса затрат и выгод за весь срок службы сооружений;

– создании экономических механизмов, обеспечивающих взаимную заинтересованность всех участников инвестиционного процесса во внедрении новых экономичных и долговечных материалов и конструкций;

– переориентации технической политики в интересах пользователей дорог;

– формировании единых технических требований к магистральным автомобильным дорогам с возможностью их интеграции в сеть европейских автомагистралей и магистралей стран – участниц СНГ;

– ориентации на повышение долговечности дорожных конструкций и сооружений взамен получения сиюминутной выгоды от сокращения стоимости строительных и ремонтных работ;

– учете региональных особенностей при проведении технической политики, при сохранении единых принципов формирования автотранспортных коммуникаций и технических требований к ним;

– создании условий для развития творческой инициативы инженеров-дорожников всех уровней;

– пересмотре основных принципов и подходов к техническому нормированию и типовому проектированию на основе экономических подходов, ориентации на интересы потребителей и учете многогранных особенностей Российской Федерации;

– создании эффективной системы контроля качества дорожных работ.

Для выполнения научных исследований по проблемам дорожного хозяйства необходима систематизация и согласование достижений не только дорожной науки, но и смежных областей естественных и прикладных наук. В настоящее время в дорожной науке существуют классификационные, терминологические, методические, нормативно-технические и метрологические расхождения, особенно с фундаментальной наукой и уровнем автоматизации научных исследований и автоматизированного расчета и проектирования. Практически не используются современные статистические методы обработки и анализа информации при мониторинге стохастических процессов, например базисный и эконометрический анализ. Практически не стоят задачи создания адекватных теорий и содержательных математических моделей применительно к различным аспектам дорожного хозяйства. Имеется риск отказа от используемых теоретических и методических подходов и возврат к эмпирическому и опытно-описательному обоснованию решения дорожных задач.

Для развития дорожного хозяйства необходима концентрация усилий на следующих направлениях фундаментальных дорожных исследований:

– изучение и прогнозирование надежности и срока службы дорожных сооружений с учетом местных природно-климатических условий;

– изучение и повышение физико-механических свойств грунтов и дорожно-строительных материалов;

– изучение водно-теплового режима земляного полотна;

– развитие и совершенствование методов расчета дорожных одежд;

– оценка влияния дорожных условий на безопасность движения;

– изучение особенностей восприятия водителем дорожных условий;

– архитектурно-ландшафтное проектирование автомобильных дорог общего пользования;

– изучение влияния автомобильных дорог общего пользования на окружающую среду.

Одним их важнейших направлений деятельности в рамках программы является использование новых фундаментальных теоретических подходов из различных областей науки, техники, экономики при решении задач дорожного хозяйства. В качестве ориентировочных примеров можно назвать следующие:

– применение новых методов экономики и математической статистики, в частности эконометрический подход, панельный опрос и др.;

– применение базисного анализа для определения природы и параметров моделирования статистических характеристик и технологических процессов для автомобильных дорог;

– применение современных методических принципов теории надежности – теории риска и методов аналитического перехода от различных законов статистического распределения и др.

Необходимо дальнейшее совершенствование отраслевой системы технического регулирования. Приоритеты в этой работе могут быть расставлены следующим образом:

– нормативы, регламентирующие качество работ при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог общего пользования;

– нормативы по обеспечению безопасности дорожного движения;

– нормативы технической направленности.

Нормативные документы системы технического регулирования дорожного хозяйства должны быть ориентированы на новые экономические условия, снижение затрат на дорожные работы, гармонизацию отечественных и европейских норм, определяющих потребительские свойства автомобильных дорог общего пользования.

Для планомерной реализации основных направлений совершенствования дорожного хозяйства необходимо продолжить работу по обеспечению требуемого уровня финансирования дорожного хозяйства. Неотложной задачей является создание правовой и экономически привлекательной среды для формирования внебюджетных источников финансирования дорожных работ, включая средства частных инвесторов. Актуальным является вопрос о государственных гарантиях отечественным и зарубежным инвесторам.

В новых условиях необходимо изменение концепции ценообразования, в ее основу должен быть положен ресурсный метод. Необходимо организовать исследования региональных особенностей в современном ценообразовании при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог общего пользования. В качестве приоритетных направлений научных исследований следует рассматривать:

– разработка новых методов обоснования экономической эффективности инвестиций в дорожное хозяйство;

– разработка концепции привлечения инвестиций в дорожное хозяйство Российской Федерации;

– поиск альтернативных источников финансирования дорожных работ;

– разработка методов технико-экономического обоснования сооружения платных дорожных объектов;

– научное обоснование объемов финансирования дорожного хозяйства исходя из необходимости удовлетворения потребностей в автомобильных перевозках и решения социальных проблем страны и регионов;

– совершенствование налогового законодательства в части финансирования дорожных работ;

– разработка концепции единой системы ценообразования в отрасли;

– применение современных методов разработки технико-экономических обоснований расчета инвестиций в дорожное хозяйство, основанных на оценке дисконтированных затрат и безубыточности проекта.

Необходимо предусматривать совершенствование системы управления дорожным хозяйством путем выработки рациональных методов преобразования организационных структур на федеральном и территориальном уровнях, включая две ветви управления – государственную и хозяйственную; оптимизации принципов взаимодействия федерального и территориальных органов управления, а также их деятельности, обеспечивающей интересы государства, пользователей дорог и населения; безопасное и бесперебойное функционирование сети автомобильных дорог общего пользования и эффективное использование средств, выделяемых на нужды дорожного хозяйства.

Важнейшими направлениями научных исследований в этой сфере являются:

– разработка концепции единой государственной политики в области автомобильных дорог и двойного подчинения территориальных дорог: федеральному центру и местной исполнительной власти (нормативно-правовая база за федеральным центром; хозяйственные организации за местной исполнительной властью);

– определение оптимального сочетания единой технической политики в области автомобильных дорог общего пользования с самостоятельностью территориальных органов управления;

– разработка методов и критериев оценки эффективности управления дорожным хозяйством на территориальном и федеральном уровнях.

Новые социально-экономические условия требуют корректировки методов оценки и обоснования развития сети автомобильных дорог. Генеральным направлением становится необходимость сохранения построенной сети дорог и повышения ее транспортно-эксплуатационных показателей.

Задача состоит в создании теоретических основ и принципов, а также технологии управления процессом содержания, совершенствования и развития дорожной сети на базе современных методов диагностики, комплексной оценки и прогнозировании состояния; в обосновании потребностей и выборе стратегии развития дорожной сети; в эффективном распределении средств на содержание, ремонт, реконструкцию и строительство дорог на федеральном и территориальном уровнях.

Для решения этих задач необходимы:

– исследование и прогнозирование тенденций развития международных интермодальных транспортных коридоров через и в обход территории Российской Федерации, например между странами Юго-Восточной Азии и Китая и Западной Европы;

– установление зависимостей социально-экономических показателей развития регионов от показателей развития и состояния дорожной отрасли;

– разработка методов определения требуемого уровня развития дорожной сети регионов и республики в целом с учетом фактического состояния и прогноза развития экономики, производственного потенциала, освоенности территории, численности населения и его размещения, существующей и перспективной транспортной инфраструктуры, природно-климатических и других особенностей;

– совершенствование методов диагностики, оценки и прогноза состояния дорог как основы планирования работ по содержанию и совершенствованию существующих дорог;

– обоснование генеральной схемы автомобильных дорог общего пользования с учетом развития международных транспортных коридоров;

– исследование влияния потребительских свойств дорог на технико-экономические показатели работы автомобильного транспорта для экономического обоснования управляющих воздействий и технических решений;

– разработка технологии управления развитием и состоянием дорожной сети и методов обоснования оптимальной стратегии управления с учетом различных финансовых и материально-технических ограничений на федеральном и территориальном уровнях.

Необходимо продолжить и завершить развитие сети местных дорог с твердым покрытием, связывающих все населенные пункты, а также строительство новых и совершенствование существующих дорог высоких категорий по направлениям массового движения легковых автомобилей и автобусов. При наличии ограничений по финансовым возможностям необходимо установить приоритетность очередности и последовательности их выполнения в масштабе всей страны и различных регионов с учетом состояния существующей сети, потребностей ее развития, наличия реальных возможностей и других факторов. Эта проблема должна решаться исходя из стратегической цели и задач развития дорожной сети с учетом площади территории и степени ее освоения, численности населения, размещения населенных пунктов, развития промышленности и сельского хозяйства, природно-климатических условий, а также наличия и развития других видов транспорта, приоритетности и оценки эффективности развития федеральных и местных дорог в новых социально-экономических условиях.

Мировой опыт показал, что наиболее эффективным является развитие дорожной сети в два основных этапа:

– создание низовой сети дорог, связывающих все населенные пункты, которые решают важнейшую социальную задачу обеспечения свободного перемещения и надежных связей с соседними пунктами, а также экономическую задачу, поскольку создавалась возможность перевозки грузов по кратчайшим направлениям на короткие расстояния;

– строительство автомобильных магистралей по направлениям транспортных коридоров, по которым сложились или ожидаются массовые перевозки грузов и пассажиров на большие расстояния.

При этом местная сеть дорог превращается в систему питания автомобильной магистрали грузами и пассажирами для данных перевозок. Требуется четкое согласование федеральных и региональных программ развития дорог, учитывая, что строительство крупных магистралей без создания в зоне их влияния сети местных дорог резко снижает эффективность капиталовложений в их строительство и социальную значимость.

Необходимо учесть перспективы дальнейшей интеграции России в международное сообщество и развитие международных автотранспортных связей по ряду направлений. Важным этапом в развитии дорожной сети, этапом технического прогресса является ее техническое совершенствование в соответствии с возрастающими требованиями движения. В качестве первой стадии этого этапа необходимо перейти на строительство всех новых дорог независимо от категории под осевую нагрузку 10 т и более.

Важной является проблема повышения технического уровня и эксплуатационного состояния существующих дорог. Опыт показывает, что эффект от каждого рубля, вложенного в ремонт и содержание дорог, в 2–3 раза больше, чем от рубля, вложенного в строительство новых дорог. Поэтому экономически целесообразно как можно быстрее привести состояние существующих дорог в соответствие с современными требованиями.

В формировании программ развития и совершенствования дорожной сети, отбора инвестиционных объектов для включения в программы на каждом этапе и оценке их экономической эффективности необходимо использовать три группы показателей:

– транспортный эффект, характеризующий прямую выгоду пользователей дорог от улучшения дорожных условий в виде снижения себестоимости перевозок и сокращения потребности в транспортных средствах вследствие повышения их производительности;

– социально-экономический эффект в связи с повышением удобства, безопасности сообщения, сокращенным временем пребывания пассажиров в пути, потерями от дорожно-транспортных происшествий, сокращением экономического ущерба от воздействия автотранспортного потока на окружающую природную среду;

– внетранспортный экономический эффект в других отраслях экономики вследствие активизации предпринимательской деятельности, повышения сохранности и сокращения времени доставки грузов.

Направление методов проектирования и строительства автомобильных дорог и мостов предусматривает совершенствование методологии проектно-изыскательских работ на основе широкого использования новейших автоматизированных систем, формирования обновленной нормативной базы в сфере проектирования и строительства дорог и мостов, организации и контроля качества строительства автомобильных дорог общего пользования. В состав направления входят:

– разработка усовершенствованных технологий инженерных изысканий и автоматизированного проектирования автомобильных дорог общего пользования и мостов, в том числе применения геоинформационных и навигационных систем;

– разработка норм проектирования автомобильных дорог общего пользования с учетом необходимости гармонизации отечественных и зарубежных нормативов;

– разработка норм общего пользования с учетом обеспечения требуемого уровня качества дорожных работ;

– создание и внедрение новых искусственных материалов с управляемыми физико-механическими свойствами для применения в различных слоях дорожных конструкций и создание новых нетрадиционных дорожных конструкций;

– разработка альтернативных вяжущих для покрытий автомобильных дорог высоких категорий;

– совершенствование методов использования мерзлых грунтов при сооружении земляного полотна в зоне вечной мерзлоты;

– совершенствование методов применения долговечных цементобетонных конструкций дорожных одежд;

– исследование влияния параметров элементов автомобильных дорог и их эксплуатационного состояния на скорость движения автомобилей и транспортные издержки.

В рамках актуализированной концепции предполагается поставить и предложить следующие вопросы проектирования нежестких дорожных одежд для правильного понимания механизма работы каждого слоя, построения теоретической базы для специалистов в областях дорожного материаловедения и технологии строительства дорог:

– определение эффективных расчетных схем, основанных на применении достижений фундаментальных наук, например модернизация и расширение функциональных возможностей применения расчетной схемы слоистого упругого полупространства при неподвижной нагрузке, напряженно-деформированном состоянии слоистого линейного вязкоупругого полупространства при неподвижной и движущейся нагрузках;

– задача о напряженном состоянии сплошного слоя, опирающегося на основание, имеющее разрывы сплошности, поиск решения по расчету на изгиб слоя усиления, положенного поверх основания, имеющего трещины или разрывы;

– задача о напряженно-деформированном состоянии слоистого пространства, один из слоев которого зернистый несвязанный, например щебеночный, оценка нелинейности связи между напряжениями и деформациями с учетом температуры асфальтобетонного покрытия, определение метода расчета на прочность щебеночного слоя, расчет сетки, армирующей щебеночный слой;

– задача о термонапряженном состоянии слоистой среды, создание теоретической базы для обоснованной разработки конструкций дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями минимальной толщины за счет рационального конструирования дорожных одежд;

– определение подходов к решению задач расчета упругопластического или упруговязкопластического слоистого полупространства;

– определение теоретических подходов к решению задач оценки критерия предельного состояния – накопленное остаточное вертикальное перемещение поверхности покрытия – глубина колеи (в рамках задачи о слоистом упругопластическом полупространстве, подвергаемом действию повторных нагрузок), задача прогноза образования поперечной неровности покрытия в зависимости от состава и интенсивности движения;

– оценка срока службы дорожных одежд в явной форме при расчете ее толщины;

– определение зависимости параметров исходной дорожной одежды, толщины и характеристики ее слоев с показателем ее состояния после заданного срока эксплуатации при определенной интенсивности и составе движения;

– преодоление существующего разрыва между критериями предельного состояния и расчетными характеристиками, используемыми при проектировании дорожных одежд, и требованиями стандартов к качеству материалов слоев (использовать прочность на изгиб при кратковременной нагрузке, а не прочность на сжатие);

– исследование методов рационального конструирования дорожной одежды с учетом оптимального использования материалов, определение принципов установления сочетания слоев, их взаиморасположения и соотношения толщин, чтобы конструкция дорожной одежды была рациональной с точки зрения строительной механики и технологически осуществимой.

Совершенствование системы ремонта и содержания дорог и мостов имеет целью разработку эффективного комплекса мер, способных в сжатые сроки и при рациональном уровне затрат восполнить накопленный недоремонт сооружений, а также создать организационную и научную основу для перехода к широкому использованию предупредительных мер, позволяющих существенно сократить затраты на ремонт и содержание дорог и мостов. обеспечить высокий уровень эксплуатационного содержания и повышения технического уровня существующих дорог, их инженерного оборудования и обустройства, формирования системы дорожного сервиса, повышение уровня организации и безопасности движения.

К научному обеспечению совершенствования методов ремонта и содержания дорог относятся:

– создание научных основ теории содержания и ремонта автомобильных дорог;

– разработка методов оценки и прогнозирования состояния земляного полотна, дорожных одежд и покрытий в процессе эксплуатации;

– разработка методов повышения трещиностойкости асфальтобетонных покрытий на различных основаниях;

– разработка принципов и методов применения предупредительных мероприятий и ремонтов, позволяющих существенно снизить затраты на ремонт и содержание дорог, в том числе методов оценки, прогноза и образования колей, неровностей, ямочности, трещин, шелушения и выкрашивания;

– разработка методов ликвидации деформаций и разрушений земляного полотна и дорожных одежд на ранней стадии их развития;

– развитие холодных технологий при ремонте и содержании автомобильных дорог;

– рассмотрение придорожной полосы как циклически действующей буферно-накопительной зоны, поиск новых методов зимнего содержания дорог, защиты дорог от снежных заносов, прогнозирования и предупреждения зимней скользкости путем создания антигололедных покрытий нового поколения, новых экологически безопасных химических материалов;

– разработка методов оценки и прогнозирования сроков службы эксплуатируемых мостов на основе их мониторинга;

– обоснование методов контроля и требований к работам по содержанию автомобильных дорог.

Совершенствование методов реконструкции автомобильных дорог и дорожных сооружений предусматривает проведение комплекса научных исследований, направленных на совершенствование методологии реконструкции дорог и дорожных сооружений с целью повышения пропускной способности, транспортно-эксплуатационных качеств и долговечности дорожной сети России.

В состав направления входят:

– решение задачи наиболее эффективного использования элементов и конструкций существующей дороги путем разработки специальных норм и требований проектирования реконструкции;

– решение проблем надежного сопряжения существующего и нового земляного полотна, основания и дорожной одежды, придания им равнопрочности и устойчивости;

– разработка современных методов реконструкции труб, мостов и других инженерных сооружений.

Введение при реконструкции автомобильных дорог обязательной практики требований обеспечения жесткости, а не увеличения толщины дорожного полотна, для чего рекомендовать применение современной техники и технологий фрезерования дорожного полотна.

Повышение безопасности дорожного движения предусматривает реализацию программного подхода к осуществлению мероприятий по снижению дорожной аварийности на основе ликвидации и профилактики возникновения опасных участков на существующей дорожной сети в сочетании с обеспечением маршрутной безопасности движения, приоритетного учета требований гарантирования безопасности движения при строительстве новых автомобильных дорог, стадийного улучшения транспортно-эксплуатационных качеств дорог с учетом наблюдаемого уровня аварийности.

Научные исследования по данному направлению должны включать:

– разработку целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения на федеральных дорогах России» на среднесрочный период;

– разработку методических документов по реализации отраслевой целевой программы и ее научное сопровождение;

– безусловное исполнение положений ФЗ «О техническом регулировании» по вопросам разработки и применения технических регламентов с учетом оценки степени риска и оценки тяжести причиняемого вреда;

– совершенствование научно-методического аппарата по определению коэффициента сцепления на основе современных теорий триботехники, например на основе модели комбинированного трения В.Ф. Журавлева и коэффициента сцепления покоя;

– совершенствование технических средств организации дорожного движения с разработкой государственных стандартов и отраслевых норм;

– разработку программы развития дорожного сервиса на федеральных автомобильных дорогах;

– совершенствование системы учета и анализа дорожно-транспортных происшествий в дорожном хозяйстве с целью выбора эффективных мер по борьбе с дорожной аварийностью.

Необходимы исследования, устанавливающие требуемые нормы качества дорожных работ с учетом материально-технического состояния отрасли, и исследования надежности работ автомобильной дороги как сложной системы, позволяющие определять экономически целесообразные сроки службы отдельных элементов этой системы. Для поднятия технологической дисциплины необходима разработка правовых актов, определяющих ответственность за качество работ, а также стандартов, устанавливающих сроки службы дорожных сооружений. В состав направления входят:

– совершенствование отраслевой системы менеджмента качества дорожно-мостовых работ и пакета документов по качеству;

– совершенствование отраслевой системы сертификации дорожной продукции и услуг;

– совершенствование системы метрологического обеспечения дорожного хозяйства;

– разработка экспресс-методов и приборов для контроля качества дорожных материалов и дорожно-мостовых работ;

– разработка основ концепции управления качеством в дорожной отрасли.

Приоритетный характер имеют научные исследования следующих направлений:

– разработка методов, позволяющих с достаточной степенью надежности оценить состояние окружающей среды на придорожных территориях с учетом интенсивности, состава и условий движения, транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог общего пользования, средств защиты и других местных факторов;

– разработка методов оценки и прогнозирования экономического ущерба от экологических воздействий на этапах строительства и эксплуатации автомобильных дорог общего пользования;

– разработка методов сокращения выбросов АБЗ и других дорожных предприятий с учетом технологических и природных особенностей;

– создание и применение экологически безопасных противогололедных материалов и технологий;

– разработка системы мониторинга экологического состояния автомобильных дорог общего пользования;

– разработка концепции управления природоохранной деятельностью в дорожном хозяйстве;

– разработка и реализация региональных программ повышения экологической безопасности автомобильных дорог общего пользования;

– разработка программы мероприятий дорожного хозяйства в рамках Конвенции снижения эмиссии метана и парниковых газов (ратифицированной Российской Федерацией в 2005 г.), разработка предложений по созданию системы экспертизы и базы данных реализации квот и внедрения технологий экологической безопасности.

Направление практической реализации научно-технической продукции предусматривает создание условий для широкого использования научно-технических достижений в практике дорожных организаций с целью обеспечения функционирования науки, техники и производства как единой системы, связи между научными исследованиями и их практической реализацией. В состав направления входят:

– создание организационной, нормативно-правовой и методической основы функционирования механизма практической реализации достижений науки в дорожном хозяйстве;

– совершенствование и развитие отраслевой интегрированной информационной системы в дорожном хозяйстве, включающей телекоммуникационные компоненты, системы связи, геоинформационные технологии, информационные банки данных по дорожным технологиям;

– разработка системы закупок и распределения материалов и дорожно-строительной техники в дорожном хозяйстве, создающей оптимальные условия для планирования внедрения современных, перспективных дорожных технологий;

– создание эффективного механизма научного (научно-технического сопровождения) внедрения инноваций при проектировании, строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и сооружений на них;

– разработка мероприятий по внедрению отечественной высокотехнологичной дорожной техники через систему лизинга;

– разработка и утверждение рекомендаций по научному (научно-техническому) сопровождению внедрения инноваций при проектировании, строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и сооружений на них.

Целью развития кадрового обеспечения дорожного хозяйства является обеспечение инженерными и научными кадрами, способными обеспечить высокий уровень качества строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог с использованием новейших отечественных и зарубежных машин и оборудования и применением наиболее эффективных технологий, достигнутых в мировой практике.

В состав направления входят:

– подготовка инженерно-технических кадров в высших и средних специальных учебных заведениях России по согласованным программам и в соответствии с приоритетами научно-технической политики;

– поддержка материальной базы высших и средних специальных учебных заведений через систему подготовки кадров и повышение квалификации;

– совершенствование системы дополнительного профессионального образования кадров дорожного хозяйства, включающей оценку и прогнозирование кадровой потребности, подготовку резерва на замещение руководящих должностей;

– создание системы стимулирования для привлечения в аспирантуру и докторантуру наиболее одаренных молодых ученых и специалистов дорожного хозяйства;

– организация системы научной стажировки молодых специалистов в странах, достигших наибольшего прогресса в области технологии дорожного строительства;

– согласование тематики кандидатских и докторских диссертационных работ с приоритетами научно-технической политики дорожного хозяйства.

Необходима подготовка ведущих специалистов по важнейшим научно-техническим направлениям в подведомственных научных организациях Росавтодора путем обучения в докторантуре и аспирантуре кадров высшей квалификации и проведения целевых диссертационных исследований в области дорожного хозяйства.

Основные научные направления: методология проектирования автомобильных дорог и искусственных сооружений на них, земляное полотно, режимы, безопасность и управление движением транспортных средств, дорожные материалы, технология строительства, ремонта и содержания дорог и мостов, дорожно-мостовая гидравлика и мостовые сооружения, диагностика дорог и сооружений и оценка их транспортно-эксплуатационных качеств, дорожное машиностроение, информационно-телекоммуникационное обеспече-ние, экономика, планирование и управление дорожным хозяйством, дорожная метеорология и др.

С целью обеспечения защиты интеллектуальной собственности предлагается проведение научного и предварительного патентного анализа перечня технических решений для первоочередного патентования. Предлагается разработать рекомендации по патентованию объектов интеллектуальной собственности в Федеральном дорожном агентстве, подготовить перечень важнейших патентов, которые могли быть предложены для включения в перечень отечественной высокотехнологичной продукции и критических технологий дорожного хозяйства.

Заключение

Решение перечисленных актуальных задач дорожной науки позволит перейти на инновационный путь развития отечественного дорожного хозяйства – поиска и накопления теоретических знаний в различных смежных областях науки и техники; практического использования этих знаний для разработки новых высокоэффективных материалов, технологий, приборов, техники и оборудования; обеспечить повышение срока службы дорог и искусственных сооружений, создание эффективной системы управления научным комплексом дорожного хозяйства, качеством дорожных работ и услуг; сократить стоимость дорожных работ на основе развития и совершенствования научных исследований и техники, инновационной деятельности, технического регулирования.

Список литературы

1. Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В., Карпеев С.В. Состояние нормативного обеспечения инновационной деятельности дорожного хозяйства // *Качество. Инновации. Образование*. 2010. № 9. С. 40–44.
2. Кочетков А.В., Карпеев С.В., Сухов А.А., Аржанухина С.П., Кокодеева Н.Е. Методика оценки экономической эффективности деятельности органов управления дорожным хозяйством по вопросам освоения новых технологий, техники и материалов // *Строительные материалы*. 2010. № 5. С. 4–7.
3. Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В. Нормативно-методическое обеспечение развития инновационной деятельности в дорожном хозяйстве // *Инновации*. 2011. № 7. С. 90–93.
4. Ходжаева Н.Б. Анализ проблем развития инновационной деятельности в дорожном хозяйстве // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2013. Т. 2. № 2(71). С. 258–262.
5. Зельцер Р.И. Инновационный подход к вопросу снижению стоимости дорожного строительства и содержания дорог // *Инновации в жизнь*. 2013. № 1(3). С. 28–38.

References

1. Arzhanukhina S.P., Sukhov A.A., Kochetkov A.V., Karpeev S.V. Normative state support of innovation road sector. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*. 2010. No. 9, pp. 40–44. (In Russian).
2. Karpeev S.V., Sukhov A.A., Arzhanukhina S.P., Kokodeeva N.E. Economic efficiency of activity of road services operating control authorities in the field of adoption of new technologies, technique and materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 5, pp. 4–7. (In Russian).
3. Arzhanukhina S.P., Sukhov A.A., Kochetkov A.V. Regulatory and methodological support the development of innovation in the road sector. *Innovatsii*. 2011. No. 7, pp. 90–93. (In Russian).
4. Khodzhaeva N.B. Analysis of the problems of development of innovative activities in the road sector. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013. Vol. 2. No. 2(71), pp. 258–262. (In Russian).
5. Zel'tser R.I. An innovative approach to reducing the cost of road construction and maintenance of roads. *Innovatsii v zhizn'*. 2013. No. 1(3), pp. 28–38. (In Russian).

12+

XVI МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ОСЕННИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

30 сентября – 2 октября
2014
КАЗАНЬ

XVI специализированная выставка
ЖИЛИЩЕ

I специализированная выставка
МАЛОЭТАЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

VIII специализированная выставка
ИНЖЕНЕРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

КАЗАНСКАЯ ЯРМАРКА

Выставочный центр "Казанская ярмарка"
Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8,
т./ ф.: (843) 570-51-07, 570-51-11, e-mail: d4@expokazan.ru,
www.expohouse.ru, www.expokazan.ru

Строй Экспо Алтай
2014

18–20 сентября

г. Горно-Алтайск
пл. им. Ленина
(Мобильный павильон)

Приглашаем Вашу компанию на II Республиканскую профессиональную выставку в сфере строительства, газификации и ЖКХ «СтройЭкспоАлтай»!

Тематические разделы:

- Газовый комплекс.
- Строительный комплекс.
- ЖКХ. Благоустройство.
- Энергоэффективность и энергосбережение.
  NEW! Альтернативная и возобновляемая энергетика.
- NEW! Транспорт. Дорожное хозяйство. Спецтехника.
- Лесопереработка. Деревообработка.
- Услуги в сфере строительства и недвижимости.
- Инвестиционные проекты.
- NEW! Индустрия строительства для индустрии туризма.

Результаты выставки 2013 года:

- **53 участника** из Республики Алтай, Алтайского и Красноярского краев, Омской, Новосибирской, Томской, Кемеровской областей, Москвы, а также Казахстана.
- **2 500 посетителей** из Горно-Алтайска и Республики Алтай, Алтайского края, Новосибирской и Кемеровской областей, **55 %** из них — специалисты.
- **7 380 деловых контактов** (встречи и переговоры с деловыми партнерами и представителями административных структур, продажи и др.).

(3852) 65 88 44
www.altfair.ru

АЛТАЙСКАЯ ЯРМАРКА
ALTFAIR
ВЫСТАВКИ
КОНФЕРЕНЦИИ
КОНГРЕССЫ

УДК 625.71.

А.Г. ЕВГЕНЬЕВА, инженер

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64)

Строительные материалы и технологии для восстановления автомобильных дорог Дальневосточного федерального округа после наводнения 2013 г.

Рассмотрены вопросы, связанные с восстановлением сети автомобильных дорог Дальневосточного федерального округа (далее ДВФО) после наводнения, произошедшего в 2013 г. Представлена информация о протяженности разрушенных участков федеральных автодорог, автодорог регионального и местного значения. Дано описание трех этапов работ по восстановлению дорожной сети региона. Отражены необходимость применения технологии холодной/горячей регенерации дорожной одежды для скорейшего восстановления транспортного сообщения в ДВФО. Приведены примеры успешного использования холодного ресайклинга на дорогах ДВФО в качестве технически эффективной и ресурсосберегающей технологии. Представлены объемы ремонтно-восстановительных работ на 2014 г. и примеры успешного применения современных методов ремонта автомобильных дорог. Отражены технические возможности современных ресайклеров.

Ключевые слова: холодный ресайклинг, наводнение, ремонт, нормативное состояние, тонкослойные покрытия.

A.G. EVGEN'EVA, Engineer

Moscow State Automobile and Road Technical University (64, Leningradsky Avenue, Moscow, 125319, Russian Federation)

Rehabilitation of Motor-Roads of the Far Eastern Federal District after Water-flood of 2013

Issues associated with the restoration of motor roads network of the Far Eastern Federal District (FEFD) after water-flood of 2013 are considered. The information about the length of destroyed sections of federal motor roads, motor roads of regional and local significance is presented. The description of three stages of restoration of the road network of the region is given. The necessity of the use of technology of cold/hot regeneration of road pavement for a speedy recovery of transport links in FEFD is represented. Examples of the successful use of cold recycling on the road of FEFD are presented as a technical efficient and resource saving technology. The amount of repair-restoring works for 2014 and examples of successful application of modern methods for motor roads repair are presented. Technical possibilities of modern recyclers are shown.

Keywords: cold recycling, water-flood, repair, normative state, thin-layers.

С конца июля до середины сентября 2013 г. дальневосточные регионы РФ были охвачены наводнением, повторяемость которого оценивается как один раз в 200–250 лет. Удар стихии пришелся на крупные промышленные города Дальневосточного федерального округа (ДВФО) и на прилегающие сельскохозяйственные территории. По данным наблюдений на метеорологических станциях Росгидро-мета, количество выпавших к началу августа осадков в Амурской области достигло или даже превысило годовую норму. [1]

31.08.2013 г. был издан Указ Президента Российской Федерации № 693 «О мерах по ликвидации последствий крупномасштабного наводнения на территориях Республики Саха (Якутия), Приморского и Хабаровского краев, Амурской и Магаданской областей, Еврейской автономной области».

Общая сумма затрат на восстановление автомобильных дорог составляет более 30 млрд р.

Работы по восстановлению дорожной сети были разделены на три этапа.

Первый этап состоял из аварийно-восстановительных работ на участках дорог, подвергшихся разрушению, с целью обеспечения проезда автотранспорта. Как подчеркивают дорожники, крайне важно было до наступления морозов отвести воду от земляного полотна, расчистить кюветы, водопропускные трубы, укрепить водотоки.

Второй этап – восстановление дорог до состояния, в котором они были перед паводком.

На третьем этапе запланированы работы по реконструкции и капитальному ремонту дорог (это долгосрочная программа, рассчитанная до конца 2016 г.).

На совещании о ходе ликвидации последствий наводнения 2013 г. на Дальнем Востоке, проведенном 22.05.14 г. в Бурейском районе Амурской области, Президент Российской Федерации В.В. Путин подчеркнул, что к маю 2014 г. восстановлено 929 км дорог, 162 моста. В текущем году предстоит восстановить еще 577 км дорог, 95 мостов.

Перед отраслью Президентом РФ была поставлена задача поиска способа быстро и качественно привести состояние автомобильных дорог к нормативному уровню [2–4].

Запасы природных ресурсов, таких как песок и щебень, конечны, а судя по опыту строительства автомобильной дороги федерального значения «Амур», они не всегда доступны. Следовательно, необходимо максимально экономно подходить к их использованию и поощрять вторичное использование материалов [5]. Таким образом, выбор технологии ремонта покрытия для указанной территории не случаен и поставленные задачи могут быть решены с применением технологии холодной/горячей регенерации дорожной одежды. Тем более что технология не нова для региона и активно применяется там с 2000-х гг.

Строительство первого этапа автодороги Чита – Хабаровск

Самый первый ресайклер на Дальнем Востоке фирмы Wirtgen начал работать в 1998 г. на участке в районе села Полтавка Приморского края, где по заказу краевого комитета дорожного хозяйства проводили стабилизацию основания дороги с последующим покрытием слоем материала износа. Работы проводили комплектом машин, обеспечивающих стабилизацию грунтов, — ресайклер WR 2500 и установка WM 400 для приготовления цементно-водной суспензии.

Регламент применения технологии холодного ресайклинга на Дальнем Востоке разрабатывали еще 10 лет назад в период строительства федеральной трассы «Амур» Чита – Хабаровск. Там работали два ресайклера, которые до сих пор эксплуатируются [6].

Как следствие, одним из первых случаев применения холодного ресайклинга были работы, выполненные в 2001–2005 гг. фирмами «Автобан» и «Илан-Л» (см. рисунок) с применением холодного ресайклинга со вспененным битумом при строительстве первого этапа автодороги Чита – Хабаровск на западе Амурской области (943-й – 979-й км от пос. Тахтамыгда до пос. Сковородино).

В условиях, когда необходимо в кратчайшие сроки отремонтировать многие километры дорог, технология ресайклинга становится незаменимой.

Не так давно состоялась рабочая поездка руководителя Федерального дорожного агентства Р.В. Старовойта с целью инспектирования автомобильных дорог в ДСФО, пострадавших в результате паводка. На совещании с представителями ФКУ ДСД «Дальний Восток» в Амурской области обсуждалась возможность применения метода ресайклинга на Дальнем Востоке. Одним из наиболее важных достоинств этой технологии является высокий уровень безопасности дорожного движения после восстановления дорожного покрытия.

Холодный ресайклинг заключается во фрезеровании старого дорожного покрытия, последующего смешивания на месте асфальтобетонной крошки или каменного материала (фрезажа) с вяжущим – битумной эмульсией, реже вспененным битумом или минеральными вяжущими с последующим холодным уплотнением слоя смеси. Не требуется разогревать старое покрытие до «голубого дымка», как это делалось по технологии горячей термофрезерной регенерации, что важно с точки зрения долговечности, экономии энергии и охраны окружающей среды.

Таким образом, исключена необходимость вывоза удаляемого материала старого покрытия и поставки свежей горячей асфальтобетонной смеси в значительном количестве (кроме устройства слоя износа из горячего асфальтобетона или при необходимости поверхностной обработки). За счет отказа от массовых перевозок производительность метода гораздо выше традиционной технологии.

В 2013 г. на базе лаборатории подрядной организации ООО «Стройдор» были успешно проведены исследования возможного применения ресайклинга на объектах ремонта автомобильной дороги «Подъезд к г. Благовещенску».

Новая транспортная сеть позволит ускорить экономическое развитие регионов за счет эффективного освоения местных природных ресурсов и в значительной степени будет способствовать установлению интеграционных связей России со странами АТР. [7].

В планах ФКУ ДСД «Дальний Восток» в 2014 г. привести в нормативное состояние 294 км трасс. При этом в большинстве случаев дорожниками будут использованы технологии «Слари-Силл» и битумоминеральной открытой смеси (БМО). Благодаря этому удастся предохранить магистрали от преждевременного разрушения за счет нанесения на существующие дороги специальных тонкослойных покрытий износа из смеси каменных материалов, эмульсии и цемента.

Модель ресайклера	Рабочая ширина, м	Рабочая глубина, мм	Мощность двигателя, кВт	Масса в работе, т
WR 2000	2	0–500	315	22,9
WR 2400	2,4	0–500	420	29
WR 2500 S	2,438	0–500	500	32
WR 2500 SK	2,438	0–500	500	36,5
WR 2200 CR	2,2	0–250	671	46,2
WR 4200	2,8–4,2	0–300	2×433	72

Также 24 км автомобильных дорог будет отремонтировано по технологии холодного ресайклинга [8].

Здесь, как и во всем мире, основная первоначальная задача – накопление базы данных по проведенным работам с целью выбора оптимальной технологии производства работ.

В Читинской области также есть участки с устройством тонкослойных покрытий из литой эмульсионно-минеральной смеси по методу «Сларри-Сил», есть участки выполненного капитального ремонта с усилением основания и заменой дорожной одежды. Для технологической операции усиления дорожных слоев основания использовали технологию холодного ресайклинга с применением комплекта машин ресайклера Wirtgen 2200 CR с суспензиатором WM 1000. На участках капитального ремонта были внедрены органоминеральные смеси.

В 2014 г. в Забайкалье, в районе села Новоборзинское планируется применить технологию холодного ресайклинга. На этой же дороге — три объекта с последующей поверхностной обработкой с применением литой эмульсионно-минеральной смеси [9].

В таблице представлены сравнительные характеристики моделей ресайклеров Wirtgen.

Например, дорогу в две полосы движения, каждая шириной 3,75 м, ресайклер WR 4200 может пройти в два прохода.

При средних условиях эксплуатации WR 4200 его рабочая скорость соответствует 9–12 м/мин или в среднем 10 м/мин. За 8 ч на такой скорости холодный ресайклер с шириной фрезерования 3,75 м способен выполнить работу на 2 км покрытия шириной 7,5 м. При вахтовой же смене (12 ч) протяженность подготовленного слоя дорожной одежды под укладку верхнего слоя может возрасти почти до 3,5 км.

Это не только удешевит, но и сократит общий срок ремонта дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием по этой технологии. Все применяемые в дорожном строительстве природные ресурсы конечны, и необходимо их сохранить в максимально возможной степени, минимизируя производство отходов, поощряя повторное их использование.

С применением технологий регенерации могут быть использованы различные вяжущие вещества, чаще всего (отдельно или в комплексе) битумные эмульсии, битум, цемент, гранулированные шлаки, известь.

При слаженной работе региональных властей и дорожных организаций в строительный сезон 2014 г. значительную часть дорог низших категорий можно привести к нормативному состоянию, что в условиях Дальнего Востока зачастую означает не только обеспечить транспортную доступность населенных пунктов, но и дать импульс к развитию территорий.

Список литературы

1. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. О причинах возникновения катастрофического паводка на р. Амур в 2013 г. / Официальный пресс-релиз от 10.09.2013. http://www.meteorf.ru/press/releases/4688/ (Дата обращения 12.06.2014).
2. МинТранс РФ: Заседание рабочей группы по восстановлению транспортной инфраструктуры ДФО http://mintrans.ru/news/detail.php?ELEMENT_ID=21274 (Дата обращения 12.06.2014).
3. Росавтодор: Совещание по вопросам восстановления транспортной инфраструктуры Дальнего Востока http://rosavtodor.ru/activity/157/387/7070.html (Дата обращения 12.06.2014).
4. Стенограмма. Совещание о ходе ликвидации последствий наводнения на Дальнем Востоке. http://www.kremlin.ru/transcripts/21068 (Дата обращения 12.06.2014).
5. Руденский А.В. Возможности энергосбережения при производстве и применении дорожно-строительных материалов // *Строительные материалы*. 2010. № 10. С. 16–18.
6. Меренкова Е. Российским дорогам — немецкое качество // *Направление – Дальний Восток*. 2013. № 10 (49) http://n-dv.info/magazineArticles/show/?id_magazine=36&id_magazineArticle=481 (Дата обращения 12.06.2014).
7. Карпенко О. Формирование опорной сети автомобильных дорог ДВФО — залог развития региона // *ДФОбзор*. 2013. № 12. С. 7. http://dfobzor.ru/formirovanie-opornoj-seti-avtomobilnyix-dorogdvfo.html (Дата обращения 12.06.2014)).
8. Росавтодор: информация пресс-службы ФКУ ДСД «Дальний Восток». http://rosavtodor.ru/activity/356/13290.html (Дата обращения 12.06.2014).
9. Широкая панорама «узкого» вопроса // *Автомобильные дороги*. 2013. № 10 (983). http://www.avtodorogi-magazine.ru/2013-10-10/magistral/panorama.html (Дата обращения 12.06.2014).
10. Потоцкий В. Стратегический ориентир – прикладная наука // *Направление – Дальний Восток*. 2013. № 4 (43). http://n-dv.info/magazineArticles/show/?id_magazine=30&id_magazineArticle=328 (Дата обращения 12.06.2014).

References

1. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Causes of a catastrophic flood occasion on the Amur river in 2013. Official press-release 10.09.2013. http://www.meteorf.ru/press/releases/4688/ (Date of application 12.06.2014). (In Russian).
2. MinTrans RF: Meeting of the operation group on the issues of the DFO transport infrastructure rehabilitation. http://mintrans.ru/news/detail.php?ELEMENT_ID=21274. (Date of application 12.06.2014). (In Russian).
3. Rosavtodor: Meeting on the issues of the DFO transport infrastructure rehabilitation. http://rosavtodor.ru/activity/157/387/7070.html. (Date of application 12.06.2014). (In Russian).
4. Verbatim report. Meeting on the issues of the progress works in the field of DFO transport infrastructure rehabilitation. http://www.kremlin.ru/transcripts/21068. (Date of application 12.06.2014). (In Russian).
5. Rudenskii A.V. Options for energy savings during the production and usage of road-construction materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 10, pp. 16–18. (In Russian).
6. Merenkova E. German quality for Russian roads. *Napravlenie – Dal'nii Vostok*. 2013. No. 10 (49). http://n-dv.info/magazineArticles/show/?id_magazine=36&id_magazineArticle=481 (Date of application 12.06.2014). (In Russian).
7. Karpenko O. Development of the road network in DVFO – key development point for the region. *DFObzor*. 2013. No. 12, pp. 7. http://dfobzor.ru/formirovanie-opornoj-seti-avtomobilnyix-dorogdvfo.html (Date of application 12.06.2014). (In Russian).
8. Rosavtodor: information of the press relations service of FKU DSD «Far East» http://rosavtodor.ru/activity/356/13290.html (Date of application 12.06.2014). (In Russian).
9. Wide panorama of the «narrow» issue. *Avtomobil'nye dorogi*. 2013. No. 10 (983) http://www.avtodorogi-magazine.ru/2013-10-10/magistral/panorama.html (Date of application 12.06.2014). (In Russian).
10. Pototskii V. Strategic benchmark – applied science. *Napravlenie – Dal'nii Vostok*. 2013. No. 4 (43). http://n-dv.info/magazineArticles/show/?id_magazine=30&id_magazineArticle=328 (Date of application 12.06.2014). (In Russian).

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

19. ibausil
16–18.09.2015
Weimar

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;
- Бетоны и долговечность бетонов;
- Стеновые строительные материала / содержание сооружений / переработка материалов.

Официальные языки конференции – немецкий, английский

Заявки об участии с докладами в конгресс принимаются до 1 ноября 2014 г.
Подробности Вы найдете на сайте: www.ibausil.de

www.ibausil.de www.ibausil.de www.ibausil.de www.ibausil.de

К 100-летию Александра Матвеевича Иванова (1914–1999)

Более пятидесяти лет (с 1947 по 1999 г.) в Воронежском государственном архитектурно-строительном университете трудился крупнейший ученый в области строительных конструкций доктор технических наук, профессор Александр Матвеевич Иванов.

Александр Матвеевич родился 22 июня 1914 г. в Удмуртии в семье кузнеца. В 1932 г. закончил Сарапульский лесной индустриальный техникум и три года работал техником-лесоустроителем. В 1935 г. поступил в Московский горный институт и после трех курсов обучения перевелся в Военно-инженерную краснознаменную академию им. В.В. Куйбышева. После окончания с отличием фортификационно-строительного факультета был направлен в Прибалтийский военный округ для возведения в приграничных областях фортификационных сооружений.

С первых дней Великой Отечественной войны А.М. Иванов как один из руководящих сотрудников строительного управления Северо-Западного фронта в условиях каждодневных бомбардировок и постоянного артобстрела обустраивал позиции частей, возводил фортификационные сооружения. С улучшением обстановки на этом участке А.М. Иванова в конце 1942 г. перевели на Карельский фронт и назначили дивизионным инженером 45-й Стрелковой дивизии, которой суждено было воевать с гитлеровцами в Карелии, а также на Кольском полуострове и освобождать Норвегию от фашистской оккупации. После безоговорочной капитуляции Германии подполковник А.М. Иванов в должности заместителя начальника оперативного отдела штаба инженерных войск Первого Дальневосточного фронта участвовал в разгроме японских милитаристов в Маньчжурии. Родина высоко оценила ратный труд воина-инженера-строителя, наградив его орденами Красного Знамени, Отечественной войны II степени и десятью боевыми медалями.

В 1947 г. Александр Матвеевич направлен на педагогическую работу старшим преподавателем военной кафедры Воронежского инженерно-строительного института. В 1952 г. под руководством Г.Г. Карлсена он защитил кандидатскую диссертацию в Московском инженерно-строительном институте (МИСИ) на тему: «Упругое последействие воздушно-сухой древесины сосны при сжатии, растяжении, изгибе и скалывании». В 1954 г. Александра Матвеевича избрали деканом строительного факультета. А.М. Иванов запомнился студентам и сотрудникам неиссякаемым задором и огромным желанием сделать все, чтобы усовершенствовать учебный процесс, воодушевляя студентов на работу, творчество, требуя от молодых людей полной самоотдачи и по-отечески заботясь об их быте и здоровье.

Сочетая большую учебно-методическую и воспитательную работу, Александр Матвеевич продолжал научные исследования, которые легли в основу докторской диссертации «Ползучесть древесины», защищенной им в МИСИ в 1960 г. В это же время Александр Матвеевич возглавил созданную им кафедру «Конструкции из дерева и пластмасс», которой бессменно руководил более двадцати лет. За крупный вклад в педагогическую и научную деятельность А.М. Иванов в 1961 г. получил правительственную награду – орден «Знак Почета».

А.М. Иванов вошел в мир науки как крупный специалист в области деревянных конструкций. Его докторская диссертация посвящалась разработке новых методов расчета деревянных элементов с учетом фактора времени, т. е. ползучести. Им были обоснованы и созданы универсальные модели, получившие название структурных диаграмм, в которых заложены вероятностные основы оценки свойств материалов. Чтобы полнее понять подлинную научно-инженерную ценность структурных диаграмм, отметим, что до Александра Матвеевича влияние времени при расчете материалов и конструкций учитывали на основе механических моделей Гука, Ньютона, Фойгта, Кельвина, Максвелла и др., что позволяло оценивать ползучесть или длительную деформативность скорее идеальных элементов. Что же касается реальных, то дальше приближенных допущений дело не шло. И это связано с тем, что реальные материалы и конструкции намного сложнее используемых механических моделей и отличаются полиструктурностью, оценить которую в полной мере невозможно. Тщательно проанализировав действие всех этих моделей, Александр Матвеевич Иванов отказался от них и сформулировал принципиально новый подход. Он создал структурную модель, или структурную диаграмму, которая по форме напоминала левую, восходящую ветвь кривой распределения и учитывала вероятную возможность распределения деформационных и прочностных свойств материалов и конструкций в зависимости от количества случаев. При помощи этих структурных диаграмм и опираясь на экспериментальные данные, удается не только проанализировать ползучесть или длительную деформативность элементов, но и предсказать срок их безопасной службы с большой точностью и вероятностью. Прежде этого никто не делал!

Человек неиссякаемой энергии, деятельный и неутомимый, Александр Матвеевич Иванов с начала 1960-х гг. исследовал и разрабатывал оригинальные методики расчета конструкций не только из дерева, но и из разных пластических масс. Древесно-волокнистые, древесно-стружечные и древесно-слоистые плиты, стеклопластики и другие слоистые пластики, полимерные бетоны – вот далеко не полный перечень его исследований.

Александр Матвеевич помимо оригинальных творческих разработок и исследований подготовил плеяду специалистов высшей квалификации: 4 доктора и 26 кандидатов технических наук. Его научная школа известна не только в России, но и во всем мире. Она знаменита тем, что находится на передовом рубеже создания и исследования эффективных, не имеющих аналогов строительных композитов и конструкций с комплексом заданных свойств и разработки оригинальных, получивших широкое применение методов расчета указанных конструкций. Александр Матвеевич и его научная школа известны практической целенаправленностью. Во многих отраслях народного хозяйства получили внедрение разработки его учеников. Эти разработки доказали перспективу эффективного использования композитов и композиционных конструкций при эксплуатации их в агрессивных средах. Богатый опыт научных разработок и исследований, а также учебно-методической работы отражен в четырех учебниках по строительным конструкциям из дерева и пластмасс, 12 монографиях по эффективным композитам и композиционным конструкциям. Кроме того, опубликовано более 600 печатных работ и зарегистрировано около 100 изобретений.

Профессор А.М. Иванов – организатор и участник международных, всесоюзных и российских совещаний, конференций, симпозиумов и конгрессов. В течение многих лет он был членом головного Совета по строительству и членом Учебно-методического совета по строительству и архитектуре Министерства высшего и среднего образования РСФСР, научным редактором межвузовского сборника трудов «Разработка, исследование и применение полимерных материалов в строительных конструкциях».

Его заслуги в научных исследованиях по достоинству оценены и на мировом уровне. Помимо наград Советского Союза за выдающиеся научные достижения в разработке, исследовании и внедрении сталеполимербетонных конструкций в народное хозяйство, Александр Матвеевич на Московском международном конгрессе в 1992 г. награжден «Дипломом чести» Интернационального комитета по применению полимеров в бетоне, что является высшим сертификатом международного научного уровня.

Замечательные человеческие качества – подлинная культура, широкая эрудиция, работоспособность, мудрость, принципиальность, честность, добропорядочность и душевная щедрость снискали ему большое уважение в научных кругах. До последних дней жизни Александр Матвеевич трудился в коллективе созданной им кафедры, прививая студентам, аспирантам и преподавателям любовь к профессии строителя, вкус к научной деятельности, передавая им свои глубокие знания, жизненный опыт и патриотические чувства к Родине. Его не стало 6 мая 1999 г.

Светлая память об Александре Матвеевиче Иванове, человеке с большой буквы, навсегда останется в сердцах коллег и учеников!

УДК 624.012

Б.А. БОНДАРЕВ[1], д-р техн. наук, А.Б. БОНДАРЕВ[2], канд. техн. наук,
Р.Ю. САПРЫКИН[1], инженер, Ф.Н. КОРВЯКОВ[1], инженер

[1] Липецкий государственный технический университет (398600, г. Липецк, ул. Московская, 30)
[2] ООО «ЛипецкНИЦстройпроект» (398002, г. Липецк, ул. Балмочных, 15)

Метод структурных диаграмм и виброползучесть полимерных композиционных материалов

Показано, что в развитии деформаций виброползучести в материалах при циклических нагружениях, можно выделить три стадии: неустановившуюся, установившуюся и ускоренную (лавинную). В зависимости от уровня нагружения и коэффициента асимметрии цикла развитие деформаций виброползучести может протекать различно. Сделаны выводы о возможности использования структурных диаграмм материала для анализа сопротивляемости полимербетона длительным статическим нагрузкам, а также о возможности построения структурных диаграмм по результатам циклических испытаний; определено, что виброползучесть полимербетонных элементов при циклическом сжатии подчиняется общим законам теории ползучести вязкоупругих тел.

Ключевые слова: виброползучесть, структурные диаграммы, полимерные композиционные материалы, полимербетон, статические нагрузки, циклические нагрузки.

B.A. BONDAREV[1], Doctor of Sciences (Engineering), A.B. BONDAREV[2], Candidate of Sciences (Engineering),
R.Yu. SAPRYKIN[1], Engineer, F.N. KORVYAKOV[1], Engineer
[1] Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya Street, 398600, Lipetsk, Russian Federation)
[2] OOO "LipetskNITSstroyproekt" (15, Balmochnykh Street, 398002, Lipetsk, Russian Federation)

Method of Structural Diagrams and Vibrocreep of Polymeric Composite Materials

It is shown that in the course of development of vibrocreep deformations which develop in materials under cyclic loadings it is possible to mark out three stages: transient, steady-state and accelerated (avalanche). Depending on the loading level and coefficient of cycle asymmetry the development of vibrocreep deformations may be different. It is concluded about possibility to use the structural diagrams of a material for analyzing the resistance of polymer concrete to long-term static loads as well as about the possibility to construct structural diagrams according to the results of cyclic tests; it is determined that the vibrocreep of polymer concrete elements under the cyclic compression follows the general laws of the theory of viscoelastic bodies creep.

Keywords: vibrocreep, structural diagrams, polymeric composite materials, polymer concrete, static loads, cyclic loads.

Важной характеристикой работоспособности циклически нагруженных полимерных строительных элементов являются деформации виброползучести, развивающиеся в материале при нагрузках цикла, отличных от нуля. Графическим отражением деформаций при асимметричном циклическом загружении являются кривые виброползучести. Каждая точка кривых деформаций виброползучести определяется как среднее значение показателей двух датчиков, расположенных на противоположных гранях призм. Датчик имеет размеры 100×100×400 мм и выполнен из полимербетона на полиэфирной смоле ПН-609-21М следующего состава: смола ПН-609-21М – 9%; щебень – 52%; песок – 28%; андезитовая мука – 11%; нафтенат кобальта – 8% (от массы смолы); гипериз – 4% (от массы смолы).

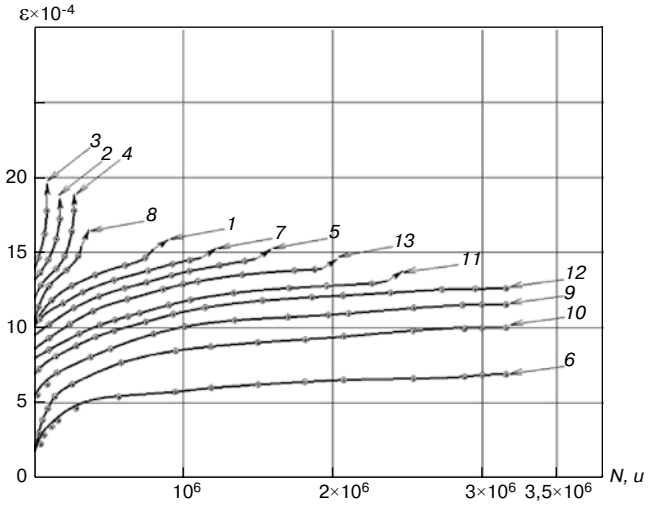


Рис. 1. Кривые виброползучести сжатых полимерных элементов при ρ=0,1 и уровнях нагружения: *1* – 0,46 R_b; *2* – 0,6 R_b; *3* – 0,66 R_b; *4* – 0,5 R_b; *5* – 0,4 R_b; *6* – 0,38 R_b; *7* – 0,44 R_b; *8* – 0,48 R_b; *9* – 0,32 R_b; *10* – 0,3 R_b; *11* – 0,31 R_b; *12* – 0,31 R_b; *13* – 0,28 R_b

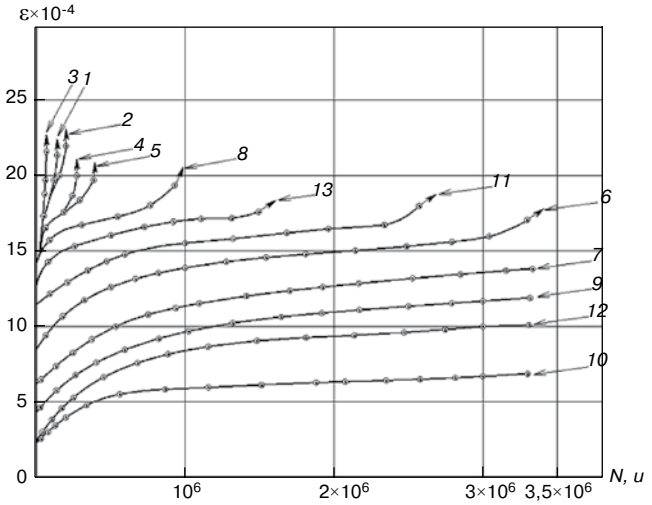


Рис. 2. Кривые виброползучести сжатых полимерных элементов при ρ=0,3 и уровнях нагружения: *1* – 0,65 R_b; *2* – 0,62*Rb*; *3* – 0,68 R_b; *4* – 0,5 R_b; *5* – 0,48 R_b; *6* – 0,38 R_b; *7* – 0,47 R_b; *8* – 0,47 R_b; *9* – 0,36 R_b; *10* – 0,32 R_b; *11* – 0,4 R_b; *12* – 0,34 R_b; *13* – 0,42 R_b

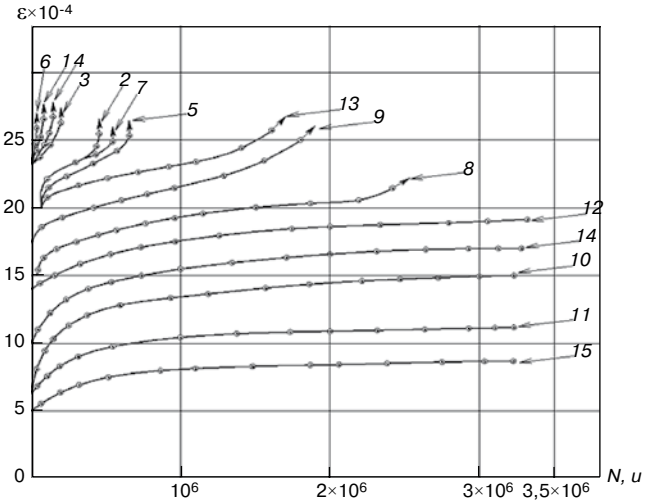


Рис. 3. Кривые виброползучести сжатых полимерных элементов при ρ=0,6 и уровнях нагружения: *1* – 0,65 R_b; *2* – 0,56 R_b; *3* – 0,58 R_b; *4* – 0,6 R_b; *5* – 0,54Rb; *6* – 0,7 R_b; *7* – 0,52 R_b; *8* – 0,51 R_b; *9* – 0,48 R_b; *10* – 0,42 R_b; *11* – 0,4 R_b; *12* – 0,45 R_b; *13* – 0,5 R_b; *14* – 0,44 R_b; *15* – 0,38 R_b

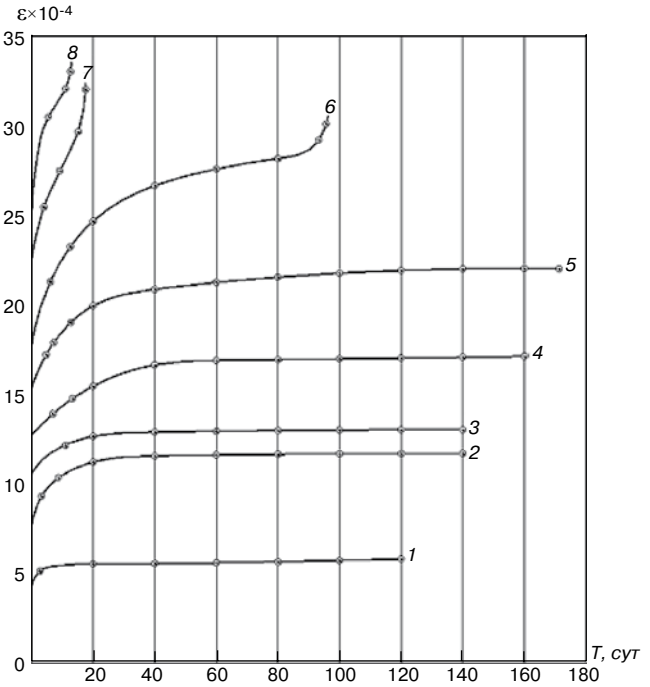


Рис. 4. Кривые ползучести полимербетона ПН-609-21М при сжатии: *1* – 0,28 R_b; *2* – 0,32 R_b; *3* – 0,36 R_b; *4* – 0,4 R_b; *5* – 0,44 R_b; *6* – 0,48 R_b; *7* – 0,55 R_b; 8 – 0,6 R_b

При развитии деформации виброползучести можно выделить три стадии: неустановившуюся, установившуюся и ускоренную (лавинную). В соответствии с этой классификацией первая стадия виброползучести характеризуется монотонным уменьшением скорости деформации. За ней следует стадия, в течение которой проявляется линейная зависимость деформаций от количества циклов нагружения. При этом скорость деформации остается практически постоянной и зависит от уровня нагружения. Третья стадия виброползучести характеризуется непрерывно нарастающей скоростью деформации, приводящей к разрушению материала элемента конструкции.

В зависимости от уровня нагружения и коэффициента асимметрии цикла развитие деформаций виброползучести может протекать различно. На стадии неустановившихся деформаций виброползучести в зависимости от соотношения скоростей деформирования и

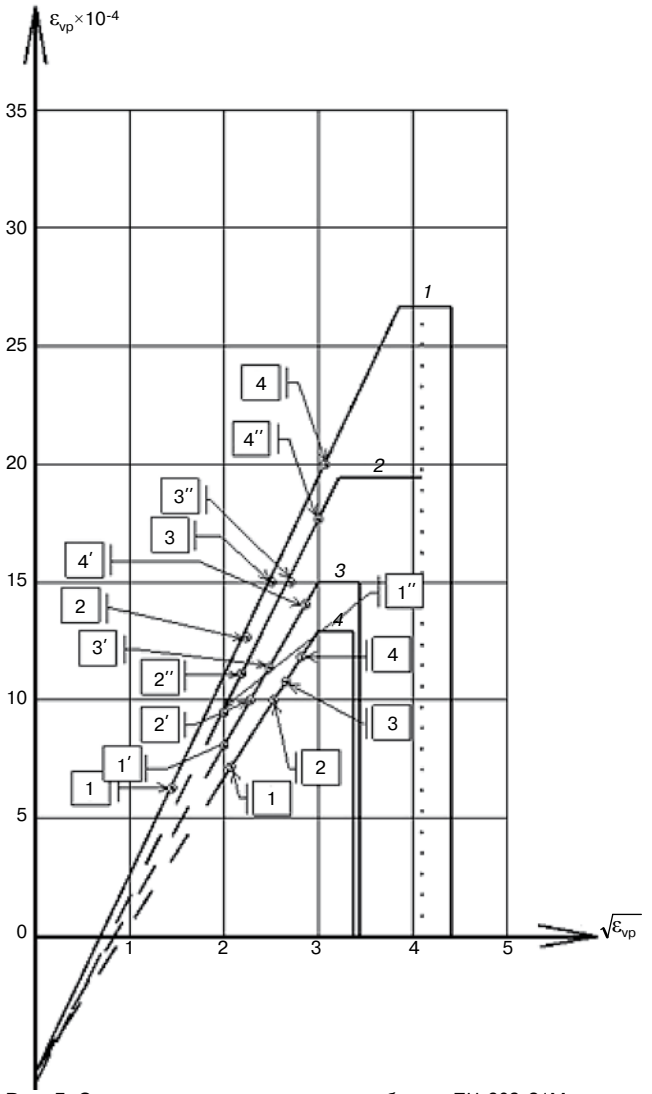


Рис. 5. Структурные диаграммы полимербетона ПН-609-21М при различных режимах нагружения: *1* – статическая нагрузка при ρ=1; *2* – циклическое нагружение при ρ=0,6; *3* – циклическое нагружение при ρ=0,3; *4* – циклическое нагружение при ρ=0,1

релаксации напряжений деформации могут носить нарастающий, установившийся или затухающий характер. Так, в совокупности, при $\frac{\sigma_{max}}{R_b}$=0,66; 0,6; 0,5 локальные напряжения, вызванные неоднородностью структуры полимербетонов, не успевают отрелаксировать за цикл нагрузка-разгрузка и с остаточными, превышают прочность структурных связей.

Деформации виброползучести постоянно нарастают, и разрушение происходит на этой стадии.

При уровнях нагружения 0,46 R_b; 0,44 R_b и 0,4 R_b между процессами деформации релаксации напряжений к концу первой стадии устанавливается динамическое равновесие, что связано с концентрацией субмикротрещин в объеме материала конструкций (рис. 1).

При уровнях нагружения 0,32 R_b; 0,3 R_b релаксационные процессы на установившейся стадии могут снизить локальные перенапряжения до такого уровня, при котором разрыв структурных связей станет маловероятным. Деформации виброползучести носят затухающий характер, в дальнейшем стабилизируются, и циклическая долговечность, характеризуемая количеством циклов, стремится к бесконечности. В связи с этим деформации виброползучести служат индикатором повреждаемости материала и используются при оценке выносливости полимербетона при сжатии.

Таблица 1

Статическая нагрузка

№ пп	σ_0, МПа	$\frac{\sigma_0}{R_b}$	$\varepsilon_0 \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon_n \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot \varepsilon_n$	$\sqrt{\varepsilon_n}$	$(\varepsilon+C)^2$	$\frac{(\varepsilon+C)^2}{2 \cdot \varepsilon_n}$
П-1	31,2	0,44	3,75	6	2,25	4,5	1,5	169	37,55
П-2	28,4	0,4	7,94	13	5,06	10,12	2,25	400	39,506
П-3	24,1	0,34	8,75	15	6,25	12,5	2,5	484	39,72
П-4	22,7	0,32	10,39	20	9,61	19,22	3,1	729	37,92
П-5	19,9	0,28	12,04	25	12,96	25,92	3,6	1024	39,506

Таблица 2

Циклическое загружение при ρ=0,1

№ пп	σ_0, МПа	$\frac{\sigma_0}{R_b}$	$\varepsilon_0 \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon_{vp} \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot \varepsilon_{vp}$	$\sqrt{\varepsilon_{vp}}$	$(\varepsilon+C)^2$	$\frac{(\varepsilon+C)^2}{2 \cdot \varepsilon_n}$
П-1-7	19,88	0,28	2,94	8	5,06	10,12	2,25	225	22,22
П-1-12	21,3	0,3	3,24	10	6,66	13,32	2,58	289	21,71
П-1-10	22,72	0,32	3,61	11	7,39	14,79	2,72	324	21,91
П-1-15	24,14	0,34	3,93	12	8,07	16,14	2,84	361	22,38
C=7; $l''_{ср}$=22,05; $(\sqrt{\varepsilon_{vp}})_{max}$=3,32									

Таблица 3

Циклическое загружение при ρ=0,3

№ пп	σ_0, МПа	$\frac{\sigma_0}{R_b}$	$\varepsilon_0 \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon_{vp} \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot \varepsilon_{vp}$	$\sqrt{\varepsilon_{vp}}$	$(\varepsilon+C)^2$	$\frac{(\varepsilon+C)^2}{2 \cdot \varepsilon_n}$
П-3-14	24,14	0,34	4,85	10	5,15	10,3	2,27	256	24,84
П-3-11	25,56	0,36	5,34	12	6,66	13,32	2,58	324	24,34
П-3-12	22,72	0,32	4	8	4	8	2	196	24
П-3-9	28,4	0,4	5,88	14	8,12	16,24	2,85	400	24,62
C=6; $l''_{ср}$=24,45; $(\sqrt{\varepsilon_{vp}})_{max}$=3,49									

Таблица 4

Циклическое загружение при ρ=0,6

№ пп	σ_0, МПа	$\frac{\sigma_0}{R_b}$	$\varepsilon_0 \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$	$\varepsilon_{vp} \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot \varepsilon_{vp}$	$\sqrt{\varepsilon_{vp}}$	$(\varepsilon+C)^2$	$\frac{(\varepsilon+C)^2}{2 \cdot \varepsilon_n}$
П-6-16	26,98	0,38	5	9	4	8	2,07	272,3	34,03
П-6-11	28,4	0,4	5,94	11	5,06	10,12	2,25	342,3	33,9
П-6-10	29,82	0,42	7,44	15	7,56	15,12	2,75	506,3	33,47
П-6-15	31,95	0,45	8,29	17	8,71	17,42	2,95	600,3	34,49
C=7,5; $l''_{ср}$=33,59; $(\sqrt{\varepsilon_{vp}})_{max}$=4,12									

На рис. 2, 3 приведены кривые виброползучести полимербетонных элементов при сжатии с характеристиками амплитуды напряжений 0,1; 0,35; 0,6 и при статической ползучести ρ=1.

Во всех случаях кривые виброползучести располагаются ниже кривых статической ползучести, т. е. наблюдается аналогия с пределом выносливости, величина которого не превышает длительного сопротивления материала, а коэффициент длительности полимерных композиционных материалов (ПКМ) (отношение длительной прочности ПКМ к пределу прочности $k_{b,inf}=\frac{R_{b,inf}}{R_b}$) определяется на основе обмера структурной диаграммы материала, впервые предложенной А.М. Ивановым.

Структурная диаграмма отражает неоднородность строения материала в отношении механических свойств составляющих его элементарных частиц (Иванов А.М., Алгазинов К.Я., Мартинец Д.В. Строительные конструкции из полимерных материалов. М.: Высшая школа, 1978. 239 с.). Она получается на основе длительных испытаний на ползучесть под действием постоянных нагрузок нескольких образцов. С помощью структурной диаграммы можно оценить конечные результаты ползучести полимерных материалов; получить аналитические выражения для кривой длительного сопротивления; определить закономерности предварительного напряжения в армированных пластиках; решить еще ряд задач, в том числе и сопротивляемости полимербетонов многократному воздействию нагрузок.

В связи с этим напрашивается решение о применении метода А.М. Иванова для построения структурных диаграмм, но уже по результатам циклических испытаний ПКМ по кривым виброползучести. В табл. 1–4 приведены исходные данные для построения таких структурных диаграмм, а на рис. 4 показаны структурные диаграммы при различных условиях загружения, из которых видно, что во всех случаях наблюдается то же

явление, что и при построении кривых виброползучести, т. е. интегральные кривые распределения частиц по длительным прочностям располагаются строго друг под другом начиная с ρ=1; ρ=0,6; ρ=0,3; ρ=0,1.

На рис. 1–4 приведены графики кривых виброползучести и статической ползучести. Аналогия кривых ползучести при статическом и циклическом загружении дает возможность считать, что механизм разрушения в обоих случаях имеет общую физико-механическую природу (Иванов А.М., Левченко П.Г., Анализ циклического однозначного загружения с помощью структурной диаграммы материала. Сталеполимербетонные конструкции. Труды ВИСИ. Воронеж: ВГУ, 1970. Вып. 1. С. 45–47). Этот вывод может быть сделан на основе следующих положений:

– законы долговечности при многократной и длительной нагрузке подобны. Долговечность большинства полимерных материалов при длительной нагрузке описывается экспоненциальной зависимостью. Этой же зависимостью описывается и долговечность полимербетонов. Уравнения выносливости также могут быть представлены в экспоненциальном виде;

– выдержки материалов как при длительной, так и при циклической нагрузке сопровождаются развитием микротрещин.

Выводы

1. Структурные диаграммы материала возможны для использования и анализа сопротивляемости полимербетона длительным статическим нагрузкам.

2. Виброползучесть полимербетонных элементов при циклическом сжатии подчиняется общим законам теории ползучести вязкоупругих тел.

3. По результатам циклических испытаний возможно построение структурных диаграмм.

ЭКСПОЦЕНТР
МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНГРЕССЫ
МОСКВА
5 лет

МИР СТЕКЛА

XVI Международная выставка «Мир стекла–2014»

Крупным событием для стекольной промышленности стала XVI Международная выставка стеклопродукции, технологий и оборудования для изготовления и обработки стекла – «Мир стекла–2014», проходившая с 4 по 6 июня 2014 г. в ЦВК «Экспоцентр».

В этом году проект был реализован Экспоцентром совместно с новым партнером – Национальным объединенным советом предприятий стекольной промышленности «СтеклоСоюз». Экспоцентр и главный союз отрасли объединили усилия, цель которых выставочными способами помогать развитию стекольной отрасли России. Смотр проходил под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ.

Экспозиция этого года охватила весь спектр производства стекла, продемонстрировав необыкновенные возможности этого материала. На выставочной площади более 5 тыс. м^2 (нетто) 221 компания из 22 стран мира, в том числе 79 отечественных экспонентов, представила передовые идеи и технологии в стекольной промышленности.

В выставке приняли участие известные зарубежные и отечественные компании: Von Ardenne, Bottero, Sisecam, RHI Glas GmbH, Lahti Precision OY, GLASTON, BDF Industries SPA, Italcarrelli, Landglass Technology, Saint-Gobain Sefpro, Домановский производственно-торговый комбинат, Zippe, «Салаватстекло», «Саратовстройстекло», КАМИ, «Юта», «Меран», «Адэм», «Бринолли», «РуСайл» и многие другие.

Италия организовала национальную экспозицию с участием 30 фирм, в том числе, Alu Pro s.r.l., Antonini s.r.l., Bottero s.p.a., Gimav-Italian Association of Glass Processing Machinery and Accessory Suppliers, Ocmi-Otg s.p.a. и др.

Целый ряд ведущих игроков на рынке представили свои последние новинки и разработки впервые именно в рамках «Мир стекла».

Ассоциация КАМИ представила новейшие технологии от ведущего мирового производителя оборудования для стеклообработки – итальянской компании Bottero. Станки Bottero предназначены для шлифовки фасок стекла после раскроя, улучшения качества при производстве стеклопакетов и дальнейшей термической обработки.

В рамках специальной экспозиции салона ArtGlass посетители смогли увидеть разнообразные и необычные возможности стекла, самые неожиданные творческие идеи в области декорирования интерьера. Известные художники по витражам, росписи стекла, фьюзингу, лемпворку представили свои работы и продемонстрировали разнообразные техники работы с художественным стек-лом. Мастера, использующие в работе также разные породы дерева, медь и бронзу, ArtStudio MalinoDesign представили авторские предметы интерьера и декора, оригинальные предметы мебели, нестандартные светильники для дома и сада и многое другое.

Насыщенная деловая программа выставки позволила участникам обсудить и принять решения о перспективных векторах развития отрасли.

Ключевым мероприятием деловой программы выставки «Мир стекла–2014» стал международный форум «Стекло и современные технологии–XXI».

В рамках форума также состоялся круглый стол «Основные тенденции в сфере производства и потребления контрафактной продукции в стекольной отрасли».

Выставку «Мир стекла–2014» посетили 6780 человек, 94% из которых отраслевые специалисты.

Следующая XVII Международная выставка «Мир стекла–2015» пройдет с 8 по 11 июня 2015 г. в ЦВК «Экспоцентр».

По материалам пресс-службы ЗАО «Экспоцентр»

УДК 624.012

Б.А. БОНДАРЕВ[1], д-р техн. наук, А.Б. БОНДАРЕВ[2], канд. техн. наук, Р.Ю. САПРЫКИН[1], инженер, Ф.Н. КОРВЯКОВ[1], инженер, В.И. ХАРЧЕВНИКОВ[3], д-р техн. наук
[1] Липецкий государственный технический университет (398600, г. Липецк, ул. Московская, 30)
[2] ООО «ЛипецкНИЦстройпроект» (398002, г. Липецк, ул. Балмочных, 15)
[3] Воронежская государственная лесотехническая академия (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8.)

Прогнозирование циклической долговечности железнодорожных шпал из древесно-стекловолокнистого композиционного материала

Приведены наиболее характерные дефекты и повреждения деревянных и железобетонных шпал. Разработан комплексный подход к решению проблемы надежности и работоспособности элементов конструкций железнодорожных шпал, включающий анализ состояния материала железнодорожных шпал; определение параметров, расположения и размеров дефектов в материале конструкций. Предложены методы устранения причин возможных дефектов в конструкции шпалы из древесно-стекловолокнистого композиционного материала. На основе экспериментальных исследований получены значения коэффициентов условий работы исследуемых полимерных композиционных материалов при различных коэффициентах асимметрии циклов приложения нагрузок.

Ключевые слова: долговечность, древесно-стекловолокнистый композиционный материал, полимерные композиционные материалы.

B.A. BONDAREV[1], Doctor of Sciences (Engineering), A.B. BONDAREV[2], Candidate of Sciences (Engineering), R.Yu. SAPRYKIN[1], Engineer, F.N. KORVYAKOV[1], Engineer, V.I. KHARCHEVNIKOV[3], Doctor of Sciences (Engineering)
[1] Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya Street, 398600, Lipetsk, Russian Federation)
[2] OOO "LipetskNITSstroyproekt" (15, Balmochnykh Street, 398002, Lipetsk, Russian Federation)
[3] Voronezh State Forestry Engineering Academy (8, Timiryazeva Street, 394087, Voronezh, Russian Federation)

Forecasting the Cyclic Durability of Railway Sleepers Made of Timber-Glass-Fibre Composite Material

The most typical defects and damages of wooden and reinforced concrete sleepers are presented. The complex approach to the solution of the problem of reliability and workability of elements of railway sleeper designs has been developed. This approach includes the analysis of conditions of railway sleeper materials, determination of parameters, location and sizes of defects in the materials of the design has been developed. Methods for elimination of reasons for possible defects in the design of a railway sleeper made of timber-glass-fibre composite material are proposed. On the basis of experimental studies the values of coefficients of operational conditions of studied polymeric composite materials at different coefficients of asymmetry of cycles of load application have been obtained.

Keywords: durability, timber-glass-fibre composite material, polymeric composite materials.

Результаты технических обследований элементов конструкций верхних строений пути железных дорог показывают, что наиболее характерными дефектами и повреждениями деревянных и железобетонных шпал являются дефекты, приведенные в табл. 1.

Комплексный подход к решению проблемы надежности и работоспособности элементов конструкций железнодорожных шпал включает в себя следующие положения:

– анализ состояния материала железнодорожных шпал;

– определение параметров, расположения и размеров дефектов в материале конструкций.

На рис. 1 приведен алгоритм определения параметров безопасной эксплуатации исследуемых конструкций с разделением на несколько этапов.

На первом этапе выявляются опасные производственные факторы, оказывающие влияние на материал конструкций, а также устанавливаются недостатки традиционных конструкций деревянных и железобетонных шпал.

Деревянные шпалы из высокосортного леса в возрасте 80–100 лет фактически потеряли сырьевую базу в России из-за варварского уничтожения. Использование железобетонных шпал в конструкциях верхнего строения пути железных дорог хотя и решает в какой-то мере проблему дефицита первых, но ведет к большим экономическим потерям, которые складываются из физико-технических и механических недостатков железобетона – большой массы, хрупкости, ограниченной коррозийной стойкости и, главное, жесткости, приводящей к разрушению ходовой части подвижного состава, появлению профессиональных заболеваний.

Кроме того, для железобетонных шпал, работающих в условиях блуждающих токов, существует опасность электрокоррозии. Поэтому наряду с непрерывными

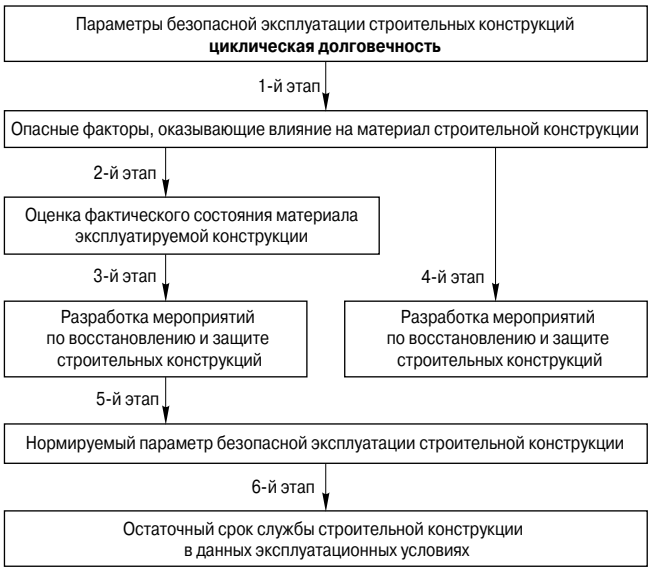


Рис. 1. Основные принципы обеспечения безопасности эксплуатируемых элементов конструкций транспортных сооружений

Таблица 1

№ п/п	Дефекты и повреждения железнодорожных шпал	Причина
	Железобетонные шпалы	
1	Поперечные трещины в подрельсовой части шпалы, в том числе проходящие через отверстия для закладных болтов или через деревянные дюбели, а также поперечный излом шпалы в подрельсовой части с разрушением бетона в сжатой зоне с разрывом арматуры	Повышенные ударно-динамические воздействия подвижного состава, недонапряжение арматуры, смещение ее вверх, низкая прочность бетона
2	Поперечные трещины в средней части шпалы и ее излом по этим трещинам с разрушением бетона в сжатой зоне, а также в местах возможной концентрации напряжений с изломом в растянутой зоне	Неправильное опирание шпалы на балласт: – опирание серединой при отрясенных концах; – совершенно свободная от опирания на балласт середина шпалы на большой длине; – наличие мест с резким изменением размеров поперечного сечения
3	Разрушение бетона на отдельные составляющие под действием атмосферных факторов; продольные трещины с торца или в середине шпалы, идущие в плоскости рядов проволок арматуры	Плохое качество бетона, брак при предварительном напряжении арматуры, нарушение технологии бетонирования и тепловлажностной обработки бетона
4	Износ и повреждение закладных деталей: для дюбелей это износ и смятие древесины вокруг отверстия для шурупа, ослабление заделки дюбеля в бетоне из-за усыхания или растрескивания; для закладных шайб – износ и коррозия, скол рабочей кромки бетона, удерживающей закладной болт от повреждения	Воздействие вертикальных и боковых динамических нагрузок, атмосферных факторов, электрического тока и др.
	Деревянные шпалы и брусья	
5	Гниение пропитанных шпал и брусьев в верхней их трети, которая обнаруживается после 5–6 лет службы в пути	Повреждение пропитанной поверхности шпал и брусьев в результате появления трещин усушки
6	Гниение шпал и брусьев в нижней постели	Появление трещин из-за превышения предела прочности при изгибе в местах зачистки заусенцев, неправильной подбивки балласта
7	Гниение шпал и брусьев при вдавливании прокладок в их тело (отлупные трещины, смятие и истирание)	Плохая прочность древесины на смятие и истирание (износ)
8	Разрушение шпал и брусьев в растянутых зонах подрельсовой или средней частях шпал и брусьев	Укладка неодинаковых по толщине шпал и брусьев приводит к перегрузке более толстых шпал и брусьев, в дальнейшем к их преждевременному износу

Таблица 2

№ п/п	Компоненты ДСВКМ	Состав		Содержание компонентов, кг	
		м. ч.	% по массе	в изделии	в 1 м^3
1	Фурфурол-ацетоновый мономер (ФАМ)	6,5	20,97	31,5	254
2	Бензосульфокислота (БСК)	1,5	4,84	7	56
3	Замедлитель реакции кристаллизации (ЗРК)	0,2	0,65	1	8
4	Песок (П)	12,5	40,32	60,5	488
5	Андезитовая мука (АМ)	3,8	12,26	18,5	149
6	Графитовая электродная мука (ГЭ)	0,9	2,9	4	32
7	Хлорид свинца (ХС)	1	3,23	5	40
8	Стекловолокно (СВ)	0,1	0,32	0,5	4
9	Щепа (Щ)	4,5	14,52	22	177
	Итого	31	100	150	1208

изысканиями способов повышения срока службы деревянных шпал ведутся исследования по созданию новых более долговечных и экономичных материалов, способных заменить древесину и железобетон. Оценка фактического состояния материала железобетонных шпал производится на основе диагностического обследования элементов конструкций верхнего строения пути железной дороги. На четвертом этапе исследований производится разработка мероприятий по восстановлению и защите конструкций или их замене на более современные материалы.

Одним из таких материалов является древесноволокнистый композиционный материал (ДСВКМ), получаемый на основе отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности. Так, только в Липецкой области ежегодное количество отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности составляет более 65 тыс. м^3. Они могут использоваться как в качестве армирующего заполнителя ДСВКМ, так и для производства фурфурола, получаемого методом каталитического пиролиза древесины. Поликонденсация фурфурола с ацетоном позволяет получить фурановую смолу ФАМ, которая является вяжущим веществом химически стойких конструкционных и футеровочных материалов – полимербетонов (ПБ), растворов и мастик (Харчевников В.И. Композиционный материал на основе отхо-

Таблица 3

№ п/п	Метод устранения причин возможных дефектов в конструкции шпалы из ДСВКМ (см. табл. 1)
1	Ударно-динамическое воздействие подвижного состава уменьшается в шпале из ДСВКМ, так как модуль упругости материала в 2,5 раза ниже, чем у железобетона, стальная арматура отсутствует. При использовании узла крепления АРС в шпалу замоноличивается сам узел, нет отверстий для болтов, дюбели не нужны, ширина шпалы в подрельсовом сечении больше, чем у железобетонной; растянутая и сжатая зоны армированы стекловолокном, что повышает трещиностойкость
2	Уширение концов шпалы из ДСВКМ обеспечивает отсутствие прогибов концевых сечений, что уменьшает опасность выдавливания балласта под ними. В новом варианте шпалы из ДСВКМ убран резкий переход от подрельсовой ее части к средней
3	Стальная арматура отсутствует, произвольная укладка армирующего заполнителя – щепы, ориентированной по продольной оси шпалы, затрудняет образование трещин, параллельных нейтральному слою или в самом слое; динамические воздействия уменьшены
4	Применение узла крепления АРС снимает практически все причины возможного возникновения дефектов. ДСВКМ неэлектропроводен, коррозионно-стоек
5	ДСВКМ не гниет, так как имеет малое водопоглощение из-за введения в его состав графита. Смола ФАМ пропитывает древесную щепу в процессе отливки шпалы, дополнительно защищая от диффузионно-проникающей влаги
6	То же, что и в п. 5. Для шпалы из ДСВКМ подбивка балласта с ударами по ней также нежелательна, так как материал хрупок
7	Прочность на смятие и сжатие ДСВКМ на порядок выше прочности древесины
8	Поскольку были замечены подобные же трещины при смешанной укладке железобетонных шпал и шпал из ДСВКМ, высота которых несколько больше, рекомендуется заполнять плеть только однородными шпалами

Рис. 2. Фрагмент шпалы из древесно-стекловолокнистого материала

Таблица 4

Характеристики бетонов	Полимербетоны		
	ПН-609-21М	ФАЭИС-30*	ФАМ*
Предел прочности при:			
сжатии, МПа	84	87	64
растяжении, МПа	10	12	7
изгибе, МПа	25	30,5	15
Модуль упругости	26300	32100	19200
Коэффициент выносливости при:			
ρ=0,1	0,35	0,35	0,27
ρ=0,3	0,39	0,39	0,30
ρ=0,6	0,43	0,43	0,40

* Коэффициенты выносливости определены ускоренным методом.

дов лесного комплекса для железнодорожных шпал. Воронеж: ВГЛТА, 2000. 292 с.). Результаты исследований (Харчевников В.И., Бондарев Б.А. Композиционные материалы для шпал лесовозных и общего пользования железных дорог. Липецк: Изд. ООО НЛМК, 1996. 256 с.), а также опыт авторов по практической отливке шпалы новой формы позволили установить основные соотношения [1, 2] между его компонентами при содержании щепы в объеме 50% от веса шпалы массой 150 кг, выявленные ранее. На рис. 2 приведен фрагмент шпалы из ДСВКМ. В табл. 2 приведен расчет модифицированного состава ДСВКМ на одну шпалу и 1 м^3.

Действительно, в фактическом объеме шпалы, равном 0,124 м^3, объемное содержание щепы составляет 0,062 м^3, т. е. 50%. В 1 м^3 ДСВКМ содержится 177 кг щепы, или 17,2% от массы стекловолокнисто-полимербетонной матрицы, равной 1031 кг (рекомендовалось 18%).

Основные достоинства шпал из ДСВКМ приведены в табл. 3, там же указаны методы устранения причин возникновения возможных дефектов.

На четвертом этапе исследований оценивается циклическая долговечность ДСВКМ в конструкциях шпал по методикам, разработанным ранее (кривым виброползучести, методу Н.С. Карпухина, ускоренным методом) [3]. Результаты усталостных испытаний полимерных композиционных материалов (ПКМ) показали, что полученные показатели циклической долговечности позволяют применять их в элементах конструкций, воспринимающих многократно приложенные нагрузки. В [4, 5] рассмотрены вопросы сопротивляемости циклическому нагружению исследуемых ПКМ на основе полиэфирных фурановых смол на основе композиций ФАЭИС-30. Причем усталостные испытания были проведены традиционным (полимербетон ПН-609-21М) и ускоренным методом (полимербетон ФАМ и ФАЭИС). Результаты испытаний указанных выше ПКМ приведены в табл. 4.

Для элементов из ПКМ условия прочности при действии многократно приложенной нагрузки:

$$\sigma_B^{\max} \le R_B \gamma_{B_1}, \qquad (1)$$

где $\sigma_B^{\max}$ – максимальное напряжение цикла; R_B – кратковременное сопротивление полимербетона сжатию; γ_{B1} – коэффициент условия работы:

$$\gamma_{B_1} \ge \frac{\sigma_B^{\max}}{R_B}. \qquad (2)$$

Для однозначности выбора параметра γ_{B1} естественно положить, что:

$$\gamma_{B_1} = \frac{\sigma_B^{\max}}{R_B}. \qquad (3)$$

При испытаниях ПКМ кратковременной нагрузкой получены средние значения временного сопротивления ПКМ сжатию: полимербетон ФАЭИС-30 – 87 МПа; по-

Таблица 5

Вид ПКМ	Коэффициент условий работы ПКМ (γ_{B_1}) при $\rho_B=\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ПН-609-21М	0,43	0,46	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63
ФАМ	0,4	0,42	0,44	0,46	0,48	0,5	0,52	0,54	0,56	0,59
ФАЭИС-30	0,36	0,38	0,4	0,42	0,44	0,46	0,48	0,5	0,52	0,55

Таблица 6

Нормативные и расчетные сопротивления усталости полимербетона ПН-609-21М	Коэффициент асимметрии цикла $\rho_B=\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$R^p_{b,pul}$, МПа	30,5	32,6	34,7	36,2	37,6	39	40,4	41,8	43,3	44,7
$R^H_{b,pul}$, МПа	22,3	23,9	25,4	26,5	27,5	28,6	29,6	30,1	31,7	32,7

Таблица 7

Нормативные и расчетные сопротивления усталости полимербетона ФАМ	Коэффициент асимметрии цикла $\rho_B=\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$R^p_{b,pul}$, МПа	25,6	26,9	28,2	29,4	30,7	32	33,3	34,6	35,8	37,8
$R^H_{b,pul}$, МПа	18,7	19,6	20,6	21,5	22,4	23,4	24,3	25,3	26,1	27,6

Таблица 8

Нормативные и расчетные сопротивления усталости полимербетона ФАЭИС-30	Коэффициент асимметрии цикла $\rho_B=\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$R^p_{b,pul}$, МПа	31,3	33,1	34,8	36,5	38,3	40	41,8	43,5	45,2	47,9
$R^H_{b,pul}$, МПа	22,8	24,2	25,4	26,6	27,9	29,2	30,5	31,8	32,9	34,9

лимербетон ПН-609-21Н – 84 МПа; полимербетон ФАМ – 64 МПа.

Для получения точной оценки γ_{B_1} находим среднее значение выборки:

$$\gamma_{B_1}=\frac{\sum_{i=1}^{N}\gamma_{B_1}}{N}, \quad (4)$$

где N – число испытанных образцов.

В табл. 5 приведены значения коэффициентов условий работы исследуемых ПКМ.

Процесс постепенного накопления локальных повреждений в материале под действием циклических нагрузок называют выносливостью, а способность сопротивляться этому процессу – усталостью. Различают многоцикловую, малоцикловую, статическую и физическую усталость, в зависимости от силовых режимов действия эксплуатационных нагрузок и их воздействия. Для исследуемых ПКМ получены значения нормативных и расчетных сопротивлений усталости, которые приведены в табл. 6–8.

Расчет остаточного ресурса элементов конструкций транспортных сооружений выполнен в соответствии с [4].

Список литературы

1. Кондращенко В.Н., Харчевников В.И., Стородубцева Т.Н., Бондарев Б.А. Древесно-стекловолокнистые шпалы. М.: Спутник, 2009. 302 с.
2. Бондарев Б.А., Харчевников В.И. Выносливость композиционных материалов в конструкциях железнодорожных шпал. Липецк: ЛГТУ, 2002. 220 с.
3. Борков П.В., Комаров П.В., Бондарев А.Б., Бондарев Б.А. Ускоренный метод прогнозирования долговечности полимерных композиционных материалов // *Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура*. 2013. № 3 (31). С. 46–51.
4. Бондарев Б.А., Борков П.В., Комаров П.В., Бондарев А.Б. Экспериментальные исследования циклической долговечности полимерных композиционных материалов // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6. С. 20–25.
5. Бондарев А.Б., Комаров П.В., Лифинцев О.И. Сопротивляемость полимербетонных и стеклопластполимербетонных конструкций длительным и циклическим нагрузкам // *Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура*. 2009. № 1(3). С. 92–97.

References

1. Kondrashhenko V.N., Harchevnikov V.I., Storodubceva T.N., Bondarev B.A. Drevesnosteklovoloknistye shpaly [Wood glass-fiber cross ties]. Moscow: Sputnik. 2009. 302 p.
2. Bondarev B.A., Harchevnikov V.I. Vynoslivost' kompozitsionnykh materialov v konstruktsiyakh zheleznodorozhnykh shpal. [Endurance of composites in designs of railway cross ties]. Lipetsk: LGTU. 2002. 220 p.
3. Borkov P.V., Komarov P.V., Bondarev A.B., Bondarev B.A. The accelerated method of prediction of longevity of polymeric composites. *Nauchnyj vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2013. No. 3 (31), pp. 46–51. (In Russian).
4. Bondarev B.A., Borkov P.V., Komarov P.V., Bondarev A.B. The pilot studies of cyclic longevity of polymeric composites. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2012. No. 6, pp. 20–25. (In Russian).
5. Bondarev A.B., Komarov P.V., Lifincev O.I. Resistance of polymer and glass-fiber polymer concrete constructions long and cyclic loads. *Nauchnyj vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2009. No. 1 (3), pp. 92–97. (In Russian).

УДК 69.691.53

В.С. ЛЕСОВИК, д-р техн. наук, член-корр. РААСН, Л.Х. ЗАГОРОДНЮК, канд. техн. наук,
Д.А. БЕЛИКОВ, канд. техн. наук, А.Ю. ЩЕКИНА, инженер, А.А. КУПРИНА, инженер
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ

На основании литературных данных и накопленного опыта предложена классификация сухих строительных смесей для ремонтных и восстановительных работ. При разработке ремонтных и восстановительных составов с заданными эксплуатационными свойствами использованы основные положения геоники и сформулированного в рамках этого научного направления закона сродства структур. Закон сродства структур базируется на причинно-следственных связях, их взаимодействии между собой, определяющих свойства общей системы в целом. С учетом закона сродства структур разработаны сухие ремонтные теплозащитные растворы. В качестве заполнителя применялся вспученный перлитовый песок. Получен комплексный органоминеральный модификатор, позволяющий управлять процессами структурообразования при твердении ремонтных смесей и придавать системе повышенную химическую активность. Предложены ремонтные составы на основе сырьевых ресурсов Курской магнитной аномалии и разработанного комплексного органоминерального модификатора. Приведены микрофотографии контактных зон ремонтных составов на разных основаниях. Результаты электронных микроскопических исследований полностью подтверждаются показателями физико-механических испытаний, свидетельствующих о высокой плотности и прочности контактов ремонтных составов с основанием.

Ключевые слова: сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ, геоника, закон сродства структур.

V.S. LESOVIK, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding member of RAACS, L.Kh. ZAGORODNYUK, Candidate of Sciences (Engineering),
D.A. BELIKOV, Candidate of Sciences (Engineering), A.Yu. SHCHEKINA, Engineer, A.A. KUPRINA, Engineer
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova (46, Kostyukov Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

Efficient Dry Mixes for Repair and Restoration Works

On the basis of literature data and accumulated experience, the classification of dry building mixes for repair and restoration works is offered. In the course of development of repair and restoration compositions with preset operational properties main propositions of geonik and the law affinity structures formulated within the frame of this scientific direction are used. The law affinity structures is based on cause-and-effect relations, their interaction which determine properties of the common system as a whole. Dry repair heat-protective solutions have been developed with due regard for the law affinity structures. Expanded perlite sand is used as a filler. Complex organic-mineral modifier which makes it possible to control the processes of structure formation in the course of repair mixes hardening and add increased chemical activity to the system has been obtained. Repair compositions on the basis of raw material recourses of the Kursk Magnetic Anomaly and the developed complex organic-mineral modifier are offered. Microphotographies of contact zones of repair compositions on various bases are presented Results of the electronic microscopic studies are fully confirmed by results of physical-mechanical tests which testify high density and strength of contacts of repair compositions with the base.

Keywords: dry mixes for repair and restoration works, geonik, law affinity structures.

Природные и искусственные каменные строительные материалы при эксплуатации постоянно подвергаются воздействию различных факторов окружающей среды. На строительные изделия и конструкции воздействуют атмосферные осадки, газы и пыль, которые изменяют химический состав флюидов поровой системы. Резкие перепады температуры и влажности (попеременное увлажнение и высыхание), солнечная радиация, космические и световые излучения, значительные ветровые нагрузки и др. значительно сокращают сроки службы каменных строительных конструкций, снижают функциональные и эксплуатационные свойства. Особенно интенсивно подвергаются коррозионному разрушению бетонные и железобетонные покрытия автомобильных дорог и аэродромов, элементы конструкций мостов и тоннелей, зданий и сооружений, а также городских коммуникационных систем [1–4].

Учитывая огромные объемы строительства зданий и сооружений из бетона и железобетона, проблема их ремонта становится одной из важнейших, требующих безотлагательного решения, разработки новых материалов и эффективных технологических подходов. Только грамотный выбор средств и методов проведения данных работ может обеспечить длительный положительный эффект при последующей эксплуатации конструкции.

К настоящему времени применение сухих строительных смесей существенно изменило специфику проведения ремонтных строительных работ, показало их высокую эффективность и преимущества по сравнению с традиционными строительными растворами.

Анализ литературных данных и накопленный опыт позволил предложить классификацию сухих строительных смесей для выполнения ремонтных и восстановительных работ, представленную на рис.1.

Сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ можно классифицировать в зависимости от назначения выполняемых работ.

Ремонту и реставрации подвергаются каменные, бетонные, железобетонные конструкции, стыки панелей, элементы ЖКХ и т. д. Соответственно для каждого случая необходимо подобрать состав, который бы обеспечил хорошую адгезию между разнородными (бетон – металл, керамический кирпич – бетон и др.) композитами и обеспечивал целостность и эксплуатационные свойства сооружения. Условия твердения композиций при ремонтных работах значительно более сложные, чем при производстве строительных материалов в заводских условиях, поэтому применяемые составы должны обладать хорошей удобоукладываемостью, при пониженном водоцементном отношении, низкой усадкой, быстрым набором прочности, высокой адгезией, достаточными деформативными характеристиками и др. Кроме того, следует учитывать такой серьезный фактор, как условия обеспечения твердения системы. В отличие от бетонных смесей, когда отформованное изделие пропаривается в заводских условиях, либо при

Рис. 1. Классификация сухих смесей, используемых для ремонтных и восстановительных работ

монолитном бетонировании, когда для обеспечения необходимых условий твердения бетонной смеси используются специальные системы ухода, при выполнении ремонтных работ в естественных условиях меняется температура окружающей среды, давление, имеют место ветровые и инсоляционные воздействия. Вследствие указанных причин твердение ремонтных систем протекает в очень жестких условиях. Поэтому при разработке ремонтных и восстановительных составов с заданными эксплуатационными свойствами необходимо использовать основные положения геоники [5–7] и сформулированного в рамках этого научного направления закона сродства структур [8]. Использование принципов этого закона при проектировании позволит получать ремонтные растворы с заданными технологическими, физико-механическими и эксплуатационными свойствами в зависимости от строения и свойств ремонтируемой системы.

Закон сродства структур предусматривает разработку составов, при твердении которых создается структура, аналогичная на нано-, микро- и макроуровнях матрицы ремонтируемой конструкции. Таким образом, за счет направленного структурообразования обеспечиваются необходимые условия для надежной функциональной работы строительных изделий и конструкций. Закон сродства структур базируется на причинно-следственных связях, их взаимодействии между собой, определяющих свойства общей системы в целом. Применяя принципы этого закона к созданию сухих ремонтных смесей, формируем систему из составляющих его элементов: заполнителя, наполнителя, эффективного вяжущего и функциональных добавок. Задача разработки эффективных ремонтных растворов с высокими эксплуатационными характеристиками требует особых подходов к выбору сырьевых материалов, их подготовке к использованию, приготовлению и укладке в конструкцию.

Далее приводятся данные апробирования закона сродства структур на примере разработки ремонтных систем различного функционального назначения.

В современных условиях большое значение приобретают сухие ремонтные теплозащитные растворы. Это связано с необходимостью ремонта устаревших теплокоммуникационных сетей и элементов строительных конструкций в составе жилищно-коммунального хозяйства страны. В связи с этим возникла необходимость в разработке составов сухих строительных смесей для ремонтных теплоизоляционных растворов с пониженной плотностью затвердевшего раствора. Для создания композита с учетом сродства структуры с ремонтируемой системой были разработаны специальные композиционные вяжущие с высокопористой матрицей, в качестве заполнителя применялся вспученный перлитовый песок.

Основные физико-механические и эксплуатационные свойства ремонтных теплоизоляционных растворов, приготовленных на марках вспученного перлитового песка М75 и М150, приведены в табл. 1.

Промышленная апробация разработанных составов при ремонте теплокоммуникационных сетей и конструкций зданий и сооружений показала их высокую эффективность; ремонтные составы характеризуются хорошей удобоукладываемостью и пластичностью, высокой адгезией при нанесении на основание и обеспечивают высокую теплозащиту объектов жилищно-коммунального хозяйства.

Для создания прочного и надежного срастания материалов конструктивного элемента была создана вну-

Таблица 1

Наименование показателя	Результаты испытаний		
	Состав 1 (М75)	Состав 2 (М150)	Thermover (Турция)
Средняя плотность теплоизоляционного раствора, кг/м^3	285	305	470
Водоудерживающая способность, %	93,9	91,8	87
Прочность сцепления с основанием, МПа	0,66	0,68	0,1
Водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/м^2	4,82	4,44	7,3
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м•ч•Па)	0,08	0,06	0,07
Усадка покрытия	Трещины отсутствуют		–
Прочность при сжатии, МПа	1,05	1,22	2
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м•°С)	0,06	0,07	0,1
Морозостойкость, циклов	73	75	50

Таблица 2

Наименование показателя	Значение показателя
Адгезия к основанию, МПа	1,5–1,8
Водопоглощение, мас. %	9,7–10,6
Коэффициент паропроницаемости покрытия, мг/(м•ч•Па)	0,061–0,073
Когезионная прочность, МПа	0,39–0,51
Условный коэффициент трещиностойкости	0,43–0,48
Коэффициент размягчения	0,41–0,45
Модуль деформации	24,1–26
Морозостойкость, циклов	75
Усадка	Отсутствие трещин в проектном слое

тренняя устойчивая связь – контактный слой на границе между основанием из газобетона и ремонтным теплоизоляционным раствором, призванным обеспечить прочность элемента в целом, а также придать требуемые теплоизоляционные свойства ремонтному слою. Микрофотография контактной зоны газобетон – теплоизоляционный раствор (рис. 2) свидетельствует о высокой проникающей способности ремонтного раствора. Структура теплоизоляционного раствора имеет скелет аморфного строения, предельно насыщенный мелкими замкнутыми порами и тонкими воздушными прослоями, окаймляющими сферические поры газобетона. Созданный ремонтный состав имеет сродство по заданному теплозащитному свойству, что отвечает его целевому назначению.

В последние годы возникли проблемы с сохранением и ремонтом памятников, возведенных для увековечения победы советского народа в Великой Отечественной войне. Эти памятники были выполнены, как правило, из бетона и установлены в послевоенный период, в настоящее время только в Белгородской области по реестру областного управления культуры около 800 памятников [9], состояние которых требует проведения соответствующих ремонтных и реставрационных работ. Для этих целей с учетом сродства структур разработаны специальные сухие смеси.

Разработанные ремонтные составы на основе сырьевых ресурсов Курской магнитной аномалии (КМА) с использованием синтезированного комплексного органоминерального модификатора (КОММ) снизили капиллярную пористость при увеличении гелевой пористости композита и обеспечили уплотнение матрицы за счет синтеза новообразований второй генерации при взаимодействии активного кремнеземистого компонента модификатора с известью, выделяющейся при гидратации. Синтезированный КОММ позволяет управлять процессами структурообразования при твердении ремонтных смесей за счет ее высокой полиминеральности и дисперсности, придавая системе повышенную химическую активность. Наличие в системе карбонатов, которые, взаимодействуя с алюмосодержащими фазами цемента, приводят к образованию игольчатых кристаллов гидрокарбоалюминатов кальция, обеспечивая микроармирование матрицы цементного камня. Это приводит к повышению эксплуатационных характеристик ремонтных смесей. Применение КОММ позволило повысить адгезию ремонтной смеси к поверхности восстанавливаемых объектов на 30–50%, улучшить эксплуатационные характеристики ремонтного слоя, снизить усадочные явления. Основные свойства ремонтных смесей с использованием комплексного органоминерального модификатора приведены в табл. 2.

Рис. 2. Микрофотография контактной зоны газобетон – теплоизоляционный раствор (в возрасте 28 сут)

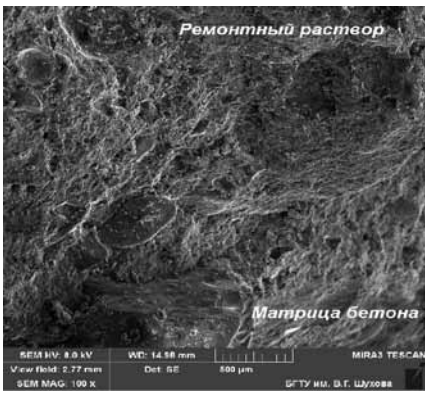


Рис. 3. Микрофотография контактной зоны тяжелый бетон – ремонтный состав (в возрасте 28 сут)

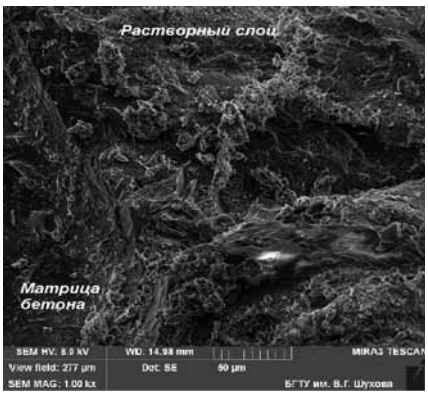


Рис. 4. Микрофотография контактной зоны тяжелый бетон – высокопрочный ремонтный состав (в возрасте 28 сут)

Микрофотография контактной зоны тяжелый бетон – ремонтный состав (рис. 3) свидетельствует о формировании плотных контактных срастаний на границе между матрицей тяжелого бетона и ремонтным слоем. Сформированный ремонтный слой является достаточно однородным с наличием равномерно распределенных по объему пор и пустот и идентичен основной базовой матрице – тяжелому бетону, что обеспечит отреставрированному композиту достаточную прочность и долговечность.

Особого внимания заслуживают ремонтные составы, используемые в условиях сухого жаркого климата, так как технологические условия их укладки, схватывания, твердения и дальнейшей эксплуатации являются весьма жесткими: быстрое испарение влаги из растворной и бетонной смеси приводит к пластической усадке и образованию волосных трещин в растворе, а последующее охлаждение вызывает растягивающие напряжения. Существующие методы ухода за бетоном в условиях сухого и жаркого климата являются неэффективными с точки зрения технологических и экономических показателей.

С учетом сродства структур были разработаны составы высокопрочных ремонтных фибробетонных смесей для климатических регионов с сухим жарким климатом, которые можно использовать в широком диапазоне от мелкого ремонта до ремонта и восстановления крупных элементов несущих конструкций.

Отличительной особенностью этих ремонтных составов является то, что в систему вводится минеральный наполнитель определенного состава и заданной гранулометрии, который создает изменение баланса внутренних сил за счет водоудерживающей способности частичек при перемешивании и формовании с последующим выделением необходимых порций воды в процессе твердения композита. Это приводит к уменьшению напряжений в затвердевшей бетоной смеси и, как следствие, к снижению количества и размеров образующихся в нем микротрещин.

На микрофотографии контактной зоны тяжелый бетон – высокопрочный ремонтный состав (рис. 4) по всей контактной зоне отмечается активное густое зарастание дефекта и образование плотной структуры; на данном участке пор и пустот не наблюдается. Результаты электронных микроскопических исследований полностью подтверждаются показателями физико-механических испытаний, свидетельствующих о высокой прочности и плотности этих контактов.

Таким образом, направленное структурообразование на нано-, микро- и макроуровнях ремонтных смесей с учетом закона сродства структур позволяет обеспечить оптимальные условия для твердения составов и высокие эксплуатационные характеристики. Кроме того, использование дисперсного армирования значительно повышает прочность композита при растяжении и замедляет образование трещин на всех стадиях формирования его структуры и последующей службы, тем самым обеспечивая высокое качество ремонтных и восстановительных работ.

Использование закона сродства структур в строительном материаловедении с учетом направленного структурообразования при создании сухих ремонтных смесей различного назначения позволяет прогнозировать и создавать материалы с заданными свойствами и требуемой долговечностью.

Список литературы

1. Овчинников И.И., Мигунов В.Н., Скачков Ю.П. Коррозионно-механическое разрушение железобетонных конструкций при одновременном действии хлоридной коррозии и карбонизации // *Региональная архитектура и строительство*. 2012. № 2 (13). С. 72–78.
2. Розенталь Н.К. Проблемы коррозийного повреждения бетона // *Бетон и железобетон*. № 6. С. 29–31.
3. Селяев В.П., Неверов В.А., Ошкина Л.М., Селяев П.В., Сорокин Е.В., Кечуткина Е.Л. Сопротивление цементных бетонов сульфатной коррозии. *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 26–31.
4. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Методы оценки коррозионной стойкости цементных композитов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2012. № 3. С. 23–24.
5. Лесовик В.С., Беленцов Ю.А., Куприна А.А. Использование положений геоники при проектировании конструкций для работы в условиях динамических и сейсмичеких нагрузок // *Известия вузов. Строительство*. 2013. № 2–3. С. 121–126.
6. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // *Жилищное строительство*. 2013. № 1. С. 9–12.
7. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating effective insulation solutions, taking into account the law of affinity structures in construction materials. *World Applied Sciences Journal*. 2013. No. 24 (11), pp. 1496–1502.
8. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 3. Часть 2. С. 267–271.
9. Единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации и государственный учет объектов, представляющих историко-культурную ценность. http://base.garant.ru/12127232/4/#ixzz35eBv0NDt (дата обращения: 25.06.2014).

References

1. Ovchinnikov I.I. Migunov V.N., Skachkov Yu.P. Stress-corrosion fracture of reinforced concrete construction at joint action of chloride corrosion and carbonization. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2012. No. 2 (13), pp. 72–78. (In Russian).
2. Rosenthal N.K. Problems of corrosion damage of concrete. *Beton i zhelezobeton*. No. 6, pp 29-31. (In Russian).
3. Selyaev V.P., Neverov V.A., Oshkina L.M., Selyaev P.V., Sorokin E.V. Kechutkina E.L. Resistance of cement concretes to sulfate corrosion. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 26–31. (In Russian).
4. Rakhimbayev Sh. M., Tolypina N. M. estimating method of cement composites corrosion resistance. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2012 . No. 3. pp. 23–24. (In Russian).
5. Lesovik V.S., Belentsov Y.A., Kuprina A.A. Geonik provisions using for structural design, working under dynamic and seismic loads conditions. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2013. No. 2–3, pp. 121–126 (In Russian).
6. Lesovik V.S. Architectural geonik. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 1. pp. 9–12. (In Russian).
7. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating effective insulation solutions, taking into account the law of affinity structures in construction materials. *World Applied Sciences Journal*. 2013. № 24 (11). pp. 1496–1502.
8. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L. Law affinity structures in materials science. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014. No. 3. Part 2, pp. 267–271. (In Russian).
9. Uniform state register of cultural heritage (monuments of history and culture) of the Russian Federation and the state accounting objects of historical and cultural value. http://base.garant.ru/12127232/4/#ixzz35eBv0NDt (Date of access 25.02.2014).

УДК 694.14:536.255

С.В. ФЕДОСОВ[1], д-р техн. наук, академик РААСН, президент;
В.Г. КОТЛОВ[2], канд. техн. наук, советник РААСН; Р.М. АЛОЯН[1], д-р техн. наук, член-корр. РААСН, ректор;
Ф.Н. ЯСИНСКИЙ[3], д-р физ.-мат. наук; М.В. БОЧКОВ[1], инженер

[1] Ивановский государственный политехнический университет, (153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20)
[2] Поволжский государственный технологический университет (424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3)
[3] Ивановский государственный энергетический университет (153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34)

Моделирование тепломассопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Часть 1. Общая физико-математическая постановка задачи

Сформулирована физико-математическая краевая задача переноса теплоты и массы вещества (влаги) в элементах деревянных конструкций, соединенных металлическим нагелем и работающих в воздушной среде с переменными теплофизическими параметрами (температурой и относительной влажностью) при фазовых переходах влаги (испарение, конденсация). В основу математических моделей исследуемых процессов тепломассопереноса положены краевые задачи тепло- и влагопроводности в древесине, базирующиеся на дифференциальных уравнениях в частных производных параболического типа с граничными условиями первого и второго рода. Основной особенностью предлагаемого алгоритма расчетов является учет существенной нелинейности функции, определяющий начальные распределения температур и влагосодержаний.

Ключевые слова: нагельное соединение, элементы деревянных конструкций, тепло- и влагоперенос, система газ – твердое.

S.V. FEDOSOV[1], Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS, President; V.G. KOTLOV[2], Candidate of Sciences (Engineering), Counsellor of RAACS; R.M. ALOYAN[1], Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAACS, Rector; F.N.YASINSKI[3], Doctor of Sciences (Physics and Mathematics); M.V.BOCHKOV[1], Engineer
[1] Ivanovo State Polytechnical University (20, Mart 8th Street, Ivanovo,153037, Russian Federation)
[2] Volga State University of Technology (3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424000, Russian Federation)
[3] Ivanovo State Power Engineering University (34, Rabfakovskaya Street, Ivanovo, 153003, Russian Federation)

Simulation of Heat-and-Mass Transfer in Gas-Solid System at Nailed Connection of Timber Structures Elements. Part 1. General Physical-Mathematical Statement of Problem

A physical-mathematical boundary problem of heat and substance mass (moisture) transfer in elements of timber structures connected by a metal dowel and operating in the air environment with variable thermo-physical parameters (temperature and relative humidity) at moisture phase transitions (evaporation, condensation) is formulated. Boundary problems of heat-and-humidity conductivity in timber based on the differential equations in partial derivatives of parabolic type with boundary conditions of the first and second kinds are taken as a basis of mathematical models of studied processes of heat-and-mass transfer. Basic peculiarity of the proposed calculation algorithm is an account of considerable non-linearity of the function which determines the initial distribution of temperatures and moisture contents.

Keywords: nailed connection, timber structures elements, heat-and-moisture transfer, gas-solid system.

Столетиями на Руси древесина являлась основным строительным материалом [1], из которого возводились величайшие храмы, например Кижи, замечательные резные терема удельных князей и несметные крестьянские подворья.

Со временем появился камень, естественный и искусственный; с начала XX века в строительство стремительно ворвались металл, железобетон и стекло, ознаменовавшие новую эру строительства небоскребов в США и богатейших Арабских Эмиратах.

Патриархальная Россия не оставалась в стороне от новейших тенденций в строительстве, не плелась в хвосте экономически развитых стран XVIII–XIX вв., о чем свидетельствуют величавые сооружения в Москве и Санкт-Петербурге, построенные из естественных каменных материалов.

Но по-прежнему дерево было и остается материалом, без которого нельзя себе представить ни Сергиево-Посадскую, ни Киево-Печорскую лавры. Стандартные многоэтажки со стеновыми ограждающими конструкциями из керамического (силикатного) кирпича и железобетона также не обходятся без использования древесины.

Для стропильных систем кровельных покрытий, перекрытий, полов и других элементов строений дерево остается незаменимым материалом в современных сериях многоэтажных домов [2].

For centuries, wood was the primary building material in Russia [1]. Wood was used to build magnificent temples (for example Kizhi), wonderful carved tower-chambers of feudal princes and countless farmhouses.

In the course of time, natural and artificial stone appeared; from the early twentieth century metal, reinforced concrete and glass entered the construction sphere which marked the new era of skyscraper construction in the wealthy USA and the richest Arab Emirates.

Patriarchal Russia was not standing aside of the latest trends in construction, not dragging behind the economically developed countries in 18–19th centuries, which is evidenced by the stately buildings in Moscow and St. Petersburg, built of the natural stone materials.

However, wood is the material we cannot do without while imagining the Sergiev Posad or Kiev-Pechora or Monastery. Wood is also used for building standard apartment houses with curtain walling systems made of lime-sand (ceramic) brick and reinforced concrete.

Wood is an indispensable material used in modern many-storeyed residential buildings for rafter systems of roof coatings, floor structures and other structural elements [2].

However there exists the received opinion that the history of construction science is written with blood.

Существует мнение, что история строительной науки написана кровью. Ошибки в расчетах, в технологиях возведения, игнорирование, а порой и просто незнание элементарных закономерностей физико-химических процессов в несущих конструкциях под воздействием окружающей среды – все это приводило и, к сожалению, продолжает приводить к обрушению конструкций и гибели людей.

В Средние века, когда металл был дорог и использовался в основном для изготовления оружия и защиты от него, скрепление элементов деревянных конструкций осуществлялось деревянными нагелями (гвоздями, шпунтами, шпонками), имеющими практически те же самые теплофизические, физико-химические и механические характеристики, что и скрепляемые элементы. Проблем в соединениях не возникало. С течением времени металла стало производиться много, и разного сортамента. Возникла возможность скрепления деревянных деталей металлом: гвоздь, скоба, нагель под ударом раздвигали слои древесины, образованные годовыми кольцами, и крепко соединяли элементы конструкций. Наверное, уже в те времена люди увидели, что под влиянием природных осадков через некоторое время из-под шляпки гвоздя простирался темный след ржавчины, портящий вид строения.

Однако до сих пор нет достаточного количества подтвержденных данных, какие климатические и физико-химические явления происходят в системе металл – древесина при циклических изменениях температуры и влажности воздушной среды, в которой работает конструкция.

Примером данного явления может послужить учебный корпус № 2 Поволжского государственного технологического университета (г. Йошкар-Ола, ул. Советская, 158), построенный в 1955 г.

Объект представляет собой кирпичное здание с покрытием – деревянными стропильными конструкциями. Конструкции выполнены в виде составной балки из двух элементов, соединенных между собой болтами диаметром 22 мм с шагом 1 м. Кровля над стропильными конструкциями, выполненная по обрешетке, металлическая. Расстояние между кровельным железом и болтами, соединяющими элементы стропильных конструкций, составляет 40 мм.

В результате обследования данного объекта в 2005 г. были обнаружены дефекты в стропильных конструкциях. Таким образом, вследствие влияния изменений температурно-влажностного режима в чердачном помещении за 50 лет эксплуатации, из-за нагрева и охлаждения болта произошло гниение древесины, пошли коррозионные изменения в металле, что в конечном итоге способствовало увеличению диаметра отверстия и соответственно прогибу конструкций.

Состояние нагельного соединения в конструкции наглядно проиллюстрировано на рис. 1, и таких примеров достаточно много (соединения стропильных конструкций на скобах, гвоздях, которые с течением времени выдергиваются из гнезда и т. д.).

Авторы убеждены, что проведение исследований в этой области, научное обобщение результатов и разработка на их основе практических рекомендаций, вплоть до использования в нормативной документации, не только расширят область научных знаний в данной сфере, но и позволят учесть эти результаты при выработке уточненных методик расчета, а также методов и средств постоянного мониторинга состояния элементов конструкций.

В качестве простейшего примера рассмотрим взаимодействие нагельного соединения элементов деревянных конструкций с окружающей воздушной средой (рис. 2) в летний период.

Errors in calculations, erection technologies, neglecting and at times mere lack of knowledge of the elementary laws of physical and chemical processes taking place in the load-bearing elements under the influence of the environmental conditions resulted in and still cause structural collapse and fatalities.

In the Middle Ages, when the metal was expensive and used mainly to produce weapons and protective parts from the weapons, fastening elements of wooden structures was carried out with wooden block pins (nails, grooves, dowels) having almost the same thermal, physical-chemical and mechanical characteristics as elements to be the pieces to be fastened have. There were no problems to fasten the elements. Again, other times came. The production of metal and its range increased. It seemed it was easy to fasten wooden parts with metal since a nail, a staple, a dowel fast, with one stroke moved apart wood layers formed by growth rings and tightly fastened the structural elements. Perhaps, in those days people saw dark rust appear under the nail-head caused by the natural rainfall after a while which spoilt the elegance of the building.

It was a petty trouble. The larger problem is that we do not take efforts to find out what climatic and physical-chemical processes take place in the system metal - wood under cyclic temperature and humidity changes of the external conditions which the structure works in. It can be proved by the example of the second building of Volga State University of Technology built in 1955 and located in Yoshkar-Ola in 158, Sovetskaya Street.

Рис. 1. Нагельное соединение составной балки стропильной конструкции. Учебный корпус № 2 Поволжского государственного технологического университета
Fig. 1. Dowel connection of a compound beam of rafter structure. Building No. 2 of Volga State University of Technology

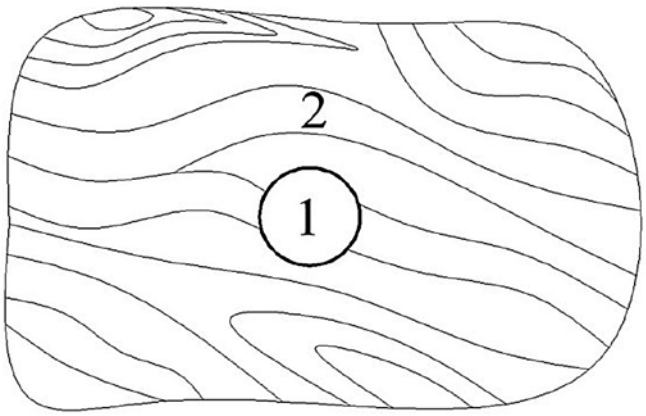


Рис. 2. Модель нагельного соединения: 1 – нагель (болт); 2 – древесина
Fig. 2. Illustration of the model of dowel connection: 1 – dowel (bolt); 2 – wood

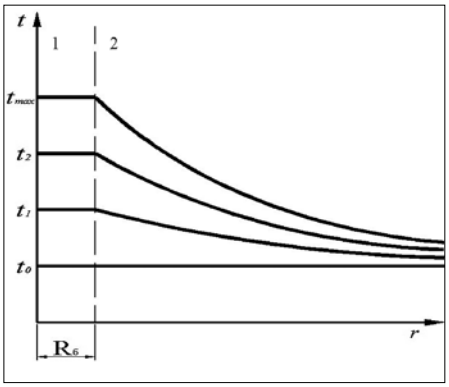


Рис. 3. График изменения температуры в толще древесины (2) при росте температуры металла (1): $R_б$ – радиус болта, м; r – текущая координата, м; t_o – начальная температура в нагельном соединении, °С(К); t_1, t_2 – профили текущей температуры; t_{max} – максимальная температура нагревания нагеля

Fig. 3. Diagram of temperature change in the thickness of the wood (2) under temperature rise of the metal (1): R_b – radius of the bolt, m; r – the current coordinate, m; t_o – starting temperature dowel compound, °C (K); t_1, t_2 – actual temperature profiles; t_{max} – the maximum temperature to which the heated dowel

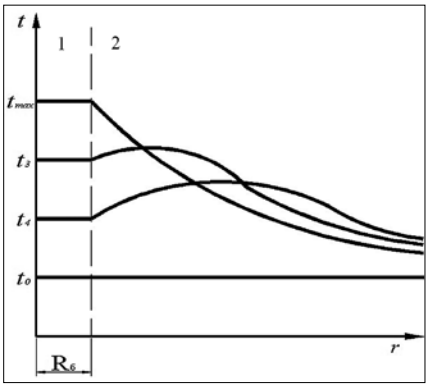


Рис. 4. График изменения температуры в древесине (2) на стадии охлаждения металла

Fig. 4. Diagram of temperature change in the wood (2) during the metal cooling stage

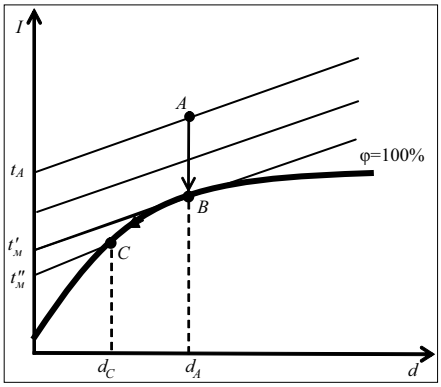


Рис. 5. Иллюстрация отражения физической модели процесса охлаждения воздуха на *I-d*-диаграмме

Fig. 5. Illustration of the physical model of air cooling at *I-d*-diagram

Будем полагать, что в какой-то момент времени, принятый за начало отсчета, температура нагеля и дерева равна начальным значениям (кривая 1, рис. 3).

С течением времени воздушная среда начинает прогреваться от солнечных лучей, при этом нагревается и система металл – древесина. В силу значительного различия в величинах коэффициентов теплопроводности (на порядок и более), можно считать, что металлический нагель прогревается практически равномерно, а древесина – существенно медленнее. В этом случае динамика полей температуры в рассматриваемой системе может характеризоваться линиями 2, 3, 4 (рис. 3).

В определенный период суток температура окружающей среды достигнет максимума (t_{max}), и затем станет понижаться. При этом вследствие теплообмена будет понижаться и температура металла в соединении. Температура древесины вследствие тепловой инерции будет изменяться менее интенсивно, и динамика полей температуры в системе станет характеризоваться кривыми (рис. 4).

При этом отметим характерную особенность периода охлаждения: температурный график в древесине будет иметь экстремум (максимум), перемещаемый во внутренние слои.

В определенный момент времени температура воздушной среды вблизи металла достигнет значения температуры точки росы. Дальнейшее охлаждение будет сопровождаться неизбежным выпадением капельной влаги.

На рис. 5 представлена упрощенная модель диаграммы состояния влажного воздуха [3], или *I-d*-диаграммы [4].

Процесс охлаждения воздуха от температуры t_A до температуры $t'_м$ происходит по линии постоянного влагосодержания АВ, но при изменяющихся значениях и энтальпии и относительной влажности воздуха. В точке В пересекаются линия постоянной температуры $t'_м$ и линия постоянной относительной влажности φ = 100%. Как известно [3, 4], температура, соответствующая данному состоянию воздуха, называется температурой точки росы. Дальнейшее охлаждение воздуха, например до температуры $t''_м$, будет характеризоваться линией ВС и сопровождаться уменьшением влагосодержания воздуха от d_A до значения d_C и соответственно конденсацией влаги в виде капельной жидкости. Строго говоря,

It is a brick building, its covering is roof framework. The structures are a split beam joint with bolts of 22 mm in diameter and a pitch of 1,000 mm. Roofing over the rafter structures is made on the lathing to be of metal. The distance between the roofing iron and bolts connecting the elements of rafter structures is 40 mm.

The inspection of the building performed in 2005 showed the defects in rafter structures. As a result of temperature and humidity changes in the attic during the 50-year operation period, due to heating and cooling of the bolt, wood rotting and metal corrosion occurred, which ultimately increased the diameter of the hole and thus the deflection of the structures.

Photos in Fig. 1 show in detail the state of the dowel connection.

The authors believe that research in this area, summarizing the results of the scientific investigation and practical recommendations made on its basis to the point of application of use the regulations will not only expand the scientific data in this sphere but will also provide with the opportunity to take into account these results to develop specific methods of calculation, techniques and means of continuous monitoring of structural elements condition.

As an example we will consider the interaction of dowel connection of the elements of wooden structures with the ambient air (Fig. 2) in summer time.

Let us assume that at some moment of time taken as a reference point of dowel and wood temperature to be equal to the initial values (curve 1 in Fig. 3).

Over time, the outside air is getting warmer under sunlight; at the same time metal – wood system is doing the same. Because of the significant differences in the values of thermal conductivity ratios (an order of magnitude higher), we can assume that the metal block pin is being heated almost uniformly, and wood is being heated much slower. In this case, the dynamics of the temperature fields in the system being considered can be characterized by lines of Fig. 3.

At a certain time of the day ambient temperature reaches its maximum (tmax, max), and then drops. Due to heat exchange the temperature of the metal in the joint will fall either. Wood temperature, due to thermal inertia will vary not that much and the dynamics of temperature fields in the system will be characterized by the curves of Fig. 4.

At the same time, a characteristic feature of the cooling period: temperature graph in the wood will have extremum (maximum) being transferred into the inner layers should be noted.

At some point of time, the ambient air temperature next to the metal reaches the dew point temperature. Further cooling will be accompanied by the inevitable fall of d moisture at the surface of the bolt.

назвать мгновенным процесс конденсации влаги можно только с бытовой точки зрения. В природных процессах при осуществлении фазовых переходов логично предполагать достижение определенной степени перенасыщения, по достижении которой и происходят фазовые изменения. Однако современных научных знаний в данной области пока недостаточно для получения количественных выводов.

Кроме того, древесина никогда не бывает абсолютно сухой. В ней всегда имеется некое содержание влаги, равновесное с окружающей средой. Однако появление избыточной влаги приводит к процессу ее диффузии внутрь близлежащих к болту слоев древесины. Следующие дни приведут к цикличности описанных процессов тепломассопереноса.

При этом следует учитывать и природу и анизотропность свойств материала древесины [5]. Известно, например, что соотношение коэффициентов влагопроводности для сосны в радиальном и тангенциальном направлениях по стволу определяется как:

$$k_{рад}/k_{танг} = 1/5, \quad (1)$$

а соотношение коэффициентов в продольном и радиальном направлениях еще более велико:

$$k_{рад}/k_{танг} = 1/(12–18). \quad (2)$$

В настоящее время не существует ни математических моделей подобных физических процессов, ни тем более инженерных методик расчета.

Авторы попытались восполнить данный пробел и предлагают цикл статей, открываемых настоящей публикацией.

Итак, в соответствии с теорией тепломассопереноса [6] система дифференциальных уравнений нестационарного переноса теплоты и влаги применительно к строительным материалам и конструкциям может быть записана в следующем виде [3]:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial \tau} &= div\big(agrad(t)\big) + \varepsilon \frac{r^*}{c}\frac{\partial u}{\partial \tau} \\ \frac{\partial u}{\partial \tau} &= div\big(kgrad(u)\big) + div\big(k\delta_T grad(t)\big) + div\big(k\delta_T grad(p)\big) \\ \frac{\partial p}{\partial \tau} &= div\left(\frac{\rho_0}{c^*}k\delta_p grad(p)\right) - \frac{\varepsilon\rho_0}{c^*}\frac{\partial u}{\partial \tau} \end{aligned}\right\}. \quad (3)$$

Первое уравнение может быть названо дифференциальным уравнением теплопереноса, второе – уравнением влагопереноса, а третье – уравнением баропереноса.

В совокупности они определяют тепловлажностное состояние деревянной конструкции под воздействием изменяющихся параметров окружающей среды.

Здесь: a, k – коэффициенты температуро- и влагопроводности древесины; δ_T, δ_p – коэффициенты термо- и бародиффузии, характеризующие влияние градиентов влагосодержания и давления на теплоперенос; c, ρ_0 – теплоемкость и плотность древесины; ε – критерий фазового превращения, показывающий долю влаги, перемещающейся в материале в виде пара; r^* – скрытая теплота парообразования.

В общем случае коэффициенты тепло-, температуро- и массопроводности, а также теплофизические характеристики материала зависят от его температуры и влажности и могут изменяться во времени процесса. Поэтому они и находятся под знаками математических операторов дивергенции.

Для малоинтенсивных тепломассообменных процессов – к таковым относятся и процессы взаимодействия деревянных сооружений (и элементов из них) с

Fig. 5 is a simplified model of the humid air state diagram [3], or *I-d-* of the diagram [4].

The process of air cooling from temperature t_A to temperature $t'_м$ follows the line of specific humidity AB, but at varying values and enthalpy and relative air humidity. The line of constant temperature $t'_м$ and the line of constant relative humidity φ = 100% intersect at point B. As is well known [3, 4], the temperature corresponding to a given state of air is called dew point. Further cooling of the air, for example, to temperature $t''_м$, is characterized by the line BC and accompanied by decrease in the moisture content of the air from the value of d_A to the value of d_C and respectively by moisture condensation in the form of liquid fluid. Strictly speaking, the process of condensation can be called an instant process from the common person's point of view. There is good reason to suppose that a definite degree of super saturation occurs resulting in phase changes in natural processes when phase transfers take place. However, there is a lack of scientific data in this sphere which does not allow us to draw quantitative conclusions.

In addition, strictly speaking, wood is never completely dry. There is always certain moisture content to be in equilibrium with the environmental conditions.

However, excess moisture results in the process of its diffusion inside the bolt surrounding wood layers. The following days will lead to cyclic character of heat and mass transfer processes described.

Nature and anisotropic wood properties should be taken into account [5]. As is known, for example, the ratio of the coefficients of moisture conductivity for pine in the radial and tangential direction on the trunk is defined as follows:

$$k_{rad}/k_{tang} = 1/5, \quad (1)$$

and the ratio of the coefficients in the longitudinal and radial directions is even larger:

$$k_{rad}/k_{tang} = 1/(12–18). \quad (2)$$

Currently, there are neither mathematical models of similar physical processes nor those more engineering calculation methods.

The authors have attempted to fill this gap and offer the readers a series of articles to follow this publication.

Thus, in accordance with the theory of heat and mass transfer [6], the system of differential equations of nonsteady heat and moisture transfer with reference to building materials and structures can be written as follows [3]:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial \tau} &= div\big(agrad(t)\big) + \varepsilon \frac{r^*}{c}\frac{\partial u}{\partial \tau} \\ \frac{\partial u}{\partial \tau} &= div\big(kgrad(u)\big) + div\big(k\delta_T grad(t)\big) + div\big(k\delta_T grad(p)\big) \\ \frac{\partial p}{\partial \tau} &= div\left(\frac{\rho_0}{c^*}k\delta_p grad(p)\right) - \frac{\varepsilon\rho_0}{c^*}\frac{\partial u}{\partial \tau} \end{aligned}\right\}. \quad (3)$$

The first equation can be called a differential equation of heat transfer, the second one is the equation of moisture transfer, and the third one is the equation of pressure transfer.

In total they define the thermal and moisture state of the wooden structure under the influence of changing environmental parameters.

Here: a, k are coefficients of temperature and moisture conductivity of wood; δ_T, δ_p are coefficients of thermal and pressure, characterizing the influence of moisture and pressure gradients on heat transfer; c, ρ_0 are thermal capacity and density of wood; ε is phase transformation criterion, showing the portion of moisture moving in the material in the form of steam; r^* is latent heat of vaporization.

окружающей средой влиянием барапереноса можно пренебречь [8, 9]. В этом случае система (3) упрощается:

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial t}{\partial \tau} &= div\big(agrad(t)\big) + \varepsilon\frac{r^*}{c}\frac{\partial u}{\partial \tau}\\ \frac{\partial u}{\partial \tau} &= div\big(kgrad(u)\big) + div\big(k\delta_T grad(t)\big)\end{aligned}\right\}. \quad (4)$$

Системы уравнений (3) и (4) являются нелинейными и в общем случае не могут быть решены современными аналитическими методами. А для их реализации численными методами необходимы эмпирические зависимости, связывающие все параметры переноса с температурой и влагосодержанием.

И в этих условиях наиболее перспективным является сочетание аналитических и численных методов анализа [8].

Одним из таких методов является метод микропроцессов [6], положительно зарекомендовавший себя при разработке математических моделей и инженерных методов расчета для сушки, обжига и тепловлажностной обработки строительных материалов [7].

Согласно этому методу время всего процесса взаимодействия конструкции с окружающей средой представляется непрерывной цепью последовательных стадий процесса, на каждой из которых определяемые параметры среды и конструкции можно считать постоянными, но скачкообразно меняющимися при переходе от одного микропроцесса к другому.

При этом очень важным обстоятельством является то, что начальными условиями для расчета тепло- и влагопереноса на последующем этапе (микропроцессе) являются результаты расчета на предыдущем этапе. Такой подход позволяет упростить систему уравнений (4) конкретно для рассмотрения исследуемых явлений тепломассопереноса.

Немаловажным является задание начальных и граничных условий, поскольку именно они определяют особенности взаимодействия конструкции с окружающей средой и фактически определяют конечный результат.

Для тепловой части задачи при реализации в дальнейшем метода микропроцессов будем использовать начальные условия вида:

$$t(x,y,z,\tau)\big|_{\tau=0}=t_0\,(x,y,z); \quad (5)$$
$$u(x,y,z,\tau)\big|_{\tau=0}=u_0\,(x,y,z), \quad (6)$$

характеризующие распределение значений температур и влагосодержаний в древесине.

В качестве обобщенных граничных условий можем записать следующие [3, 4]:

$$\alpha[t_c(\tau)-t(x,y,z,\tau)] = \lambda\nabla t(x,y,z,\tau) + q_m\,(\tau)r^*; \quad (7)$$
$$q_m(\tau)=\beta[u_{nc}(\tau)-u_c(\tau)]\rho_r = -k\rho_0\,[\nabla u(x,y,z,\tau) + \delta_T\nabla t(x,y,z,\tau)]. \quad (8)$$

Здесь α, β – соответственно коэффициенты тепло- и влагообмена между конструкцией и окружающей средой; $q_m\,(\tau)$ – плотность потока влаги на границе раздела сред; x, y, z – геометрические координаты границ конструкции или ее элементов.

Таким образом, система уравнений (4) с начальными (5, 6) и граничными (7, 8) условиями называется краевой задачей тепломассопереноса и в общем виде определяет поведение рассматриваемой системы газ – твердое.

Анализу и решению этой задачи для соединения нагель – древесина при различных условиях взаимодействия с воздушной средой посвящены следующие части публикации.

In general, the coefficients of thermal - , temperature- and mass conductivity and thermal-physical properties of the material depend on the temperature and humidity of the material and can change with time. Therefore, they are under the signs of mathematical divergence operators.

The influence of pressure transfer can be neglected [7, 8] for low-intensity heat and mass exchange processes, these include the processes of interaction and wooden structures (and their elements) with the environment. In this case, system (3) is simplified to:

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial t}{\partial \tau} &= div\big(agrad(t)\big) + \varepsilon\frac{r^*}{c}\frac{\partial u}{\partial \tau}\\ \frac{\partial u}{\partial \tau} &= div\big(kgrad(u)\big) + div\big(k\delta_T grad(t)\big)\end{aligned}\right\}. \quad (4)$$

The system of equations (3) and (4) are non-linear and generally cannot be solved by the modern analytical methods. To implement them with numerical methods, empirical relationships linking all transfer parameters with temperature and moisture content are required. .

In these circumstances, the most promising thing is a combination of analytical and numerical methods of analysis [8].

One of these is the method of microprocesses [6], proved to be true to develop mathematical models and engineering calculation methods for drying, burning treatment of building materials [7].

According to this method, the whole process of interaction of the structure with the environment seems to be an unbroken chain of successive process stages, for each the parameters defined being environmental and structure parameters, can be considered to be constant but abruptly changed transferring from one microprocess to another.

At the same time, the important fact is that the initial conditions for the calculation of heat and moisture transfer at a later stage (microprocesses) are based on the results of the previous stage. Such an approach allows us to simplify the system of equations (4) to consider specific heat and mass transfer phenomena under investigation.

It is also important to assign initial and boundary conditions, because they define the interaction of the structure with the environment and actually determine the final outcome.

We will use the initial conditions of the form for the thermal part of the problem to implement further the method of microprocessors:

$$t(x,y,z,\tau)\big|_{\tau=0}=t_0\,(x,y,z); \quad (5)$$
$$u(x,y,z,\tau)\big|_{\tau=0}=u_0\,(x,y,z), \quad (6)$$

characterizing the distribution of values of temperature and moisture content in wood.

As generalized boundary conditions we can write the following [3, 4]:

$$\alpha[t_c(\tau)-t(x,y,z,\tau)] = \lambda\nabla t(x,y,z,\tau) + q_m\,(\tau)r^*; \quad (7)$$
$$q_m(\tau)=\beta[u_{nc}(\tau)-u_c(\tau)]\rho_r = -k\rho_0\,[\nabla u(x,y,z,\tau) + \delta_T\nabla t(x,y,z,\tau)]. \quad (8)$$

Here α, β are respectively coefficients of heat and moisture exchange between the structure and the environment; $q_m\,(\tau)$ is moisture flow density at the media boundaries, x, y, z are geometric coordinates of the structure or its elements boundaries.

Thus, the system of equations (2) with the initial (3), (4) and the boundary (5), (6) conditions is called the boundary problem of heat and mass transfer and it in a general defines the behavior of the system gas – solid under consideration.

The following parts of the publication deal with the analysis and solving the problem for dowel – wood connection under various conditions of interaction with air.

Список литературы

1. Некрасов А.С., Голубев В.К. Эффективность комплексного использования дерева в строительстве. М.: Стройиздат, 1985. 334 с.
2. Титунин А.А., Зайцева К.В. Проектирование и производство строительных материалов из древисины. Комплексный подход. Кострома: КГТУ, 2009. 185 с.
3. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963. 536 с.
4. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М.: Высшая школа, 1982. 416 с.
5. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. 2-е изд. М.: Изд. центр «Академия», 2006. 272 с.
6. Федосов С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии. Иваново: ПрессСто, 2010. 364 с.
7. Алоян Р.М., Федосов С.В., Мизонов В.Е. Теоретические основы математического моделирования механических и тепловых процессов в производстве строительных материалов. Иваново: Изд-во ИГЭУ – ИГАСУ, 2011. 256 с.
8. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. М.: Химия, 1980. 248 с.
9. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы термовлажностной обработки дисперсных и рулонных материалов. М.: Химия, 2012. 716 с.

References

1. Nekrasov A.S., Golubev V.K. Effektivnost' kompleksnogo ispol'zovaniya dereva v stroitel'stve [Effectiveness of the integrated use of wood in construction]. Moscow: Stroiizdat, 1985. 334 p.
2. Titunin A.A., Zaitseva K.V. Proektirovanie i proizvodstvo stroitel'nykh materialov iz drevisiny. Kompleksnyi podkhod. [Design and manufacture of building materials from hardwood. Integrated approach]. Kostroma: KGTU, 2009. 185 p.
3. Lykov A.V., Mikhailov Yu.A. Teoriya teplo- i massoperenosa [Theory of heat and mass transfer]. Moscow-Leningrad: Gosenergoizdat, 1963. 536 p.
4. Bogoslovskiy V.N., Stroitel'naya teplofizika [Construction Thermal Physics]. Moscow: Vysshaya shkola, 1982. 416 p.
5. Ugolev B.N. Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie. 2-e izd [Wood Science and Forestry merchandising. 2nd ed.]. Moscow: Akademiya, 2006. 272 p.
6. Fedosov S.V. Teplomassoperenos v tekhnologicheskikh protsessakh stroitel'noi industrii [Heat and mass transfer processes in the construction industry]. Ivanovo: PressSto, 2010. 364 p.
7. Aloyan R.M., Fedosov S.V., Mizonov V.E. Teoreticheskie osnovy matematicheskogo modelirovaniya mekhanicheskikh i teplovykh protsessov v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Theoretical foundations of the mathematical modeling of mechanical and thermal processes in the manufacture of building materials]. Ivanovo: IGEU – IGASU, 2011. 256 p.
8. Rudobashta S.P. Massoperenos v sistemakh s tverdoi fazoi [Mass transfer systems in the solid phase]. Moscow: Khimiya, 1980. 248 p.
9. Sazhin B.S., Sazhin V.B. Nauchnye osnovy termovlazhnostnoi obrabotki dispersnykh i rulonnykh materialov [Scientific basis Vapor processing of disperse and roll materials]. Moscow: Khimiya, 2012. 716 p.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская академия архитектуры и строительных наук
Кабинет Министров Республики Татарстан
Академия наук Республики Татарстан
Министерство образования и науки Республики Татарстан
Министерство строительства, архитектуры и ЖКХ Республики Татарстан
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

VIII Академические чтения РААСН – Международная научно-техническая конференция

«Механика разрушения строительных материалов и конструкций»

18-20 сентября 2014 г. **г. Казань**

Основные научные направления

- Фундаментальные закономерности механики разрушения строительных материалов и конструкций.
- Механика свойств бетона, железобетона и других строительных материалов, закономерности разрушения конструкций.
- Современные методы исследования и моделирования механизмов разрушения строительных композитов и конструкций.
- Разрушение строительных материалов и конструкций под воздействием эксплуатационных факторов.
- Структурные факторы управления сопротивлением разрушению строительных композитов, наномодифицирование структуры и повышение сопротивления разрушению.

Адрес Оргкомитета:
420043, г. Казань, ул. Зелёная, 1, КГАСУ, УНИД, к. 1-78.
Контактные тел.: (843) 510-46-05, 510-46-39, 238-37-71, 510-46-36, 238-37-91
Факс: (843)236-26-88
e-mail: nauka-info@kgasu.ru, patent@kgasu.ru, irina-starovoitova@yandex.ru
сайт конференции: www.RAASN8.kgasu.ru

УДК 69.007: 691

Д.В. ОРЕШКИН, д-р техн. наук, В.С. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук,
Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Современные материалы и системы в строительстве – перспективное направление обучения студентов строительных специальностей

Рассмотрены методические вопросы преподавания дисциплин «Строительные материалы», «Современные материалы и системы в строительстве» в строительных вузах. Обоснована необходимость преподавания дисциплины «Современные материалы и системы в строительстве» студентам, обучающимся на факультете ПГС. Показано, что системный комплексный подход, заключающийся в последовательном преподавании указанных дисциплин, способствует лучшему усвоению студентами знаний в области строительных материалов, поскольку в основе курса «Современные материалы и системы в строительстве» лежит логически понятный конечный результат – здание или сооружение. В статье приведены основные компетенции, формируемые у студентов при изучении данной дисциплины. Даны методические указания преподавателю по организации обучения студентов дисциплине «Современные материалы и системы в строительстве». Сформулировано универсальное определение понятия «строительная система». Предложено определение понятия «комплектная строительная система». Рассмотрен опыт преподавания дисциплины «Современные материалы и системы в строительстве» кафедрой строительных материалов Московского государственного строительного университета. Приводятся перечень лекционных занятий, методические основы выполнения расчетно-графической работы. Показано, что подобная схема преподавания строительных материалов в вузах является перспективным направлением и дает возможность готовить квалифицированных специалистов в строительной отрасли.

Ключевые слова: строительные материалы, строительные системы, современные материалы, высшее строительное образование, промышленное и гражданское строительство.

D.V. ORESHKIN, Doctor of Sciences (Engineering), V.S. SEMENOV, Candidate of Sciences (Engineering),
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Modern Materials And Sistems In The Construction Are Perspective Direction Of Teaching Of Construction Specialties

The methodical questions of teaching of disciplines “Construction Materials”, “Modern materials and systems in the construction” in construction engineering institutions are considered. The necessity of teaching of discipline “Modern materials and systems in the Construction” to the students who are training in ICC faculty is proved. The main competences formed at students at studying of this discipline are given in article. Methodical instructions are given to the teacher.” Universal definition of concept “construction system” is formulated. Definition of concept “complete construction system” is offered. Experience of teaching of discipline “Modern materials and systems in construction” in the Moscow State University of Civil Engineering is considered. The list of lectures, methodical bases of settlement and graphic work are provided. It is shown that a such scheme of teaching in higher education institutions is the perspective direction and gives the chance to train the qualified experts in construction branch.

Keywords: construction materials, construction systems, modern materials, construction education, industrial and civil engineering.

Строительство является одной из главных составляющих развития экономики любой страны мира. Материальной основой строительного производства, согласно общему мнению, являются строительные материалы и изделия. Следовательно, в строительных вузах изучение дисциплины «Строительные материалы» приобретает первостепенное значение. Лучшие результаты, как показывает практика, приносит комплексное изучение строительных материалов, строительных конструкций и их совместной службы в зданиях и сооружениях.

В сентябре 2013 г. вступил в силу Закон РФ № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» от 29 декабря 2012 г. В соответствии с ним должны утверждаться стандарты высшего профессионального образования нового поколения. В последние годы во многих строительных вузах нашей страны для студентов, обучающихся по профилю «Промышленное и гражданское строительство», в дополнение к базовому курсу «Строительные материалы» стали преподаваться дисциплины, связанные с современными строительными материалами и системами. При этом практически отсутствует учебно-методическая литература по данным дисциплинам и общепринятая методика их преподавания.

На кафедре строительных материалов Московского государственного строительного университета в 2012/2013 учебном году началось преподавание новых курсов: «Современные строительные системы» и «Современные материалы в строительстве» для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 270800.62 «Строительство» (профиль подготовки «Промышленное и гражданское строительство»), и «Современные материалы и системы в строительстве» для студентов, обучающихся по специальности 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений» (специализация «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений»). С 2008 по 2013 г. кафедра преподавала также курс «Современные строительные материалы» для студентов, обучающихся по специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство». Данные дисциплины преподаются студентам после общеобразовательного курса «Строительные материалы», объем которого с 1 сентября 2014 г. в МГСУ составит 68 аудиторных часов для бакалавров и 102 аудиторных часа для специалистов, а его продолжительность составит два семестра. Для проверки знаний предусмотрены зачет и экзамен. Такой системный комплексный подход способствует лучшему усвоению студентами необходимых будущему строителю знаний в области строительных материалов.

Дисциплина «Современные материалы и системы в строительстве» является комплексной, она тесно связана со строительными конструкциями, архитектурой, технологией и организацией строительного производства, базируется на основном курсе «Строительные материалы». Задача преподавателя – рассмотреть не отдельно взятый строительный материал с определенным набором показателей качества, а работу материала в

конструкции, его функциональное назначение в системе, соответствие свойств материала условиям эксплуатации конструкции. Отталкиваться в данном случае следует от логически понятного конкретного результата – здания или сооружения определенного функционального назначения, эксплуатируемого в заданных условиях. Фактически в течение срока обучения студент изучает отдельные дисциплины, а рассмотреть здание как единое целое и проявить свои знания студент может только в ходе дипломного проектирования, в котором выбору строительных материалов уделяется крайне мало внимания. Между тем в реальной работе перед строителями и проектировщиками стоит проблема выбора строительных материалов. Этот выбор должен обеспечивать требуемые служебные свойства строительных конструкций в заданных условиях эксплуатации, безопасность и возможность реализации принятой технологии строительно-монтажных работ. Принятые технические решения должны способствовать минимизации временных, трудовых и финансовых затрат на строительство объекта. Общеизвестно, что строительные материалы оказывают решающее влияние на безопасность, надежность, включая долговечность, техническую, экономическую и энергетическую эффективность строительных объектов [1–9], а их стоимость составляет до 40–50% от сметной стоимости строительства объекта [1, 9]. В таких условиях подчас элементарные задачи при проектировании и устройстве строительных систем способны поставить строителя в тупик.

Целью преподавания дисциплины «Современные материалы и системы в строительстве» является ознакомление студентов с современными строительными материалами, основами проектирования современных строительных систем, формирование навыков самостоятельного выбора оптимальных технических решений, строительных материалов для возведения и отделки зданий с учетом их функционального назначения, условий эксплуатации, архитектурного облика, технической и экономической эффективности.

В результате освоения дисциплины «Современные материалы и системы в строительстве» студент должен:

- знать основные виды современных строительных материалов, требования к каждой группе материалов, их основные свойства, рациональные области применения, особенности технологии;
- знать основные виды современных строительных систем и основы их проектирования;
- знать факторы, обусловливающие выбор строительных материалов для различных частей зданий и сооружений;
- уметь комплексно анализировать нагрузки и воздействия окружающей среды на материал в несущих и ограждающих конструкциях при заданных условиях эксплуатации;
- уметь грамотно устанавливать требования к конструкционным, отделочным и изоляционным материалам и выбирать оптимальный, исходя из его назначения и условий эксплуатации, требований функциональности и архитектурной выразительности;
- уметь правильно выбирать конструктивные решения строительных систем, обеспечивающие требуемые показатели надежности, безопасности, экономичности, экологичности и эффективности зданий и сооружений;
- уметь проводить оценку качества строительных материалов по стандартным методикам;
- владеть практическими навыками оценки качества современных строительных материалов;
- владеть навыками проектирования типовых строительных систем.

Учебный курс «Современные материалы и системы в строительстве» включает следующие виды учебной работы:

- лекционные занятия;
- лабораторные работы;
- выполнение расчетно-графической работы;
- самостоятельную работу студента.

Лекционный курс базируется на рассмотрении четырех основных разделов, соответствующих последовательности возведения зданий и сооружений:

1. Системы изоляции фундаментов и подвалов.
2. Стеновые материалы. Фасадные системы.
3. Кровельные материалы и системы.
4. Отделочные материалы и системы.

Данные разделы следует разделить на две части: первая часть – материалы для устройства системы; вторая часть – собственно системы, в которых эти материалы применяются.

Разумеется, рассматриваемый курс не ограничивается обозначенными разделами и может быть дополнен и расширен по усмотрению лектора, что определяется, в частности, объемом аудиторной работы согласно учебному плану и глубиной изучения студентами основного курса «Строительные материалы».

Первая проблема, с которой сталкивается преподаватель дисциплины «Современные материалы и системы в строительстве», терминологическая. В научной и учебной литературе не существует общепринятого универсального определения строительной системы – базового термина дисциплины.

Как известно, система (от др.-греч. σύστημα – целое, составленное из частей; соединение) – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство [10]. Практически любой объект, любая строительная конструкция могут быть рассмотрены как система.

Обычно под строительными системами подразумеваются послойные конструкции, в которых комбинируются строительные материалы (фасадные, кровельные, отделочные системы и др.). Однако сводить понятие «строительная система» лишь к таким конструкциям не совсем верно, поскольку к строительным системам относятся также несущие (конструктивные) системы зданий, например каркасная, стеновая, каркасно-ствольная, объемно-блочная системы, система КУБ и др.). Необходимо универсальное определение, охватывающее обозначенные аспекты.

На основании классического определения «система» авторами работы [9] впервые было сформулировано универсальное понятие строительной системы.

Строительная система – совокупность конструктивных элементов и строительных материалов различного функционального назначения, имеющих определенное взаимное расположение и связи, обеспечивающая целостность, геометрическую неизменяемость, несущую способность, надежность и заданные эксплуатационные характеристики строительной конструкции в целом.

В дополнение к данному определению было предложено понятие комплектной строительной системы.

Комплектная строительная система – это строительная система, состоящая из комплекта материалов и конструктивных элементов, необходимых для ее устройства, а также нормативно-технологической документации, набора инструментов и отработанной технологии монтажа строительной системы. Примером могут служить комплектные системы фирм «Knauf», «Технониколь», Rockwool и др.

На лабораторных занятиях в рамках курса студенты знакомятся со стандартными методами испытания различных строительных материалов, знакомятся с коллекцией стеновых, кровельных, отделочных материалов.

Самостоятельная работа по курсу включает выполнение расчетно-графической работы, повторение и анализ лекционного материала, подготовку к лабораторным работам, текущему и итоговому контролю.

Выполнение расчетно-графической работы способствует более полному усвоению студентами лекционного материала и формирует у студентов навык самостоятельного выбора строительных материалов для конкретного здания и проектирования строительных систем. Расчетно-графическая работа выполняется студентами в группах по 3–4 человека. Группе студентов выдается задание, в котором указано функциональное назначение здания, этажность (как правило, два этажа), экспликация помещений, район строительства. Требуется предложить 2–3 варианта конструктивного решения наружной стены, кровли, междуэтажного перекрытия, 2–3 варианта отделки для двух помещений различного функционального назначения, выполнить теплотехнический расчет наружной стены, составить перечень используемых материалов с указанием их основных технических характеристик, выполнить экономическое сравнение предложенных вариантов, предложить оптимальные варианты. По итогам работы группа, выполнявшая задание, составляет пояснительную записку и представляет основные результаты работы в виде презентации. Для выполнения данной работы на кафедре строительных материалов МГСУ были разработаны соответствующие методические указания [9].

Таким образом, комплексное и последовательное изучение студентами курсов «Строительные материалы» и «Современные материалы и системы в строительстве» («Современные материалы в строительстве», «Современные строительные системы») является перспективным направлением и дает возможность готовить квалифицированных специалистов в строительной отрасли.

Список литературы

1. Орешкин Д.В. Проблемы строительного материаловедения и производства строительных материалов // *Строительные материалы*. 2010. № 11. С. 6–8.
2. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 14–16.
3. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 7–9.
4. Орешкин Д.В. Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства // *Строительные материалы*. 2010. № 6. С. 34–37.
5. Самарин О.Д. Нормирование энергопотребления здания с учетом теплопоступлений от солнечной радиации // *Жилищное строительство*. 2013. № 1. С. 32–34.
6. Орешкин Д.В., Беляев К.В., Семенов В.С. Теплофизические свойства, пористость и паропроницаемость облегченных цементных растворов // *Строительные материалы*. 2010. № 8. С. 51–54.
7. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: Изд-во АСВ, 2011. 296 с.
8. Самарин О.Д., Винский П.В. Особенности теплопередачи в современном энергоэффективном остеклении // *Жилищное строительство*. 2013. № 10. С. 11–13.
9. Семенов В.С., Розовская Т.А., Орешкин Д.В. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по курсам «Современные материалы и системы в строительстве», «Современные материалы в строительстве», «Современные строительные системы». М.: Изд-во МИСИ–МГСУ, 2014. 32 с.
10. Энциклопедический словарь. М.: Большая Российская энциклопедия, 2011. 1519 с.

References

1. Oreshkin D.V. Problems of building materiology and production of building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 11, pp. 6–8. (In Russian).
2. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. Accounting heat engineering heterogeneities when assessing the thermal protection of enveloping structures in Russia and European Countries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
3. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Quantitative assessment of energy efficiency of energy saving measures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 7–9. (In Russian).
4. Oreshkin D.V. Light-weight and superlight cement mortars for construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 6, pp. 34–37. (In Russian).
5. Samarin O.D. Rationing of building power consumption taking into account the heat input from solar radiation. *Zhilishhnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 1, pp. 32–34. (In Russian).
6. Oreshkin 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).
7. Samarin O.D. Teplofizika. Energosberezhenie. Energojeffektivnost [Thermophysics. Energy saving. Energy Efficiency]. M.: ASV. 2011. 296 p. (In Russian)
8. Samarin O.D., Vinsky P.V.. Features of heat transfer in modern power efficient glazing. *Zhilishhnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 10, pp. 11–13. (In Russian).
9. Semenov V.S., Rozovskaya T.A., Oreshkin D.V. Metodicheskie ukazanija k vypolneniju samostojatel'noj raboty po kursam «Sovremennye materialy i sistemy v stroitel'stve», «Sovremennye materialy v stroitel'stve», «Sovremennye stroitel'nye sistemy» [Methodical instructions to carry out extracurricular work on the courses "Modern materials and systems in the construction", "Modern materials in construction", "Modern construction systems"]. Moscow: MISI–MGSU. 2014. 32 p. (In Russian)
10. Jenciklopedicheskij slovar' [Encyclopedic Dictionary]. Moscow: Bol'shaja Rossijskaja jenciklopedija. 2011. 1519 p. (In Russian).

ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
журнала «Строительные материалы»®

http://ejournal.rifsm.ru/

21-я КАЗАХСТАНСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА "СТРОИТЕЛЬСТВО"

ufi Approved Event

KazBuild

2-5 сентября • 2014

АТАКЕНТ • АЛМАТЫ • КАЗАХСТАН

• СТРОИТЕЛЬСТВО
• ИНТЕРЬЕР
• КЕРАМИКА И КАМЕНЬ
• ОКНА, ДВЕРИ И ФАСАДЫ

www.kazbuild.kz

пройдет параллельно

aqua THERM ALMATY

ITE Iteca

Алматы, Казахстан, 050057, ул.Тимирязева, 42, 8 эта
World Trade Center Almaty; Тел.: +7 727 2583434;
Факс: +7 727 2583444; E-mail: build@iteca.kz

SibBuild

место проведения МВК «Новосибирск Экспоцентр»

3–6 февраля 2015

17–20 февраля 2015

МЕЖДУНАРОДНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ И ИНТЕРЬЕРНАЯ ВЫСТАВКА

Неделя архитектуры и строительства

- Оконные технологии
- Ворота и автоматика
- Инструменты и крепёж
- Строительные материалы и оборудование. Строительство
- Кровли и фасады

Неделя отделочных материалов и интерьерных решений

- Отделочные материалы
- Двери и замки
- Краски. Сухие строительные смеси
- Керамика. Сантехника
- Декоративный свет. Электрика
- Ткани в интерьере
- Натуральный и искусственный камень

ufi

ОРГАНИЗАТОР ITE ГРУППА КОМПАНИЙ

Организатор ITE Сибирь
ул. Станционная, 104, тел.: +7 (383) 363 00 63
e-mail: sibbuild@sibfair.ru, www.ite-siberia.ru

www.SibBuild.com

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 импортирование его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
– иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, 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

Подписано в печать 17.07.2014
Формат 60×88 1/8
Бумага «Пауэр»
Печать офсетная
Общий тираж 5000 экз.

Отпечатано в **ООО «Полиграфическая компания ЛЕВКО»**
Москва, Холодильный пер., д. 3, кор. 1, стр. 3

Набрано и сверстано
в РИФ «Стройматериалы»

Верстка **Д. Алексеев, Н. Молоканова**