

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №10



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

ОКТАБРЬ 2014 г. (718)

CONCRETE VISION

EBAWE разрабатывает, проектирует и устанавливает полностью укомплектованные линии по производству различных сборных бетонных изделий. Мы идеальный партнер для всех Ваших проектов - независимо от их объемов и типов!

www.ebawe.de

Посетите нас на стенде 32!
03.12. - 05.12.2014

ICCX Russia

www.iccx.org
Санкт-Петербург





ЗАВОД
ТЕХПРИБОР

г. Щекино Тульская обл.
ПРЕДЛАГАЕТ

Автоматизированные мельничные комплексы

«Трибокинетика-6000»

для производства минерального порошка

*В 2013 году реализовано
20 мельничных комплексов*

«Трибокинетика»!

8 (48751) 4-87-27

2 года гарантии

Сделано в России!

2 950 000 р. с НДС

✓ В наличии!

www.tpribor.ru

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

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№. 10

Основан в 1955 г.

(718) октябрь 2014 г.

Главный редактор:

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

Редакционный совет:

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

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

БУРБАНОВ 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)

ЛЕОНИЧ 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

Крупнопанельное домостроение

Е. И. ЮМАШЕВА, Л. В. САПАЧЕВА

Домостроительная индустрия и социальный заказ времени 3

«ГРУППА ЛСР» реализует одиннадцатый проект с многолетним партнером – фирмой WESKENMANN (Информация) 12

Оборудование компаний EBAWE и Echo Precast для модернизации производственной базы ГК «СУ-155» (Информация) 14

Технологии и оборудование

А. Б. ЛОСКУТОВ, В. Н. САПРЫКИН

Комплекс оборудования ОАО «НИИпроектасбест» для производства заполнителей бетонных и растворных смесей 17

А. И. НИЖЕГОРОДОВ

Энергосберегающая технология обжига вермикулитовых конгломератов в электрических модульно-спусковых печах с «нулевым» неэлектрифицированным модулем 20

А. А. ЛУКАШ, Н. П. ЛУКУТЦОВА

Гофрокартонная плита – эффективный теплоизоляционный материал 24

Результаты научных исследований

Е. В. ФОМИНА, Н. И. КОЖУХОВА, Ю. В. ПАЛЬШИНА, В. В. СТРОКОВА, А. Е. ФОМИН

Влияние механоактивации на размерные параметры алюмосиликатных пород ... 28

Н. И. МАКРИДИН, И. Н. МАКСИМОВА, Е. А. ТАМБОВЦЕВА

Сравнительный анализ механического поведения горных пород на диаграмме нагружения 34

Е. В. КОРОЛЕВ

Термодинамическое условие сохранности слоя вяжущего вещества 40

С. В. ФЕДОСОВ, В. Г. КОТЛОВ, Р. М. АЛОЯН, Ф. Н. ЯСИНСКИЙ, М. В. БОЧКОВ

Моделирование теплоассорбирования в системе газ – твердое при нагелевании элементов деревянных конструкций. Часть 4. Моделирование и численная реализация процессов конденсации, испарения и массопроводности влаги 44

А. А. СТЕНИН, А. М. АЙЗЕНШТАДТ, А. А. ШИНКАРУК, М. Л. ДЕМИДОВ, М. А. ФРОЛОВА

Минеральный модификатор поверхности для защиты строительных материалов из древесины 51

Р. В. ЛЕСОВИК, Д. М. СОПИН, Г. Г. ИЛЬИНСКАЯ, В. А. БОГУСЕВИЧ, Р. М. ГАЙНУТДИНОВ

Электропрогрев бетонных смесей на композиционных вяжущих 54

В. П. СЕЛЯЕВ, В. А. НЕВЕРОВ, Л. И. КУПРИЯШКИНА, О. Г. МАШТАЕВ

Природные и искусственные микрокремнеземы в качестве наполнителей вакуумных изоляционных панелей 59

В. С. ГРЫЗЛОВ, А. И. ФОМЕНКО, Н. М. ФЕДОРЧУК, Н. С. БУСЫГИН,

Х. Х. ТУРГУМБАЕВА, Т. И. БЕЙСЕКОВА, И. З. ЛАПШИНА

Электротермофосфорные шлаки как основа вяжущих композитов 66

Л. И. ЛЕОНТЬЕВ, О. Ю. ШЕШУКОВ, В. С. ЦЕПЕЛЕВ,

М. А. МИХЕЕНКОВ, И. В. НЕКРАСОВ, Д. К. ЕГИАЗАРЬЯН

Технологические особенности переработки сталеплавильных шлаков в строительные материалы и изделия 70

И. А. СТАРОВОЙТОВА, А. В. ДРОГУН, Е. С. ЗЫКОВА,

А. Н. СЕМЕНОВ, В. Г. ХОЗИН, Е. Б. ФИРСОВА

Коллоидно-химическая устойчивость водных дисперсий эпоксидных смол 74

С. В. БАСТРЫГИНА, Л. Г. ГЕРАСИМОВА

Тонкодисперсные отходы обогащения медно-никелевых руд – сырье для получения композиционных пигментов для лакокрасочных материалов ... 78

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 статью в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка и воспроизведение статей, рекламных и иллюстративных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.

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

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

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROYTEL'NYE MATERIALY® No. 10

Founded in 1955

(718) October 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Large-panel housing construction

E.I. YUMASHEVA, L.V. SAPACHEVA

The house-building industry and the social order of time 3

LSR Group Implements the Eleventh Project

with Its Long-Time Partner, WECKENMANN (Information) 12

Equipment of EBAWE and Echo Precast Co. for Modernization

of the Production Base of SU-155 Group of Companies (Information) 14

Technologies and equipment

A. B. LOSKUTOV, V. N. SAPRYKIN

Complex of Equipment of OAO "Nilproektasbest" for Producing Fillers

for Concrete and Mortar Mixes 17

A. I. NIZHEGORODOV

Energy-saving technology of firing vermiculite conglomerates

in the electrical module and triggers kilns with "zero" not electrified module 20

A. A. LIKASH, N. P. LUKUTTSOVA

Corrugated Cardboard Plate – Efficient Heat Insulating Material 24

Results of scientific research

E. V. FOMINA, N. I. KOZHUKHOVA, J. V. PALSHINA, V. V. STROKOVA, A. E. FOMIN

Effect of Mechanical Activation on Dimensional Parameters of Alumino-Silicate Rocks ... 28

N. I. MAKRIDIN, I. N. MAKSIMOVA, E. A. TAMBOVTSEVA

Comparative Analysis of Mechanical Behavior of Rocks on the Loading Diagram 34

E. V. KOROLEV

Thermodynamic Condition of Preserving the Layer of Binding Materials 40

S. V. FEDOSOV, V. G. KOTLOV, R. M. ALOYAN, F. N. YASINSKI, M. V. BOCHKOV

Simulation of Heat-Mass Transfer in the Gas – Solid System at Dowel Joints

**of Timber Structures Elements. Part. 4. Simulation and Numerical Realization
of Processes of Condensation, Evaporation and Mass Conductivity of Moisture** 44

A. A. STENIN, A. M. AYZENSHTADT, A. A. SHINKARUK, M. L. DEMIDOV, M. A. FROLOVA

A Mineral Modifier of a Surface for Protection of Wood Building Materials 51

R. V. LESOVIK, D. M. SOPIN, G. G. IL'INSKAYA, V. A. BOGUSEVICH, R. M. GAYNUTDINOV

Electric Heating of Concrete Mixes on the Basis of Composite Binders 54

V. P. SEL'YAEV, V. A. NEVEROV, L. I. KUPRIYASHKINA, O. G. MASHTAEV

Natural and Artificial Micro-silica as Fillers for Vacuum Insulation Panels 59

V. S. GRYZLOV, A. I. FOMENKO, N. M. FEDORCHUK, N. S. BUSYGIN,

Kh. Kh. TURGUMBAEVA, T. I. BEYSEKOVA, I. Z. LAPSHINA

Electrothermophosphoric Slags as a Basis of Binding Composites 66

L. I. LEONT'EV, O. Yu. SHESHUKOV, V. S. TSEPELEV, M. A. MIKHEENKOV,

I. V. NEKRASOV, D. K. EGIAZAR'YAN

Technological Features of Steelmaking Slag Processing in Building Materials

and Products 70

I. A. STAROVOYTOVA, A. V. DROGUN, E. S. ZYKOVA,

A. N. SEMENOV, V. G. KHOZIN, E. B. FIRSOVA

Colloidal-Chemical Stability of Water Dispersion of Epoxy Resins 74

S. V. BASTRYGINA, L. G. GERASIMOVA

Fine Disperse Tails of Copper-Nickel Ore Concentration are Raw Materials

to Produce Composite Pigments for Paint-and-Lacquer Materials 78

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

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

УДК 69.056.52

Е.И. ЮМАШЕВА, инженер-химик-технолог, Л.В. САПАЧЕВА, канд. техн. наук (ladavs@rambler.ru)
 ООО РИФ «Стройматериалы» (127434, Москва, Дмитровское ш., 9, стр. 3)

Домостроительная индустрия и социальный заказ времени

Современный этап крупнопанельного домостроения важен правильной и объективной оценкой направления дальнейшего развития этого вида возведения домов. Ошибочный выбор домостроительной системы для модернизируемого или создаваемого предприятия может привести к низкой конкурентности производства и строительству маловостребованного жилья. Среди существующих методов строительства жилья – панельного, каркасного и монолитного – самым эффективным остается метод строительства жилья из крупных панелей: по стоимости – на 20–25% дешевле других, по скорости строительства – более чем в два раза. Монолитное домостроение даже в виде сборно-монолитного сложно отнести к индустриальному домостроению. Для изменения системы опирания плит перекрытий с «узкого» шага поперечных стен для жилых домов эконома класса с пролетом по фасаду дома не более 4,2 м на «широкий» шаг с пролетом до 7 м требуются специальные предварительно напряженные изделия и формы. При выборе домостроительной системы для вновь строящихся и модернизируемых предприятий целесообразно ориентироваться на панельно-каркасную систему с применением многопустотных плит безопалубочного формования и каркаса на первом и подземных этажах зданий. Эти и другие вопросы обсуждали ученые и специалисты на крупнейшей в Российской Федерации **IV Международной научно-практической конференции «Развитие крупнопанельного домостроения в России – InterConPan-2014»** в Санкт-Петербурге 24–25 июня 2014 г.

Ключевые слова: домостроительная индустрия, крупнопанельное строительство, домостроительный комбинат.

E.I. YUMASHEVA, Engineer-Technologist, L.V. SAPACHEVA, Candidate of Sciences (Engineering) (ladavs@rambler.ru)
 ООО РИФ "Stroymaterialy" (9, building 3, Dmitrovskoe Highway, 127434, Moscow, Russian Federation)

The house-building industry has to correspond to the social order of time

the present stage of large-panel housing construction is important the correct and objective assessment of the direction of further development of this type of construction of houses. The wrong choice of house-building system for the modernized or created enterprise can result in low competition of production and construction of low-demanded housing. Among the existing methods of construction of housing – panel, frame and monolithic, the most effective still remain a method of construction of housing from large panels: at cost – is 20-25% cheaper than others, on construction speed – more than twice. Even in the form of assembly and monolithic it is difficult to refer monolithic housing construction to industrial housing construction. For change of system of an opiraniye of plates of overlappings from a "narrow" step of cross walls for houses the house-keeper of a class with flight on a house facade no more than 4.2 m on a "wide" step with flight to 7 m are required the special previously strained products and forms. At a choice of house-building system for again under construction and modernized enterprises it is expedient to be guided by panel and frame system with application of multihollow plates of bezopalubochny formation and a framework on the first and underground floors of buildings. These and other questions were discussed by scientists and experts at the "Development of Large-panel Housing Construction in Russia — InterConPan-2014" conference, largest in the Russian Federation, in St. Petersburg in June, 2014.

Keywords: house-building industry, large-panel construction, house-building combine.

Крупнопанельное домостроение переживает настоящий ренессанс. Во многих регионах страны на самом высоком уровне исполнительной власти ставят эту строительную технологию во главу решения важнейшей социальной задачи – обеспечения жильем граждан России. Здесь уместно напомнить, что всего несколько лет назад отношение к крупнопанельному домостроению было презрительно отрицательное, а его символом считались угрюмые ряды пяти и девятиэтажных домов, в своей безликости похожие друг на друга, как близнецы. В результате к рубежу XXI в. в стране осталось немногим более половины советских домостроительных комбинатов [1].

Ситуация радикально изменилась, когда стало очевидно, что с одной стороны, без крупнопанельного домостроения невозможно решить жилищную проблему в разумные сроки, а с другой стороны, что требования к качеству и визуальной привлекательности изменились даже у самых незащищенных и малообеспеченных групп населения, для которых в первую очередь и предполагалось строить много недорогого жилья. В 2011 г. по инициативе одного из старейших отраслевых научно-исследовательских и проектных институтов России – ЦНИИЭП жилища была проведена первая конференция, посвященная крупнопанельному домостроению. Стало очевидно, что эта индустрия имеет немалый потенциал [2]. В последующие годы домостроительные комбинаты стали модернизировать производственную базу, проектные организации принялись проектировать дома нового поколения [3–6].

IV Международная научно-практическая конференция «Развитие крупнопанельного домостроения в России – InterConPan-2014» по приглашению постоянного партнера журнала «Строительные материалы»®, спонсора конференции «Группы ЛСР», состоялась 24–25 июня 2014 г. в Санкт-Петербурге. Отметим, что Санкт-Петербург в настоящее время является одним из лидеров жилищного строительства России. В 2013 г. в городе на Неве построено 2,6 млн м² жилой площади. Весомый вклад в городскую копилку новых жилых метров внесла и «Группа

ЛСР» – в 2013 г. только в Санкт-Петербурге она ввела в эксплуатацию 177 тыс. м² жилья.

В работе конференции приняли участие более 230 человек из 30 регионов России и 7 зарубежных стран. Две трети участников – руководители и ведущие специалисты 55 строительно-инвестиционных компаний и домостроительных предприятий, а также 23 проектных организаций. Сочли необходимым принять участие в мероприятии представители 20 машиностроительных компаний из России, стран СНГ, Финляндии, Германии, Италии, Бельгии, Австрии, ученые из четырех российских вузов и десяти научно-исследовательских институтов.





В 2014 г. местом проведения конференции InterConPan был выбран Николаевский дворец, имеющий увлекательную историю. Здание было заложено 21 мая 1853 г. по распоряжению императора Николая I как парадная резиденция его третьего сына Николая. Архитектором был выбран А. И. Штакеншнейдер. Проект Николаевского дворца предусматривал возведение не только жилых помещений, но и манежа, конюшен, флигеля для прислуги и занял территорию в 2 га. Церемония открытия и освящения Николаевского дворца состоялась 1 декабря 1861 г. Для оформления вестибюля использовался «казенный камень», оставшийся от строительства Исаакиевского собора. Николаевский дворец изначально был оснащен водопроводом, канализацией, телеграфной

связью с Генштабом; громоотводами, гидравлическим лифтом с кабиной из красного дерева. К Николаевскому дворцу примыкал манеж, выполненный в арабском стиле и соединенный с ним отдельным переходом. Внутри дворца устроена домовая церковь Божией Матери Всех Скорбящих Радости в древнерусском стиле. Вход в нее был с парадной лестницы, сюда мог прийти помолиться любой желающий. В 1895 г. в здании дворца был открыт Ксениинский институт на 350 воспитанниц. Последний выпуск из Ксениинского института состоялся 4 марта 1918 г., после чего здание было передано Петроградскому Совету профессиональных союзов. С тех пор бывший Николаевский дворец известен как Дворец Труда.

Неизменными организаторами конференции являются Центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища) и объединенная редакция научно-технических журналов «Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®. Спонсорами мероприятия выступили ЦНИИЭП жилища и «Группа ЛСР». Партнерами конференции стали ЗАО «Патриот-Инжиниринг» (Москва), ООО «Торговый дом СУПЕРПЛАСТ» (Владимир), WESKENMANN (Германия), EVG (Австрия), ALLBAU (Германия).

В рамках пленарного заседания и двух секций участники конференции заслушали и обсудили 30 докладов о новых разработках проектов жилых домов и объектов соцкультбыта с применением технологии крупнопанельного домостроения, об опыте применения отечественного

и зарубежного оборудования на предприятиях ДСК и КПД, о возможностях устройства фасадов зданий по различным передовым технологиям. На секции «Технология и оборудование предприятий ДСК и КПД» большое внимание было уделено современным добавкам в бетон и герметизирующим материалам, цветным архитектурным бетонам и специальным смазкам для форм, новинкам технологического оборудования.

Генеральный директор ОАО «ЦНИИЭП жилища» **С.В. Николаев** сделал акцент на СПКД – системе панельно-каркасного домостроения, которая предназначена для строительства крупнопанельных и панельно-каркасных жилых, гражданских (детских садов, школ, поликлиник) и общественных зданий высотой от 2 до 25 этажей с гибкой планировкой помещений по всей высоте здания. Особенно важна гибкая планировка



С.Е. Шмелев, ген. директор ЗАО «ПАРТИОТ-Инжиниринг» (Москва)



А.И. Вахмистров, ген. директор, председатель правления «Группы ЛСР»



*С.В. Николаев, ген. директор
ОАО «ЦНИИЭП жилища»*

помещений для строящихся в настоящее время жилых домов эконом-класса, что позволит в последующем увеличивать площади построенных квартир и отдалить моральный износ еще вполне крепких зданий. Замена существующих многопустотных плит на плиты с многопустотными усилителями позволяет строить здания любого назначения с гибкой планировкой помещений и разнообразной архитектурой. Эффект от применения многопустотных плит безопалубочного формования по сравнению со сплошными плитами толщиной 160 мм возникает при увеличении глубины перекрываемого помещения свыше 6 м и достигает 10–15% при глубине помещения 8–9 м. Для производства сборных железобетонных изделий СПКД требуется гибкая технология их производства – от стенового формования на универсальных поворотных стендах с магнитным креплением деревянной опалубки до роботизированных конвейерных линий с паллетами размером 4×12 и более метров и изменяемой по высоте бортовой оснасткой. Обязательным дополнением в технологии являются длинномерные стенды с шириной дорожек от 1,2 до 2,4 м и длиной до 100 и более метров. В качестве опции следует предусматривать установку раздвигающихся кассет, оборудование для формования шахт лифтов, лестничных маршей и производства быстровозводимых стен и перегородок. При системном (холдинговом) подходе к организации строительства зданий СПКД целесообразно использовать кооперированные поставки изделий от нескольких производителей.

При условии индивидуального подхода; многообразия проектных решений в домах из сборного ЖБИ; устройства современных фасадов; оптимального соотношения цены и качества застройка крупнопанельными домами не будет производить впечатление типовой стандартной застройки! – так считают участники конференции.



*А.Г. Сидоров, ООО «Казанский ДСК»
(Республика Татарстан)*



*В.П. Шкатов, ген. директор «Албау» (Allbau
Software GmbH, Германия)*



Ю.Д. Тимофеев, «Группа ЛСР» (Санкт-Петербург)



Постоянный участник конференции В. Лихтнер



Новинки продукции представили передовые компании России и Европы: ЗАО «ПАТРИОТ-Инжиниринг» (Москва), ООО «Торговый дом СУПЕРПЛАСТ» (Владимир), Weckermann Anlagentechnik GmbH&Co. KG (Германия), Allbau Software GmbH (Германия), Entwicklungs- und Verwertungs-Gesellschaft GmbH (Германия) – партнеры мероприятия, а так же Ebawe Anlagentechnik GmbH (Германия), ЗАО «Инженерная компания «ИнтерБлок» (Москва), ЗАО «ЭЛТИКОН» (Москва), Construx (Бельгия), Tekla Corporation (Москва), ООО «Бийский завод стеклопластиков» (Алтайский край) и др.

Главный конструктор ЗАО «ЭЛТИКОН» **Р.В. Кузмичев** отметил, что при выборе конструктивной схемы здания в качестве универсальных могут быть предложены две системы, основанные на пустотных плитах безопалубочного формования: полносборная стеновая система с продольными или поперечными несущими стенами и полный каркас. Использование данных конструктивных систем позволяет реализовывать проекты комплексной застройки территории, обеспечивает современные требования к гибкости планировочных решений, позволяет реализовывать индивидуальные замыслы архитектора. В докладе он

В 2013 г. в России был впервые зафиксирован естественный прирост населения. В послании Федеральному собранию в декабре 2013 г. Президент России В.В. Путин предложил программу «Жилье для российской семьи». Он отметил, что один из лучших показателей рождаемости в нашей стране зафиксирован в конце 1980-х гг., когда был достигнут пик жилищного строительства, а значит, стимуляция роста строительства становится делом государственной важности. Программа «Жилье для российской семьи» подразумевает строительство не менее 25 млн м² жилья эконом-класса в тех 36 регионах страны, которые примут в ней участие. Стоимость квадратного метра будет на 20% ниже рыночной, но не превысит 30 тыс. р. Планируется, что к 2018 г. этот проект позволит решить жилищный вопрос 460 тыс. семей. По данным фонда РЖС, потребность жилой недвижимости в России составляет 280 млн м². Ежегодно в России необходимо строить не менее 100 млн м² жилплощади, чтобы обеспечить квартирами все регионы. По словам гендиректора Фонда РЖС А.А. Бравермана, в 2013 г. темпы строительства выросли на 5,6%. Общая площадь построенного жилья достигла 70,5 млн м².

Однако, по данным гендиректора Фонда содействия реформированию ЖКХ К.Г. Цицина, 54 субъекта РФ не справляются со сроками и объемами переселения граждан в новые квартиры из аварийного и ветхого жилого фонда. Всего 15 регионов страны успешно выполняют требования госпрограммы. В 2014 г. планируется предоставить около 2,8 млн м² нового жилья взамен аварийного.



А.М. Миклуляк и И.А. Батулин, ООО «Торговый дом СУПЕР-ПЛАСТ» (Владимир)



В. Грюнвальд, «Векенман» (Weckenmann Anlagentechnik GmbH & Co. KG, Германия)



В.В. Белов, д-р техн. наук, Тверской государственный технический университет

позатпно предложил системный поэтапный подход к реконструкции и новому строительству ДСК.

Производственно-технологические особенности проекта модернизации ООО «Казанский ДСК» осветил директор **А.Г. Сидоров**. Он показал основные задачи модернизации и пути их решения с целью перехода на выпуск деталей и конструкций домов серии АБД 9000, разработанной специалистами ООО «АК БАРС Инжиниринг». Было отмечено, что основным градостроительным принципом компании является квартальная, а не микрорайонная застройка за счет правила объединения в один дом не более трех секций (подъездов). Это обеспечивает приватность дворов, а также формирует более ликвидные лоты квартир на продажу. Компания также активно использует принцип разноэтажности секций, объединенных в один дом, что обеспечивает визуальную неагрессивность среды. Архитектурные решения применяются ко всему зданию, а не к его отдельным секциям.

На секции **«Архитектура и особенности проектных решений крупнопанельных зданий»** обсуждались вопросы эффективного проектирова-

ния строительных объектов, развития инновационных бизнес-проектов, проектирования шестнадцатизэтажных крупнопанельных домов серии 135с с учетом сейсмических нагрузок до 7 баллов, применения модулей при проектировании и строительстве детских образовательных учреждений.

Советник заместителя генерального директора направления «Строительство» «Группы ЛСР» **Ю.Д. Тимофеев** обратил внимание участников конференции, что удовлетворить потребности заказчиков можно при условии обеспечения разнообразной квартирографии; архитектурной выразительности; современной инженерии, горизонтальной разводки сетей, поквартирного учета всех энергоносителей; полной внутренней чистовой отделки; высокого качества производства работ. При этом разработка типовых проектов домов, а так же повторное использование проектов существенно сокращает сроки проектирования и позволяет оптимизировать стоимость строительства объектов.

Известно, что в Москве с 2016 г. предлагается прекратить возводить в Москве устаревшие серии панельных домов. Все используемые в настоящее время секции панельных домов спроектированы в основном в 1970–1980 гг. и страдают похожими изъянами. По мнению главного архитектора Москвы С.О. Кузнецова, строительство панельных микрорайонов не прекратится. Однако будут строиться принципиально новые, современные дома с привлекательным внешним обликом. С января 2013 по август 2014 гг. Регламентная комиссия Архитектурного совета Москвы выдала архитектурно-градостроительные решения на строительство 1 864 369 м² крупнопанельных домов. Это третья часть от общего числа объектов капитального строительства, получивших свидетельства Архитектурного совета за этот период. Власти города разработали «дорожную карту», в соответствии с которой до 1 января 2016 г. все домостроительные комбинаты, которые хотят поставлять свою продукцию на стройки Москвы, должны перейти на обновленные серии панельных секций. Команда специалистов Москомархитектуры в сотрудничестве с коллегами из профильных департаментов разработала основные критерии комфортной городской среды, которым должна отвечать продукция модернизированных ДСК: квартальность; наличие полноценных угловых секций; общественные первые этажи; разнообразие фасадов внутри квартала; вариативность высотности панельных секций; более свободная планировка квартир. В течение 2015 г. будет утвержден список устаревших панельных домов. По предварительным данным, в него войдет около 30 серий. Модернизация серий — это не только реконструкция производственных линий на домостроительных комбинатах. Главная цель — создание более комфортной и многообразной жилой среды.





ДЕВИЗ УЧАСТНИКОВ InterConPan : «УЗНАТЬ, УВИДЕТЬ, ПРИМЕНИТЬ!»

Едва ли не главной частью конференции InterConPan является выездная сессия, которая традиционно состоит из посещения производственного предприятия и строящихся объектов. В этом году спонсор конференции «Группа ЛСР» предложила коллегам посетить два жилых комплекса, которые возводятся из железобетонных изделий собственного производства «Группы ЛСР» на современном оборудовании с применением энергоэффективной бесшовной технологии отделки фасадов с единым фасадным остеклением лоджий и балконов.

ЖК «София» (Фрунзенский р-н Санкт-Петербурга) – масштабный проект, реализуемый поэтапно. Проектом предусмотрено строительство не только современных домов до 25 этажей, пешеходных променадов, детских и спортивных площадок, но и многоуровневых паркингов, парковок и мест под строительство социальных объектов. Все квартиры будут передаваться жильцам с полной отделкой. Общая полезная площадь 332,5 тыс. м². Срок сдачи 2014–2018 гг.

ЖК «Новая Охта» (Красногвардейский р-н Санкт-Петербурга) включает более двадцати многоэтажных жи-

лых домов со встроенно-пристроенными помещениями. По окончании строительства ЖК «Новая Охта» станет настоящим жилым микрорайоном со всей необходимой инфраструктурой: школами, детскими садами, магазинами и другими социальными и коммерческими объектами. Также у жителей будет живописная прогулочная зона вдоль р. Охта. Особенность проекта: хороший выбор трехкомнатных квартир небольшой площади и удачных планировок. Общая полезная площадь 806,5 тыс. м². Срок сдачи 2013–2017 гг.

Домостроительный комбинат «БЛОК» – крупнейший на Северо-Западе современный и высокотехнологичный комплекс индустриального домостроения по производству ЖБИ, где завершена широкомасштабная реконструкция. Комбинат обеспечивает полный цикл строительства жилых объектов «под ключ» от 3-х до 25-ти этажей из сборного железобетона. Объединяет проектную мастерскую, промышленное производство; строительное производство. С 2002 г. входит в состав «Группы ЛСР». С 2011 г. входит в бизнес-единицу «ЛСР. Строительство – Северо-Запад». Потенциал развития производственных мощностей в 2013 г. 500 тыс. м².



Обсудив итоги пленарной и выездной сессий, участники конференции отметили важность продолжения обмена информацией и опытом по развитию индустриального домостроения на основе гибкой технологии заводского производства и подтвердили целесообразность проведения научно-практической конференции по развитию крупнопанельного домостроения InterConPan ежегодно.

Участники конференции решили:

– обратиться к Министерству строительства и жилищно-

коммунального хозяйства с предложением создать «дорожную карту» по пилотным проектам строительства зданий панельно-каркасной системы домостроения;

– поручить ОАО «ЦНИИЭП жилища» совместно с заинтересованными домостроительными предприятиями организовать проведение исследований и испытаний замоноличиваемых соединений панельных и каркасных элементов с многопустотными плитами перекрытий, в том числе с многопустотными усилителями.





Петр I лично прибыл в Николаевский дворец поприветствовать участников конференции



Проведение конференции **InterConPan-2014** в Николаевском дворце в период белых ночей было инициировано организаторами, спонсорами и партнерами конференции. Традиционно конференцию завершает неформальное общение. Коллеги окунулись в атмосферу дворянских балов, насладились изысканной дворцовой кухней, концертной программой и даже пообщались с государем-новатором Петром I. Прощаясь, участники конференции увозят не только ценную информацию, но радость общения с друзьями и единомышленниками.



До встречи в 2015 году!

Список литературы

1. Николаев С.В. Решение жилищной проблемы в РФ на базе реконструкции и технического перевооружения индустриальной базы домостроения // *Жилищное строительство*. 2010. №2, С. 2–5.
2. Модернизация крупнопанельного домостроения – локомотив строительства жилья экономического класса // *Жилищное строительство*. 2011. №6. С. 2–6.
3. Соколов Б.С., Миронова Ю.В., Гатауллина Д.Р. Пути преодоления кризисного состояния крупнопанельного домостроения // *Строительные материалы*. 2011. №3. С. 4–6.
4. Тихомиров Б.И., Коршунов А.Н. Линия безопалубочного формования – завод КПД с гибкой технологией // *Строительные материалы*. 2012. № 4. С. 22–29.
5. Краснова Т.А., Батурин И.А. Вопросы повышения качества поверхности железобетонных изделий // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 25–27.
6. Богомолов О.В. Опыт энергосбережения на промышленных предприятиях // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 28–29.

References

1. Nikolaev S.V. Solution of Housing Problem in the Russian Federation on the Basis of Reconstruction and Technical Re-equipment of Housing Construction Industrial Base. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [HousingConstruction].2010. No. 2, pp. 2–5. (In Russian).
2. Modernization of Panel Construction - the Locomotive of Economy-Class Housing. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [HousingConstruction].2011. No. 6, pp. 2–6. (In Russian).
3. Sokolov B.S., Mironova Yu.V., Gataullina D.R. Ways of Overcoming of Crisis Situation in Large- Panel Housing Construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 3, pp. 4–6. (In Russian)
4. Tikhomirov B.I., Korshunov A.N. Formless molding line is the ability to create a large-panel prefabrication plant with flexible technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 4, pp. 22–26. (In Russian).
5. Krasnova T.A., Baturin I.A. Issues of Improving the Surface Quality of Reinforced Concrete Products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 25–27. (In Russian).
6. Bogomolov O.V. Experience of Energy Saving at Industrial Enterprises. *Stroitel'nye Materialy*[Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 28–29. (In Russian).



ДСК "Рузский Дом" - одно из крупнейших
домостроительных предприятий Московской области,
осуществляющее проектирование и строительство многоквар-
тирных панельных домов собственной серии РД-17.04.



ДСК
РУЗСКИЙ ДОМ

Московская область,
Рузский р-н, п. Тучково, ул. Восточная, дом 25

Тел: 8(495) 992-72-03; 8(495) 992-72-17



Build Ural

**Международная
строительная
и интерьерная
выставка**

17-20 февраля 2015
Россия, Екатеринбург
МВЦ «Екатеринбург – Экспо»

Подробнее на сайте
www.build-ural.ru

ITE Урал
Тел.: +7 (343) 380-22-80
E-mail: build-ural@ite-ural.ru
www.ite-ural.ru



«ГРУППА ЛСР» реализует одиннадцатый проект с многолетним партнером — фирмой WECKENMANN

«Группа ЛСР» — крупнейший строительный холдинг Российской Федерации работает на строительном рынке России с 1993 г. Отлаженные механизмы позволяют предприятиям «Группы ЛСР» комплексно удовлетворять потребности клиентов, одновременно снижая свои производственные затраты и оперативно реагируя на изменение тенденций в строительной отрасли. Основные направления деятельности «Группы ЛСР» — девелопмент и строительство недвижимости, производство строительных материалов.

Благодаря качеству продукции и услуг «Группа ЛСР» хорошо известна на рынке. Домостроительные комбинаты «Группы ЛСР» в Санкт-Петербурге, Москве и Екатеринбурге производят 1 млн м² жилья в год. На всех предприятиях этих регионов эксплуатируется оборудование фирмы WECKENMANN.

За 7 лет сотрудничества специалистов фирмы WECKENMANN и «Группы ЛСР» реализованы следующие проекты:

- 2007 г.:** циркуляционная линия и девять кассетных форм на ДСК «Блок» (Санкт-Петербург);
- 2008 г.:** первая циркуляционная линия на ЖБИ-6 (Москва);
- 2008 г.:** четыре циркуляционные линии на Гатчинском ДСК (г. Гатчина, Ленинградская обл.);

- 2010 г.:** вторая циркуляционная линия на ЖБИ-6 (Москва);
- 2011 г.:** две кассетные формы на Гатчинском ДСК (г. Гатчина, Ленинградская обл.);
- 2012 г.:** вторая циркуляционная линия и восемь кассетных форм на ДСК «Блок» (Санкт-Петербург);
- 2012 г.:** третья циркуляционная линия на ЖБИ-6 (Москва).

В феврале 2014 г. запущена циркуляционная линия на заводе «ЛСР. Строительство-Урал» (Екатеринбург), который является лидером рынка индустриального строительства Урала, одним из крупнейших предприятий по производству железобетонных изделий, проектированию и строительству объектов различного назначения.



Инженеры «Группы ЛСР» и фирмы WECKENMANN знакомы давно, поэтому реализация проекта шла по отлаженной схеме. Подготовительные работы к монтажу оборудования специалисты «Группы ЛСР» реализовали в кратчайшие сроки

Монтаж оборудования начался во второй половине октября 2013 г., а уже в начале февраля 2014 г. произведена первая формовка (необходимо учесть нерабочее время рождественских каникул).

Жилые дома, построенные специалистами «ЛСР. Строительство-Урал», считаются лучшими в своем классе по внешним архитектурным отли-

чиям, конструктивным и удобным планировочным решениям, а бесшовная технология возведения фасадов позволяет решать вопросы энергосбережения в индустриальном домостроении. Дома, выполненные с применением бесшовной технологии отделки фасада, уже более десяти лет возводятся предприятиями «Группы ЛСР» в Москве и Санкт-Петербурге.



Под профессиональным руководством шеф-монтажников фирмы WECKENMANN работы проводились строго по графику. Все металлоконструкции, выполняемые заказчиком, были смонтированы по чертежам WECKENMANN



В период монтажа установлены три сушильные камеры, лифт для складирования паллет в камеры сушки; компоненты для передвижения паллет; комбинированная машина очистки-смазки паллет со встроенным плоттером для нанесения контура изделий; два крана для установки и снятия опалубки; роликовый транспортер с системой очистки и смазки опалубки; тележки поперечного передвижения; бетонораздатчик; комбинированная станция вибрации и взбалтывания; вертолет – заглаживающее устройство для обработки поверхности бетона; кантователь и опалубочные борты

Благодаря высокой заводской готовности изделий и независимости ведения монтажных работ от погодных условий сборные дома строятся очень быстро. Различные варианты конфигурации конструктива дома позволяют эффективно работать с любыми заказчиками. Система индустриального домостроения «ЛСР. Строительство-Урал» позволяет изменять высоту этажа, этажность зданий, планировочные решения, учитывая требования рынка, гибко и полно удовлетворять потребности многоквартирного жилого домостроения, сектора муниципального жилья, индивидуального жилищного строительства.

Модернизация производства и высокое качество нового оборудования, внедренные на произ-

водственной площадке «ЛСР. Строительство-Урал», позволят компании продолжить динамичное развитие в Уральском регионе.

Подписание акта ввода оборудования: руководитель проекта фирмы WECKENMANN В. Грюнвальд и главный инженер «ЛСР. Строительство-Урал» О.Ф. Федотов



WVA
WECKENMANN

Weckenmann Anlagentechnik GmbH & Co. KG
Birkenstr. 1

72358 Dormettingen (Germany)

Phone: +49 7427 9493 0

Telefax: +49 7427 9493 29

<http://www.weckenmann.com>

E-mail: info@weckenmann.de

Оборудование компаний EBAWE и Echo Precast для модернизации производственной базы ГК «СУ-155»

Один из крупнейших застройщиков РФ – ГК «СУ-155» проводит модернизацию производственной базы. Компании EBAWE и Echo Precast, входящие в PROGRESS GROUP, поставляют оборудование для двух предприятий ГК «СУ-155» на сумму 12 млн евро



Ввод в эксплуатацию бетонораздатчика на ЗАО «Клинский проектно-строительный комбинат» (Московская обл.)



Оборудование для ОАО «Домодедовский завод железобетонных изделий» (Московская обл.)



Детский сад, построенный с использованием пустотных плит перекрытия

Компания EBAWE Anlagentechnik GmbH (г. Айленбург, Германия) осуществило поставку и монтаж оборудования для реконструкции ЗАО «Клинский проектно-строительный комбинат» (г. Клин, Московская обл.). Новое оборудование предназначено для производства наружных стеновых сэндвич-панелей, однослойных межкомнатных стеновых панелей и плит перекрытий. Производство вышеназванных элементов осуществляется на двух линиях циркуляции паллет в комплексе с оборудованием для изготовления элементов армирования производства компании Progress Maschinen & Automation – дочернего предприятия PROGRESS GROUP. Наряду с установкой для автоматической сварки арматурной сетки M-System Evolution поставлены гибочный автомат EBA S12 для автоматического изготовления различных арматурных скоб из бухтовой арматуры, линия для изготовления двухветвевых каркасов (лесенок) и др. Предприятие оснастили установкой обработки арматурных прутков, а также вертикальным манипулятором для сварки арматурных каркасов.

Обе линии циркуляции паллет обладают высокой степенью автоматизации: установка магнитной опалубки на паллеты полностью автоматизирована благодаря системе, состоящей из складского и опалубочного роботов. Складской робот выбирает нужные элементы опалубки согласно данным САПР из опалубочного склада, укладывает их на подающий транспортер и отправляет к опалубочному роботу, который принимает и укладывает их на поверхности паллет точно по размеру и контуру производимых изделий. По окончании производственного цикла магнитная опалубка вручную снимается с паллет и с помощью ленточного конвейера подается через машину чистки и смазки к складскому роботу, который возвращает их на склад для новой загрузки.

Особо стоит выделить автоматическую машину резки теплоизоляционного материала, которая используется при производстве стеновых сэндвич-панелей. Это инновационное решение для рационального раскроя теплоизоляции разработано фирмой EBAWE. Режущая головка по-

зволяет выполнять не только ровные, косые и круговые разрезы, но и круглые отверстия. Наряду с традиционными полистирольными теплоизоляционными плитами возможна обработка и минеральной ваты. Входящее в комплект поставки программное обеспечение считывает подготовленные для этого САПР-данные, идентифицирует подлежащую обработке теплоизоляционную плиту и самостоятельно вырабатывает все данные для производственного процесса. Для транспортировки свежего бетона от смесительной установки к формирующему оборудованию предусмотрены две линии автоматической адресной подачи бетона с кубелями объемом 1,5 м³ каждый.

Линии циркуляции паллет имеют универсальную систему управления ebos[®], которая позволяет осуществлять управление, контроль и оптимизацию всего процесса производства готовых изделий. Система ebos[®] – это общее комплексное решение для подготовки и контроля производства, а также анализа процессов. При этом отпадают проблемы со стыковкой различных систем, и сотрудники могут осуществлять весь рабочий процесс в одной гомогенной и удобной для пользователя системе.

Специалисты PROGRESS GROUP осуществили поставку оборудования для изготовления предварительно напряженных пустотных плит перекрытия фирмы Echo Precast Engineering для другого подразделения ГК «СУ-155»: ОАО «Домодедовский завод железобетонных изделий» (г. Домодедово, Московская обл.). Установленная линия непрерывного формования – универсальная комбинированная линия, позволяющая производить в одном пролете пустотные преднапряженные плиты перекрытия шириной 1200 мм и 1500 мм, толщиной 100–400 мм, а также другую продукцию: сваи, перемычки, дорожные плиты и т. д. При выполнении этого заказа были установлены экстремально короткие сроки поставки, которые специалисты с успехом выполнили. Уже через несколько дней после ввода оборудования в эксплуатацию осуществлена поставка и монтаж первых пустотных плит перекрытия для строительства детского сада.

EBAWE Anlagentechnik GmbH
 Dübener Landstr. 58
 04838 Eilenburg
 Германия
 Тел.: +49 3423 6650
 Факс: +49 3423 665200
 info@ebawe.de
 www.ebawe.de



Echo Precast Engineering NV
 Industrieterrein Centrum Zuid 1533
 3530 Houthalen
 Бельгия
 Тел.: +32 11 600 800
 Факс: +32 11 522 093
 info@echoprecast.com
 www.echoprecast.com



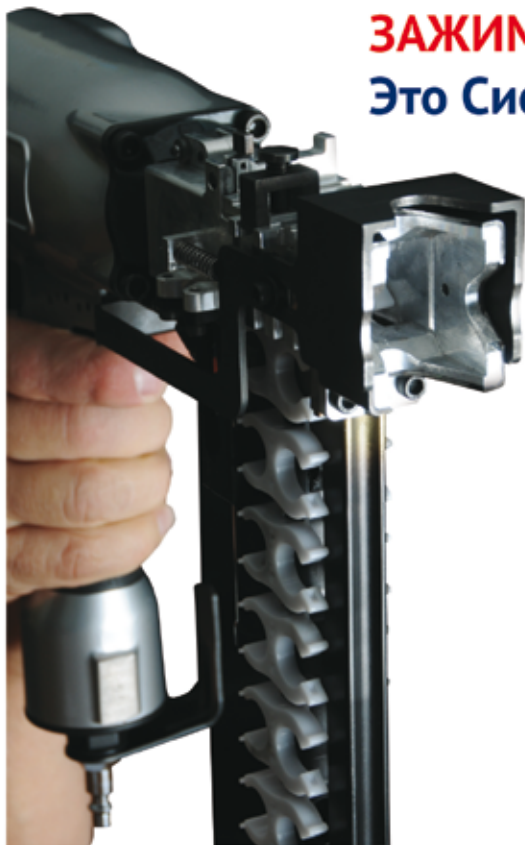
KODI KLIP™

Система фиксации арматуры

БЫСТРО – НАДЁЖНО – ПРОСТО!

ЗАЖИМ-КЛИПСА С «ЖЕЛЕЗНОЙ ХВАТКОЙ»

Это Система Kodi Klip™



Быстрое, безопасное и прочное соединение арматуры – всё для снижения стоимости проекта по сравнению с другими методами.

Экономьте время.

Система Kodi Klip значительно быстрее провололочной обвязки. Никогда не существовало более быстрого способа соединения арматуры.

Экономьте деньги.

Снижает травмо-опасность арматурщиков, порезы, боли в спине от наклонов и повторяющихся движений – уменьшение компенсационных выплат по болезни.

Снижение расходов путем исключения необходимости в арматуре более высокого класса, требуемого для сварки.

Обеспечение здоровья и безопасности.

Снижает вероятность травм ног и спины от наклонов, порезов от проволоки, ожогов от сварки и т.л.

Ассортимент продуктов

Стандартные зажимы

Kodi Klip™ это зажим-клипса, с «железной хваткой». Сделайте больше соединений за меньшее время и с меньшей травмо- опасностью для монтажников.

Уникальная запатентованная конструкция. KODI KLIP™ - сделан из ряда компонентов в т.ч. с использованием поликарбонатной смолы, материала используемого в пуленепробиваемом стекле.

Не подвержен коррозии. Зажим не ржавеет, не повреждает поверхность стандартной арматуры и арматуры из стекловолокна.

Универсальность. Подходит для перпендикулярных, параллельных и вертикальных соединений использования в качестве распорок.

Отлично подходит для формирования каркасов различной сложности.

Плотно держит в четырех направлениях, исключает подставки, и создает надежные соединения, сохраняющие форму каркаса. С лёгкостью поднимайте и перемещайте решётки и каркасы, собранные с использованием системы KODI KLIP™.

Легкая операция. Зажимы-клипсы защелкиваются в нужном положении и надёжно соединяют арматуру.

Простое кодирование. Зажимы имеют цветовую кодировку для каждого размера, что облегчает работу монтажников и контроль процесса.

KODI KLIP™ пистолет-аппликатор

Патентованный инструмент для установки зажимов работает с пневматическими системами низкого давления 4,5...6,0 bar.

Легкое обучение. Требуется всего несколько минут.

Небольшой вес и компактность инструмента снижает утомляемость оператора.

Быстрая зарядка кассетами клипс.

Надежный инструмент индустриального качества.

Эксклюзивный представитель в России и СНГ



E U R O T E C H . L T D

DVI Eurotech Ltd.

109129, Россия, Москва, ул. Текстильщиков, 8-я, дом 11

Тел. (499) 176-8751

Факс (499) 176-8752

e-mail: info@dvieweurotech.com

www.dvieweurotech.com

CASTTEC ТЕРМОКЛЕЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

для крепления закладных при производстве ЖБИ от ведущего европейского производителя – **Power Adhesives Ltd. (UK)**



CASTTEC клеевая технология крепления закладных деталей в ЖБИ-производстве, основана на применении термоплавкого клея **CASTTEC 42-43 / CASTTEC 27-BK** и оборудования для его нанесения: **TEC**-пистолетов и клеевых систем резервуарного типа, в большинстве случаев выгодно отличается в сравнении с другими методами фиксации закладных по ряду основных факторов: производительность; простота применения; мобильность; трудоёмкость и себестоимость.

CASTTEC – клей не требует использования праймеров, схватывается практически мгновенно, легко удаляется с формы и закладных после распалубки. **CASTTEC** наносится с помощью высокопроизводительных **TEC**-клеевых пистолетов в виде точек, линий или распылением и значительно упрощает и ускоряет процесс подготовки ЖБИ-изделий. Варианты материалов, на которых **CASTTEC** клей эффективно

работает (в т. ч. по смазке), в любых комбинациях, на «горизонте» и «вертикали»: металл, дерево, ПНД и другие пластики, пенополистирол, финская фанера, дерево и многие другие.

Значительная часть предприятий ЖБИ отрасли Европы, США, Японии более 10 лет используют **CASTTEC** в технологическом процессе. В России технология была представлена в 2007 году и в настоящее время используется более чем на 80-ти предприятиях, в т.ч.: заводами Группы компаний ЛСР (ЖБИ-6; ДСК БЛОК; БЕТФОР; ЖБИ-30 и ЖБИ-1 ПО БАРРИКАДА и др.), БЕТСЕТ, КЛИНСТРОЙДЕТАЛЬ, заводами концерна КРОСТ, ИРДОН, БЕРИТ и многими другими.

Инженеры **DVI Eurotech**, безвозмездно, проведут испытания в условиях Вашего производства и при необходимости передадут **CASTTEC** – комплект для тестовой эксплуатации, на период 1-2 месяца.



Эксклюзивный представитель
POWER Adhesives в России



E U R O T E C H . L T D

DVI Eurotech Ltd.

109129, Россия, Москва
ул. Текстильщиков, 8-я, дом 11
Тел. (499) 176-8751
Факс (499) 176-8752
e-mail: info@dviurotech.com

www.dviurotech.com

УДК 621.928.2:622.73

А.Б. ЛОСКУТОВ¹, заведующий проектно-конструкторским отделом (pko@niiasbest.ru);
В.Н. САПРЫКИН², технический директор

¹ ОАО «НИИпроектасбест» (624266, Свердловская обл., г. Асбест, ул. Промышленная, 7)

² Группа компаний «Строй Микс Сервис» (620017, г. Екатеринбург, ул. Фронтových Бригад, 18)

Комплекс оборудования ОАО «НИИпроектасбест» для производства заполнителей бетонных и растворных смесей

С целью эффективного использования природных ресурсов и повышения качества бетонных и растворных смесей разработана сортировочная установка для фракционирования природного песка и отсевов дробления горных пород. Преимуществом установки является ее простота, надежность и небольшие габариты. Ее можно устанавливать на открытом воздухе в непосредственной близости от БСУ. Приведены технические характеристики и типоразмерный ряд. На примере эксплуатации установки на предприятии показаны особенности ее эксплуатации на разных видах исходного сырья в теплое и холодное время года.

Ключевые слова: фракционирование, инерционный грохот, сортировка, песок природный, отсевы дробления, бетонная смесь, растворная смесь.

A.B. LOSKUTOV¹, Head of Design-and-Engineering Department (pko@niiasbest.ru); V.N. SAPRYKIN², Technical Director

¹ OAO "NIIproektasbest" (7, Promyshlennays Street, Asbest, 624266, Sverdlovsk Oblast, Russian Federation)

² "Stroy Mix Service", Group of Companies (18, Frontovyykh Brigad Street, 620017, Ekaterinburg, Russian Federation)

Complex of Equipment of OAO "NIIproektasbest" for Producing Fillers for Concrete and Mortar Mixes

For the purpose of effective use of natural resources and improving the quality of concrete and mortar mixes, a sorting unit for fractioning of natural sand and rock fragmentation dust has been developed. The advantage of this unit is simplicity, reliability and small dimensions. It can be installed outdoors in close proximity to concrete mixing plant. The technical characteristic and standard dimensions series are presented. Peculiarities of its operation with various types of feedstock in warm and cold seasons are shown on the example of the unit operation at the factory.

Keywords: fractioning, inertia screen, sorting, natural sand, fragmentation dust, concrete mix, mortar mix.

Ориентируясь на эффективное применение современных технологий и материалов для качественного и быстрого строительства любых объектов, необходимых обществу, производители товарных бетонов, строительных растворов предъявляют все более высокие требования к качеству их основных компонентов, в том числе к заполнителям. От качества заполнителей, их взаимодействия с вяжущими зависят конечные свойства бетона, растворов. Известно, что заполнители (песок, гравий и щебень) образуют в бетоне жесткий скелет и уменьшают усадку при твердении цементного камня. В целях уменьшения расхода цемента необходимо подбирать зерновой состав заполнителей, обеспечивающий плотную структуру бетона.

Гранулометрический (зерновой) состав песка является основным показателем его качества. Обычно природные пески по зерновому составу или содержанию примесей не соответствуют требованиям стандарта.

В этом случае осуществляется фракционирование песка, т. е. разделение его на фракции по крупности зерен.

Эффективное решение этой задачи предлагается научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом асбестовой промышленности (ОАО «НИИпроектасбест») с использованием своих разработок. Более 60 лет институт активно участвует в решении проблем строительной индустрии в целом, занимая определенную нишу на рынке дробильно-классифицирующего оборудования: осуществляет комплексные работы по реконструкции и техническому перевооружению предприятий, занимающихся сухой переработкой минерального сырья.

Для переработки отсевов дробления, природного песка институтом разработаны и внедрены установки для их фракционирования (рис. 1). Малогабаритные установки, размещаемые на открытом воздухе рядом с основным производством растворов, помимо реше-



Рис. 1. Общий вид установки



Рис. 2. Грохоты инерционные легкого типа (сортировка продукции)

Параметр	Модель				
	C-600	C-1000	C-1250	C-1500	C-2000
Производительность, т/ч*, до	10	25	35	50	100
Установленная мощность, кВт	0,75	1,5	2,2	2,2	4
Размер просеивающей поверхности, мм	600×1200	1000×2000	1250×2500	1500×3000	2000×4000
Габаритные размеры, мм					
– длина	1980	2730	3455	3700	4275
– ширина	1170	1780	2050	2370	2860
– высота	1440	1780	2120	2200	2270

* Производительность зависит от вида перерабатываемых материалов и размеров ячеек сита.

ния вопроса узкой классификации строительного песка обеспечивают раздельное складирование фракций материала с возможностью их последующего дозирования.

В качестве основного вида технологического оборудования в составе установок применяются грохоты инерционные легкого типа (сортировки) (рис. 2). Они отличаются простотой конструкции и высокой надежностью, а технологические показатели находятся на уровне лучших зарубежных аналогов. Спиральная траектория движения материала по ситам обеспечивает высокую производительность и точность разделения. Для исключения пылевыведения в окружающую среду сортировки имеют патрубок для присоединения к системе аспирации, при этом их герметичность дополнительно обеспечивается лабиринтными уплотнениями укрытий и резиновыми гофрированными рукавами на загрузочных устройствах. В качестве механических очистителей сит используются резиновые шары. Технические характеристики грохотов приведены в таблице.

Опыт эксплуатации грохотов в составе комплексов для отсева природных песков подтвердил их успешную работу на десятках предприятий. Одним из последних объектов внедрения можно назвать предприятие «Строй Микс Сервис» (Екатеринбург), выпускающее бетонные и растворные смеси по любой рецептуре. Предприятие обладает собственными производственными мощностями, оснащенными современными высокотехнологичными бетоносмесительными узлами (БСУ) финской фирмы Teswill и немецкой фирмы Liebherr. Компания также оказывает услуги по доставке бетонных и рас-

творных смесей на строительные объекты с подачей к месту укладки.

Для очистки карьерного песка от камней, глинистых включений, крупных фракций с целью получения заданного зернового состава заполнителя предприятием была приобретена у ОАО «НИИпроектасбест» установка по отсева песка, которую разместили на открытом воздухе рядом с основным производством растворов. Согласно исходным требованиям на установке предусматривалось получение трех фракций готового продукта из отсева дробления горных пород и песка природного происхождения с влажностью 2–6 %: -60+10 мм; -10+3 мм; -3+0 мм.

Загрузка исходного продукта предусмотрена фронтальным погрузчиком с одной стороны бункера (рис. 3). В состав установки включены приемный бункер с металлической решеткой 60×60 мм и виброактиваторной системой выгрузки на ленточный безроликковый питатель ПЛ-500; элеватор ЭЛМ-350 (рис. 4) и сортировка С-2-2000, на которой предусматривались две сетки: 3 и 10 мм. Разгрузка и складирование готовых фракций песка происходит в три металлических отсека склада, расположенных под площадкой обслуживания сортировки. Отгрузка готовых фракций из отсеков склада производится погрузчиком из конусов готовой продукции.

Техническая характеристика установки для отсева песка

Производительность, т/ч.....	до 40
Крупность исходного сырья, мм.....	до 60
Установленная мощность, кВт.....	12,55
Габаритные размеры площадки, длина/ширина, мм.....	12000/6000

В конкретных условиях эксплуатации установки влажность исходного природного песка составила 8–11%. Это обусловило необходимость замены на грохоте технологической сетки 10 мм на сетку с размером ячейки 12 мм и удалению сетки 3 мм из-за залипания. Из-за высокой влажности исходного материала, в 2–4 раза превышающей нормативный показатель, грохот пришлось оборудовать дополнительными средствами очистки сит – подвесными цепями.

Несмотря на изменение сеточного режима, введение в технологию производства операции отсева природного песка позволило предприятию освоить выпуск стабильно качественных заполнителей, обеспечило конкурентоспособность готовой продукции, привлечение дополнительных потребителей. С приобретением и вводом в эксплуатацию установки по отсева природного песка конструкции ОАО «НИИпроектасбест» только за первые 10 месяцев ее работы объем производства и реализации качественных растворных смесей на предприятии «Строй Микс Сервис» увеличился вдвое.



Рис. 3. Загрузка исходного продукта фронтальным погрузчиком



Рис. 4. Элеватор ЭЛМ-350

Однако в холодный период года, с ноября по апрель, у предприятия возникает проблема рассева природного песка с высокой влажностью. При отсутствии сушильного агрегата установка для отсева природного песка переводится в режим работы на отсевах дробления горных пород. На грохоте устанавливаются две технологические сетки с размером ячеек сит 10 и 3 мм для получения трех фракций готового продукта: -60+10 мм; -10+3 мм; -3+0 мм. При таком режиме эксплуатации установки предприятие получает помимо мелкого заполнителя фракции готовых продуктов, как для собственного использования, так и для дополнительной реализации.

В настоящее время в номенклатуре продукции, выпускаемой ОАО «НИИпроектасбест», широкий типоразмерный ряд дробильно-классифицирующего, транспортирующего оборудования, позволяющего скомплектовать различные варианты линий (комплексов, установок) по эффективной переработке песка, мрамора, известняка, доломита, мела, гипса, извести, ракушечника, шлака и других материалов. Наряду с высокими технологическими показателями оборудование ОАО «НИИпроектасбест» отличается надежностью и удобством в эксплуатации, экологической безопасностью. Подтверждением тому служат многочисленные примеры внедрения разработок института в России и странах СНГ.

Принцип осуществления полного цикла работ, от выполнения исследований, разработки и изготовления оборудования до наладки и пуска его в эксплуатацию, позволяет специалистам института успешно решать задачи, поставленные заказчиками.

Реклама

ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

щебень, крошка, песок,
минеральная мука,
наполнители

оборудование
технические решения
проектирование
инжиниринг

«НИИпроектасбест»
624266, Россия, Свердловская область,
г. Асбест, ул. Промышленная, д. 7

+7 (34365) 43-317

www.niiasbest.ru

Энергосберегающая технология обжига вермикулитовых конгломератов в электрических модульно-спусковых печах с «нулевым» неэлектрифицированным модулем

Рассмотрена энергосберегающая технология обжига вермикулитовых конгломератов в электрических модульно-спусковых печах с «нулевым» неэлектрифицированным модулем. Окончательное вспучивание вермикулита осуществляется не от внешнего источника теплового излучения, как это делается в основных, вышерасположенных электрифицированных модулях, а в специальном «нулевом» модуле за счет внутренней тепловой энергии, накопленной в самом вермикулите и инертном материале. В плоском щелевидном пространстве «нулевого» модуля происходит перенос лучистой энергии песка на вермикулитовые зерна и параллельно с этим идет кондуктивный перенос теплоты в самих зернах с наружных в их глубинные слои. Такой способ рекуперации тепловой энергии позволяет заместить третий электрифицированный модуль неэлектрифицированным, что приводит к уменьшению потребления электроэнергии на 33% и, следовательно, понижению удельной энергоемкости обжига вермикулитовых конгломератов.

Ключевые слова: вермикулитовый конгломерат, вспученный вермикулит, инертный материал, электрическая печь, энергия теплоусвоения.

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

Energy-saving technology of firing vermiculite conglomerates in the electrical module and triggers kilns with "zero" not electrified module

Energy-saving technology of firing vermiculite conglomerates in the electrical module and triggers kilns with "zero" not electrified module is examined. The final expanding of vermiculite is carried out not by an external source of heat radiation, as it is done mainly, but in a special "zero" module at the expense of the internal thermal energy, stored in the vermiculite and inert material. In flat space slotted of the "zero" module the radiant energy grain of sand is transferred on the vermiculite and with it comes the conductive heat transfer in the grains themselves from their outer layers to deep. This method of the recovery of thermal energy allows to replace the third-electric module on not electrified. It reduces the power consumption by 33% and decreases a specific energy consumption of firing of vermiculite conglomerates.

Keywords: vermiculite conglomerate, expanded vermiculite, an inert material, electric kiln, the energy of heat absorption.

Разделение сырьевых ресурсов на вермикулитовые концентраты и конгломераты имеет принципиальное значение, так как от массовой доли инертных компонентов (песка, каменного гранулята, невспучивающихся гидрослюд, органических включений и т. д.) зависит не только выбор конструктивно-режимных параметров электрических модульно-спусковых печей [1], но и концепция использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) для осуществления энерго-сберегающего режима обжига вермикулита.

Конгломераты с весовым содержанием вермикулита от 27 до 52% образуются при обогащении руд в значительных объемах, например Ковдорским ГОКом предлагались потребителям в качестве «посыпочных» концентратов КВП-1 и КВП-2 для производства полимер-битумных рулонных кровельных материалов, а в прежние годы они вообще удалялись в отвалы [2], которые сейчас представляют собой огромные запасы этих ценных сырьевых ресурсов.

Очевидно, что при рациональной структуре специальной электрической модульно-спусковой печи переработка такого сырья может стать экономически выгодной и актуальной задачей ресурсосбережения.

Концепция технологических систем для переработки грубо обогащенных вермикулитовых руд (конгломератов) не нова [3, 4]. В 60-х гг. прошлого века при разработке Буддымского месторождения на Урале на одном из заводов крупнопанельного домостроения в Челябинске внедрялась подобная технология. Ставилась задача получения вспученного вермикулита из конгломератов, содержащих органические (выгорающие) и инертные компоненты при их весовом содержании 40–45% [3]. Несмотря на недостатки трубчатых огневых печей, технология все же состоялась, завод несколько лет вырабатывал вермикулит и выпускал трехслойные стеновые панели на его основе [3, 5].

В статье представлена новая модель теплоусвоения вермикулита и инертного материала при обжиге вермикулитовых конгломератов в специальных энергосберегающих модульно-спусковых печах с «нулевым» неэлектрифицированным модулем (рис. 1).

Результаты анализа процесса теплоусвоения вермикулита («чистого» вермикулитового концентрата) приведены в работе [6]: суммарная энергия теплоусвоения Θ_{Σ} идет на дегидратацию химически связанной воды Θ_x ; нагрев сухой части минерала Θ_c ; фазовый переход воды Θ_b ; перегрев водяных паров Θ_n и нагрев адсорбированных газов $\Theta_{ар}$:

$$\Theta_{\Sigma} = \Theta_x + \Theta_c + \Theta_b + \Theta_n + \Theta_{ар}$$

и для 1 кг ковдорского концентрата энергия теплоусвоения составляет 1201,9 КДж.

При обжиге вермикулитовых конгломератов в модели процесса теплоусвоения происходит перераспределение усвоенной энергии:

$$\Theta_{\Sigma}^{пк} = k_k (\Theta_x + \Theta_c + \Theta_b + \Theta_n + \Theta_{ар}) + (1 - k_k) \cdot (\Theta_{и} + \Theta_{ви}). \quad (1)$$

Здесь $\Theta_{\Sigma}^{пк}$ – суммарная энергия теплоусвоения инертного материала, в основном песка и вермикулитового концентрата; k_k – коэффициент, учитывающий весовую долю концентрата в 1 кг конгломерата; $\Theta_{и}$ – теплота нагрева инертного материала (песка); $\Theta_{ви}$ – теплота испарения физической воды, адсорбированной инертным материалом:

$$\Theta_{и} = 0,955 c_{и} m \Delta T, \quad \Theta_{ви} = 0,045 c_{по} m,$$

где 0,955 и 0,045 – весовые доли сухой части и влаги в 1 кг инертного материала; $c_{и}$ – средняя удельная тепло-

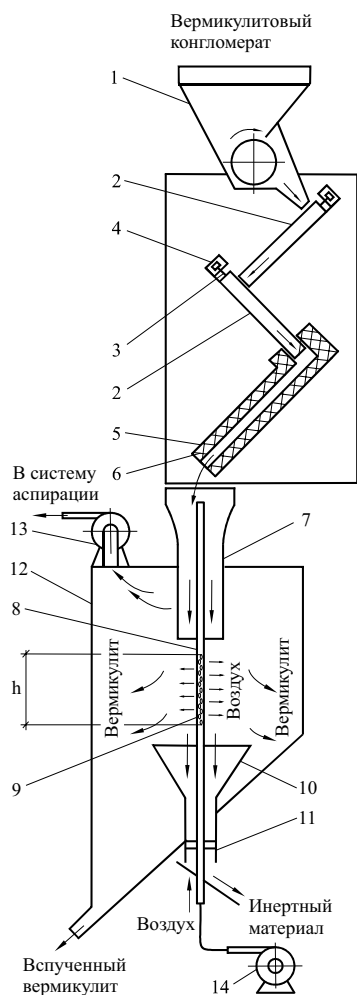


Рис. 1. Трехмодульная энергосберегающая печь с «нулевым» модулем

емкость инертного материала: для песка в диапазоне температуры 20–800°C она изменяется в пределах 880–1005°C при среднем значении 943 Дж/(кг·°C) [6]; m – масса песка (1 кг).

Количество теплоты, полученное сухим песком при обжиге конгломерата, равно:

$$\Theta_{\text{и}} = 0,955 \cdot 943 \cdot 1 \cdot 650 = 585,4 \text{ КДж},$$

где 650°C – это разность температуры обжига (750°C) и температуры предварительного подогрева вермикулитового конгломерата (100°C) перед обжигом.

Тепловая энергия фазового перехода адсорбированной водой при 100°C равна:

$$\Theta_{\text{ви}} = 0,045 \cdot 2250 \cdot 103 \cdot 1 = 101,3 \text{ КДж}.$$

С учетом полученных данных и суммарной энергии теплоусвоения вермикулита выражение (1) примет вид:

$$\Theta_{\Sigma}^{\text{ПК}} = 1201,9 \cdot k_{\text{к}} + 686,7 \cdot (1 - k_{\text{к}}).$$

Так как коэффициент $k_{\text{к}}$ изменяется в пределах 0,27–0,52, соотношение усвоенных энергий Θ_{Σ} и $\Theta_{\Sigma}^{\text{ПК}}$ будет зависеть от весового содержания вермикулита в составе вермикулитового концентрата.

В чем же состоит упомянутая ранее концепция использования вторичных энергетических ресурсов для осуществления энергосбережения при обжиге вермикулитовых конгломератов, которая может сделать их переработку экономически выгодной и актуальной задачей?

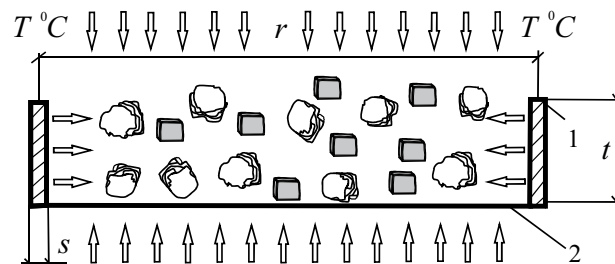


Рис. 2. Вермикулитовый концентрат в рабочей камере под действием внешнего теплового излучения: 1 – нагреватели; 2 – основание модуля, r – ширина камеры; t и s – высота и толщина нагревателей (темным цветом показан песок)

Вернемся к выражению (1). В нем присутствуют две составляющие энергии теплоусвоения, которые отражают накопленную тепловую энергию: $\Theta_{\text{с}}$ – в самом вспученном вермикулите и $\Theta_{\text{и}}$ – в инертном материале. После отделения компонентов каждая из этих составляющих рассеивается в окружающую среду после их естественного остывания. Учитывая, что $\Theta_{\text{с}}$ в 1 кг концентрата составляет ~560 КДж [8], а $\Theta_{\text{и}}$ в 1 кг песка – ~585 КДж, при коэффициенте $k_{\text{к}}$, например равном 0,4, суммарная накопленная тепловая энергия вторичного энергетического ресурса (ВЭР) будет равна:

$$\Theta_{\text{ВЭР}} = 0,4 \cdot 560 + 0,6 \cdot 585 = 224 + 531 = 575 \text{ КДж}.$$

Для сравнения, в 1 кг чистого вермикулита полная энергия теплоусвоения составляет $\Theta_{\Sigma} = 1201,9$ КДж.

Таково значение накопленного ВЭР в конце обжига вермикулитового концентрата с весовым содержанием вермикулита 40% при полностью завершеном процессе.

На этом основана особенность специальной энергосберегающей электрической печи, состоящая в том, чтобы заменить нижний электрифицированный спусковой модуль трехмодульной печи на так называемый «нулевой» модуль, использующий вторичные энергетические ресурсы [7].

Рассмотрим простейшую трехмодульную энергосберегающую печь (рис. 1). Барабанный дозатор 1 подает вермикулитовый конгломерат в печь, где он пересыпается в верхних электрифицированных модулях обжига 2 внутри рабочих камер (рис. 2), образованных параллельно установленными нагревательными элементами 3 в креплениях 4. Далее обжигаемый материал поступает в «нулевой» (неэлектрифицированный) модуль 5 коробчатого сечения с плоским шелевидным пространством обжига, образованным термоизоляционными плитами 6.

На выходе из печи вермикулитовый конгломерат поступает в направляющий патрубок 7 пневморазделительного устройства [8]. Частицы песка, обладающие значительной большей массой и скоростью, устремляются вертикально вниз, отсесняя легкие частицы вспученного вермикулита к периферийным зонам приемного бункера 12 и направляются в раструб 10. Вместе с песком значительная часть вспученного вермикулита так же движется по направлению к раструбу. Через отверстия 9, перфорированной трубки 8 выходит воздух, подаваемый вентилятором 14. Воздух, выходящий из отверстий 9 выдувает легкие зерна вермикулита на участке высотой h и отбрасывает их в периферийные части бункера. Песок поступает в раструб и трубу 11 и выходит за пределы бункера, а вермикулит выводится через течку бункера. Вентилятор 13, сообщенный с приемным бункером, подобран так, что его расход несколько больше, чем расход вентилятора 14, поэтому в полости бункера создается небольшое разрежение, достаточное для выноса пылевидных компонентов в систему аспирации.

На рис. 2 в поперечном сечении рабочей камеры показан поток конгломерата, находящийся под действием теп-

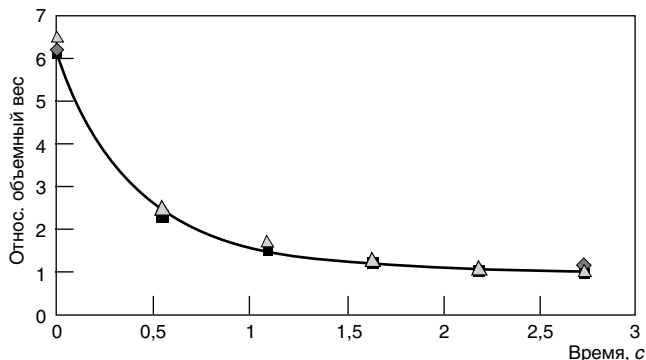


Рис. 3. Изменение относительного объемного веса вермикулита во времени в процессе обжига: (треугольник – КВК-1; ромб – КВК-4; квадрат – КВК-2)

логового излучения, идущего от нагревателей 1 и отраженного излучения от огнеупорного основания 2 и термокрышки модуля. На двух верхних модулях происходит интенсивное теплоусвоение компонентов потока благодаря переносу лучистой энергии как на частицы вермикулита, так и на частицы песка в соответствии с уравнением (1).

Вспучиваясь, зерна вермикулита наращивают «тепловую рубашку» вокруг себя, все более затрудняя проникновение лучистой энергии в свои глубинные слои. Именно поэтому закон дегидратации вермикулита при обжиге для всех размерных групп концентратов имеет близкий к асимптотическому характер (рис. 3).

Уравнение регрессии, полученное при обработке экспериментальных данных имеет вид:

$$\gamma_{от} = k_1 t^5 + k_2 t^4 + k_3 t^3 + k_4 t^2 + k_5 t + k_6,$$

где: $k_1 = -0,2542$; $k_2 = 2,2598$; $k_3 = -7,8331$; $k_4 = 13,482$; $k_5 = -12,148$; $k_6 = 6,1$ – эмпирические коэффициенты.

В отличие от асимптоты кривая дегидратации имеет начальную точку – ввод концентрата и конечную точку – выход вспученного вермикулита.

Песок, будучи инертным (невспучивающимся) материалом, усваивает теплоту быстрее благодаря большей теплопроводности.

Определим отношение коэффициентов теплопроводности песка $\chi_{п}$ и вспученного вермикулита $\chi_{в}$ [9]:

$$\chi_{п} / \chi_{в} = \lambda_{п} \rho_{в} c_{в} / \lambda_{в} \rho_{п} c_{п}, \quad (2)$$

где $\lambda_{п}$ – теплопроводность песка (~0,35 Вт/(м·°C)); $\lambda_{в}$ – теплопроводность вспученного вермикулита (~0,056 Вт/(м·°C)); $\rho_{в}$ – плотность вермикулита (~200 кг/м³); $\rho_{п}$ – плотность песка (~1600 кг/м³); $c_{в}$ – удельная теплоемкость вспученного вермикулита (~1625 Дж/(кг·°C)); $c_{п}$ – удельная теплоемкость песка (~800 Дж/(кг·°C)) (Справочник теплофизика <http://thermalinfo.ru>).

Если пренебречь тем, что указанные коэффициенты зависят от температуры и принять их усредненные значения, то численный расчет по формуле (2) дает отношение $\chi_{п} / \chi_{в}$, равное 1,51. Это показывает что скорость нагревания песка как минимум в полтора раза выше и, следовательно, при постоянной времени трехмодульной печи $t_{па} = 2,74$ с (времени обжига) песок достигнет предельной температуры ~750°C уже на втором модуле, тогда как вермикулит – только на выходе из печи.

При переходе потока конгломерата в «нулевой» модуль 5 (рис. 1) процесс вспучивания вермикулита продолжается, но уже не от внешнего источника лучистой энергии, как это было в электрифицированных модулях 2. В специальном «нулевом» модуле происходит распределение внутренней накопленной теплоты в массиве частиц вермикулитового концентрата при отсутствии внешнего излучения (рис. 4). В плоском щелевидном

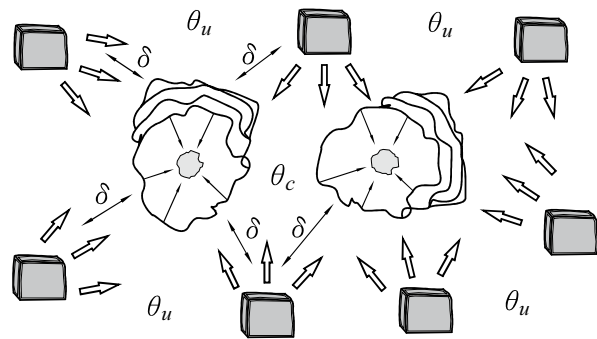


Рис. 4. Распределение внутренней накопленной теплоты в массиве частиц вермикулитового концентрата при отсутствии внешнего излучения

пространстве «нулевого» модуля происходит перенос лучистой энергии песка на вермикулитовые зерна и параллельно с этим идет кондуктивный перенос теплоты в самих зернах с наружных в глубинные слои.

На заключительной стадии процесса обжига скорость уменьшения объемного веса вермикулита значительно снижается по сравнению с начальной стадией (рис. 3). Тем важнее то обстоятельство, что глубинные слои вермикулитовых зерен получают тепловую энергию кондуктивным переносом от их внешних слоев, а внешние пополняют потери энергии, ушедшей вглубь, лучистой энергией от частиц песка (рис. 4).

При обжиге конгломератов в специальных электрических модульно-спусковых печах модель процесса теплоусвоения вермикулита существенно изменяется из-за перераспределения потоков энергии и может быть описана системой уравнений:

$$\Theta_{\Sigma}^{пк*} = k_{к} k_{э} (\Theta_{х} + \Theta_{в} + \Theta_{п} + \Theta_{ар} + \Theta_{с}) + (1 - k_{к}) \Theta_{и}; \quad (3)$$

$$k_{к} k_{э} \Theta_{с} + (1 - k_{к}) \Theta_{и} \approx k_{к} (1 - k_{э}) (\Theta_{х} + \Theta_{в} + \Theta_{п} + \Theta_{ар}). \quad (4)$$

Здесь $\Theta_{\Sigma}^{пк*}$ – тепловая энергия, усвоенная вермикулитовым конгломератом при его прохождении по двум верхним электрифицированным модулям печи при не завершённом процессе обжига; $k_{э}$ – коэффициент, учитывающий долю усвоенной вермикулитом тепловой энергии до входа в «нулевой» модуль, зависящий от температурного режима печи, времени движения $t_{м}$ вермикулитового концентрата под действием лучистой энергии внешнего источника (в верхних модулях печи) и весового соотношения вермикулита и инертного материала, определяемого значением коэффициента $k_{к}$.

Перед членом уравнения (4) $(1 - k_{к}) \Theta_{и}$ коэффициент $k_{э}$ не стоит, так как инертный материал, в силу соотношения (2) полностью усвоит тепловую энергию еще до входа в «нулевой» модуль на первых двух электрифицированных модулях. Этим же объясняется отсутствие члена $\Theta_{ви}$ в уравнениях (3 и 4), так как вся физически адсорбированная инертным материалом вода испарилась еще на начальном этапе обжига в верхних модулях печи.

В уравнении (4) знак приближенного равенства показывает, что в зависимости от весовой доли вермикулита $k_{к}$ тепловой энергии, накопленной в вермикулите и инертном материале, выражаемой членом $k_{к} k_{э} \Theta_{с} + (1 - k_{к}) \Theta_{и}$ уравнения (4) может не хватить для полного завершения его дегидратации и вспучивания. Но сбалансировать уравнение можно двумя способами: изменяя продолжительность времени $t_{м}$ и температурный режим работы печи, увеличивая тем самым значение коэффициента $k_{э}$; увеличивая продолжительность времени t_0 движения конгломерата через «нулевой» модуль и концентрацию частиц вермикулита и песка в его плоском щелевидном пространстве, сокращая средний интервал δ между частицами (рис. 4), что сократит потери при пе-

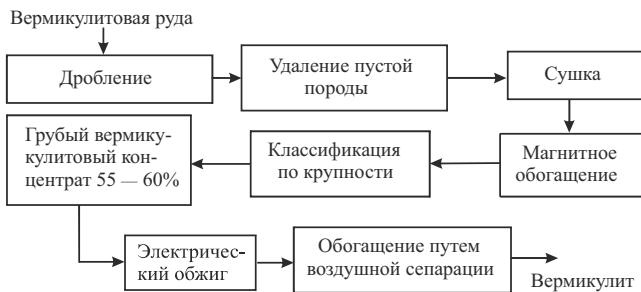


Рис. 5. Принципиальная технологическая схема получения и переработки грубо обогащенных вермикулитовых руд с последующим обжигом по электрической энергосберегающей технологии

редаче лучистой энергии от частиц песка к вермикулитовым зернам.

Причем первый способ нежелателен, так как ведет к увеличению потребления электроэнергии.

Способ рекуперации и использования вторичных энергетических ресурсов позволит заместить третий электрифицированный модуль неэлектрифицированным («нулевым»), что уменьшит потребление электроэнергии до 33% и, следовательно, понизит удельную энергоёмкость обжига вермикулитовых конгломератов.

Новая модель теплоусвоения вермикулитовых конгломератов открывает обнадеживающую перспективу

Список литературы

1. Нижегородов А.И. Особенности обжига вермикулитового сырья с высоким содержанием инертного материала в электрических модульно-спусковых печах // *Строительные материалы*. 2013. № 1. С. 8–9.
2. Нижегородов А.И. Технологии и оборудование для переработки вермикулита: оптимальное фракционирование, электрический обжиг, дообогащение. Иркутск: Изд-во ИрГТУ. 2011. 172 с.
3. Попов Н.А. Производство и применение вермикулита. М.: Стройиздат. 1964. 128 с.
4. Тихонов Ю.М., Коломиец И.В., Макбузов А.С. Вермикулит Каратас-Алтынтасского месторождения и технология его обжига // *Строительные материалы / Technology*. 2007. № 11. С. 14–15.
5. Нижегородов А.И. Эффективность огневых и электрических модульно-спусковых печей для обжига. *Технология машиностроения*. 2010. № 1. С. 32–34.
6. Тымчак В.М., Гусовский В.Л. Расчет нагревательных и термических печей: Справочное издание. М.: Metallurgy, 1983. 480 с.
7. Нижегородов А.И. Совершенствование технологии обжига вермикулита в электрических модульно-спусковых печах // *Строительные материалы*. 2011. № 5. / *Technology*. С. 62–64.
8. Пат. 120203, Российская Федерация, МПК F 27 В 15/00. Технологический комплекс для обжига и дообогащения вермикулита / А.И. Нижегородов; заявитель и патентообладатель ГОУ ИрГТУ. г. Иркутск. № 2012113676/02. Заявл. 06.04.2012. Опубл. 10.09.2012. Бюл. № 25. 3 с.
9. Телегин А.С., Швидкий В.С., Ярошенко Ю.Г. Теплоперенос. М.: ИКЦ «Академкнига» 2002. 455 с.
10. Нижегородов А.И. Узкополосное фракционирование как фактор качества вермикулитовых концентратов // *Строительные материалы*. 2009. № 9. С. 68–69.

использования специальных электрических модульно-спусковых печей, обладающих существенно более низкой удельной энергоёмкостью обжига. А это, в свою очередь, позволяет возродить концепцию технологических комплексов для переработки грубо обогащенных вермикулитовых руд на базе таких печей и актуализировать проблему разработки небольших региональных месторождений.

В Слюдянском районе Иркутской области в 1965 г. Асямовской геолого-разведочной партией были выявлены залежи вермикулитовых руд на нескольких участках с суммарным запасом 300–400 тыс. т. Месторождение находится в непосредственной близости к автомобильной дороге М53, железной дороге и крупному железнодорожному и энергетическому узлу г. Слюдянка.

Принципиальная технологическая схема получения и переработки грубо обогащенных вермикулитовых руд показана на рис. 5. Руда подвергается дроблению, первичному обогащению до концентрации вермикулита 60–70%, сушке, с использованием горячего воздуха, отводимого от печей, магнитной сепарации и фракционированию [10]. Грубый концентрат поступает на обжиг в специальные энергосберегающие электрические печи, а затем в пневморазделительные устройства.

При освоении данного месторождения с перспективой его доразведки могут быть удовлетворены потребности в вермикулите и вермикулитосодержащих продуктах таких городов, как Иркутск, Ангарск, Шелехов, Братск, Усть-Илимск, Улан-Удэ, Чита, Красноярск и др.

Reference

1. Nizhegorodov A.I. Distinctive features of firing of vermiculite raw materials with high content of inert material in the electrical module and trigger kilns. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 1, pp. 8–9. (In Russian).
2. Nizhegorodov A.I. *Tehnologii i oborudovanie dlya pererabotki vermikulita: optimalnoe frakcionirovanie, elektricheskij obzhig, doobogashchenie* [Technologies and equipments for processing of vermiculite: an optimal rectification, electrical firing, beneficiation]. Irkutsk. IRSTU. 2011, 172 p.
3. Popov N.A. *Proizvodstvo i primenenie vermikulita* [Vermiculite production and application]. Moscow: Stroyizdat. 1964, 128 p.
4. Tikhonov Yu.M., Makbuzov A. I., Kolomiets I.V. Karatas-Altyntass vermiculite deposit and the technology of its firing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 11. Application Technology. No. 10, pp. 14–15. (In Russian).
5. Nizhegorodov A.I. The effectiveness of fire and electric modul and triggers kilns. *Tehnologiya mashinostroeniya*. 2010. No. 1, pp. 32–34. (In Russian).
6. Timchak V.M., Gusovsky V.I. *Raschet nagrevatelnyh i termicheskikh pechej* [Calculation of heating and heat treatment kilns]. Moscow. Metallurgy. 1983, 480 p.
7. Nizhegorodov A.I. Improvement of the technology of vermiculite firing in electric module and trigger kilns. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 5, pp. 14–15. (In Russian).
8. Patent RF 120203. *Tehnologicheskij kompleks dlya obzhiga i doobogashcheniya vermikulita* [Technological complex for firing and beneficiation of vermiculite]. Nizhegorodov A.I. Declared 06.04.2012. Published 10.09.2012. Bulletin No. 25. (In Russian).
9. Telegin A.S., Shvidkiy V.S., Yaroshenko Yu.G. *Teplo-massoperenos* [Heat and mass transfer]. Moscow. PBC Akademkniga. 2002, 455 p.
10. Nizhegorodov A.I. Narrowband fractionation as a factor of vermiculite concentrate quality. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 9, pp. 68–69. (In Russian).

УДК 674.214

А.А. ЛУКАШ, канд. техн. наук (mr.luckasch@yandex.ru), Н.П. ЛУКУТЦОВА, д-р техн. наук
Брянская государственная инженерно-технологическая академия (241037, г. Брянск, пр. им. С.Т. Димитрова, 3)

Гофрокартонная плита – эффективный теплоизоляционный материал

Предложен новый теплоизоляционный материал – гофрокартонная плита. Наличие внутри ее воздушных прослоек обеспечивает хорошие теплоизоляционные свойства, а возможность использования отходов от упаковки товаров – дешевизну изготовления. Гофрокартонная плита может изготавливаться путем склеивания по толщине в прессе. По другому способу изготовление гофрокартонной плиты производят без прессовой установки и клея путем соединения степлером по толщине кусковых отходов. Каждый слой гофрокартонной плиты собирают из полос (кусков) гофрированного картона таким образом, чтобы он равнялся площади готовой плиты. Следующий слой из полос гофрированного картона укладывается на предыдущий так, чтобы перекрыть стыки между его полосами. Установлено, что гофрокартонная плита является эффективным утеплителем для использования при строительстве жилого помещения. Коэффициент ее теплопроводности соизмерим с коэффициентами теплопроводности традиционных теплоизоляционных материалов – минеральной ваты, пенополистирола, пенополиуретана и стекловаты. Выполнен расчет толщины утеплителя из гофрокартона. Ограждающая конструкция с кладкой из керамического кирпича толщиной 0,12 м, утеплителем из гофрокартонной плиты толщиной 0,17 м с кладкой из сплошного глиняного кирпича отвечает санитарно-гигиеническим и строительным требованиям к теплопередаче ограждающих конструкций по температурному перепаду при условии герметичности утеплителя.

Ключевые слова: гофрокартон, теплопроводность, строительство, отходы, плита.

A.A. LUKASH, Candidate of Sciences (Engineering) (mr.luckasch@yandex.ru), N.P. LUKUTTSOVA, Doctor of Sciences (Engineering)
Bryansk State Engineering-Technological Academy (3 S.T. Dimitrova Avenue, 241037 Bryansk, Russian Federation)

Corrugated Cardboard Plate – Efficient Heat Insulating Material

A new heat insulating material, a corrugated cardboard plate, is offered. The presence of air layers inside it ensures good insulation properties. The possibility of using waste of goods packing provides the cheapness of manufacturing. The corrugated cardboard plate can be manufactured by gluing in thickness in the press. According to another method the corrugated cardboard plate is manufactured without the press unit and glue by means of connection with a stapler in thickness of lump waste. Each layer of the corrugated cardboard plate is assembled from strips (pieces) of the corrugated cardboard so that it is equal to the square of the finished plate. The next layer of corrugated cardboard strips is put on the previous one thus to overlap the joints between its strips. It is established that the corrugated cardboard plate is an efficient insulant for using in construction of domestic premises. The coefficient of its thermal conductivity is comparable with the thermal conductivity coefficients of traditional insulation materials as mineral wool, foam polystyrene, foam polyurethane and glass wool. The calculation of the thickness of insulant from corrugated cardboard has been made. An enclosing structure with the ceramic brick masonry of 0.12 m thickness, the insulant from corrugated cardboard plate of 0.17 m thickness with the masonry from solid clay brick meets the sanitary-hygienic and construction requirements for heat transfer of enclosing structures by temperature drop under the condition of insulant tightness.

Keywords: corrugated cardboard, heat conductivity, construction, waste, plate.

В настоящее время в промышленности строительных материалов остро стоит проблема создания эффективного, дешевого и экологически чистого утеплителя. Наиболее распространенные теплоизоляторы имеют существенные недостатки. Вата из минерального волокна является канцерогеном и пылит при установке. Пенополистирол пожароопасен – при его горении выделяются токсичные вещества.

Древесина и изделия из нее, как известно, обладают хорошими прочностными и теплоизоляционными свойствами. При ее обработке образуется большое количество отходов, из которых могут быть изготовлены теплоизоляционные материалы. Из опилок и стружки изготавливают композиционную фанеру с внутренними слоями из осмоленных древесных частиц и наружными слоями из лущеного шпона [1].

Из кускового шпона склеивают плиту фанерную ячеистую [2]. Наличие в такой плите зазоров между полосами шпона позволяет применять ее в качестве теплоизоляционного материала.

При изготовлении ячеистой стеновой панели применяют бруски из низкосортной древесины [3]. Наличие внутренних воздушных прослоек между брусками позволяет использовать ячеистую стеновую панель как теплоизоляционный материал. Применение низкосортной древесины из местного сырья и возможность изготовления панели непосредственно на стройплощадке позволяют значительно снизить себестоимость строительства. Но общим недостатком всех перечисленных материалов является необходимость применения дре-

весного сырья и оборудования для его переработки, что значительно увеличивает стоимость.

Актуальной является и проблема переработки, утилизации и вторичного использования отходов. Одним из массовых видов отходов является гофрированный картон. В крупных магазинах отходы от упаковки из гофрокартона собирают и направляют на вторичную переработку. Но население и мелкие магазины предпочитают отправлять отходы от упаковки из гофрокартона на свалку.

Гофрированный картон является одним из наиболее распространенных материалов в мире для использования в качестве упаковки для коробок. Используемый в промышленности как упаковочный материал, он отличается небольшой плотностью и дешевизной. Картон гофрированный выпускают согласно ГОСТ Р 52901–2007. Гофрированный картон предназначен для изготовления упаковки продукции – потребительской и транспортной тары, а также для изготовления вспомогательных упаковочных средств (вкладышей, решеток, обечаек, прокладок, амортизаторов) и другой продукции.

Наиболее распространен трехслойный гофрокартон, который состоит из двух плоских и одного гофрированного слоев. Высота гофра составляет 1–5,5 мм, шаг гофра – 1,5–9,5 мм. Такая композиция слоев придает жесткость гофротаре. Наличие в гофрокартоне воздушных прослоек дает возможность использования его как теплоизоляционный материал.

В Брянской государственной инженерно-технологической академии создан новый эффективный теп-

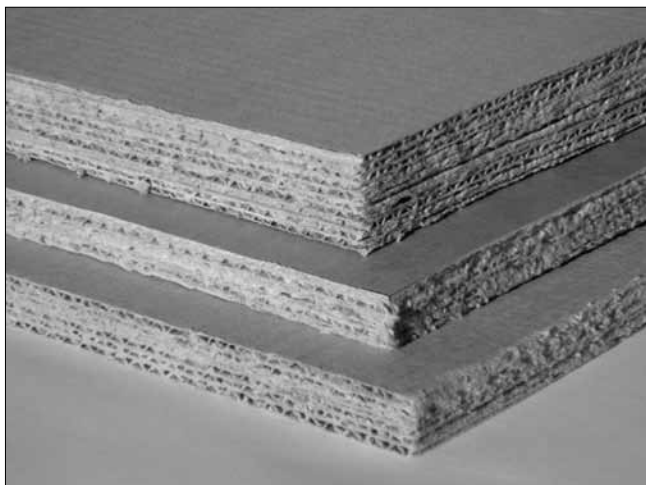


Рис. 1. Гофрокартонная плита

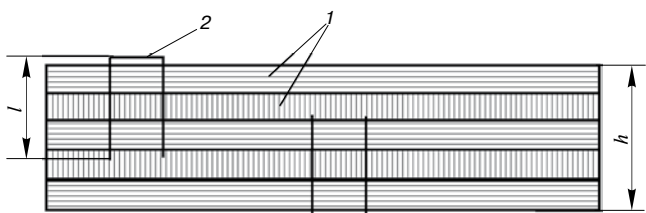


Рис. 2. Схема изготовления гофрокартонной плиты: l – толщина слоя плиты; h – общая высота плиты

лоизоляционный материал – гофрокартонная плита. При ее изготовлении использовали картон Т11 В ГОСТ Р 52901–2007 (трехслойный гофрокартон 1-го класса, марки Т11, с гофром В), толщиной 2,6 мм, (тара от упаковки мебели).

Склеивание производили холодным способом в гидравлическом прессе. Продолжительность выдержки под давлением 30 мин. Для обеспечения стабильной толщины применяли дистанционные прокладки. Для склеивания гофрокартона использовали дисперсию поливинилацетатную гомополимерную средневязкую марки Д 51С. Требования по ее качеству соответствовали требованиям 51С ГОСТ 18992–80. Эта дисперсия не содержит токсичных веществ и применяется при склеивании древесины и упаковки.

Для получения более прочной и гладкой поверхности можно применять картон электроизоляционный марки ЭВ, который выпускают согласно ГОСТ 2824–86. Электроизоляционный картон предназначен для работы в воздушной среде до 90°C, используется для электроизоляции. Также благодаря высокой износостойкости электроизоляционный картон используют в различных сферах производства. Плотность изготовленной таким образом гофрокартонной плиты составила 170 кг/м³, а гофрокартонной плиты с наружными слоями из электроизоляционного картона – 300 кг/м³. На рис. 1 представлены образцы гофрокартонной плиты.

Учитывая трудность применения прессового оборудования, был разработан способ изготовления гофрокар-

тонной плиты без применения клея и прессового оборудования. За прототип принят древесный слоистый материал – плита фанерная ячеистая, у которой слои соединены клеем в прессовой установке [4], а наличие внутренних воздушных прослоек обуславливает возможность использования такого материала в качестве теплоизолятора.

Гофрокартонная плита изготавливается из нескольких слоев гофрированного картона, которые соединяются по толщине скобами степлера, причем длина ножки скобы должна составлять более половины от толщины готовой плиты. Гофрокартонная плита может изготавливаться как из цельных (полноформатных) листов гофрированного картона, так из коробок, остающихся от упаковки товаров. В последнем случае из коробок должны быть предварительно вырезаны полосы. На рис. 2 показана схема изготовления гофрокартонной плиты.

Каждый слой гофрокартонной плиты l собирается из полос (кусков) гофрированного картона таким образом, чтобы он был равным площади готовой плиты. Следующий слой из полос гофрированного картона укладывается на предыдущий, так чтобы перекрыть стыки между полосами предыдущего слоя. После набора слоев, составляющих в сумме более половины толщины готовой гофрокартонной плиты, производят их соединение скобами степлера 2. Собранный пакет переворачивают на 180°, укладывают на нее оставшуюся часть слоев и производят крепление скобами аналогичным образом, после чего собранный пакет обрезают по формату. По данному способу изготовления гофрокартонной плиты была подана заявка на полезную модель.

Изготовленные образцы испытывали на определение коэффициента теплопроводности. Для этого согласно ГОСТ 7076–99 применяли прибор ИТП-МГЧ-100. Коэффициент теплопроводности у полученных образцов составил 0,052–0,057 Вт/(м·°С). Для сравнения, коэффициент теплопроводности минеральной ваты составляет 0,048–0,07 Вт/(м·°С); пенополиуретана – 0,029–0,041 Вт/(м·°С); стекловаты – 0,038–0,061 Вт/(м·°С) [5].

Учитывая, что картон является легковозгораемым материалом, гофрокартонную плиту после установки необходимо закрывать огнестойким материалом, штукатуркой или гипсокартонной плитой. Для предотвращения попадания влаги от ограждающей конструкции необходимо использовать полиэтиленовую пленку.

Для расчета требуемой толщины утеплителя и вычисления приведенного сопротивления теплопередаче многослойной ограждающей конструкции для стены жилого помещения здания, расположенного в Москве, использовали методику теплотехнического расчета, заключающуюся в определении минимального достаточного значения сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции. При этом расчетное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции должно быть не менее величины, требуемой по санитарно-гигиеническим и строительно-техническим показателям [6]. Исходные данные для расчетов представлены в таблице.

Параметры наружной среды, необходимые для расчета сопротивления теплопередаче, приведены в СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий» [6] и

Исходные данные			
Материал	Плотность ρ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)
Кладка из керамического кирпича	1600	0,12	0,64
Плита гофрокартонная	170	?	0,57
Кладка из полнотелого керамического кирпича	1800	0,25	0,81
Штукатурка	1800	0,2	0,93

определяются по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» [7]. К ним относятся:

– температура воздуха периода со среднесуточной температурой воздуха меньше 8°C, определяется по табл. 1 СП 131.13330.2012: $t_{ht} = \sim 3,1^\circ\text{C}$;

– продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха меньше 8°C, определяется по табл. 1 СП 131.13330.2012: $z_{ht} = 214$ сут;

– средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, определяется по табл. 1 СП 131.13330.2012: $t_{ext} = -32^\circ\text{C}$.

Параметры воздушной среды для обеспечения минимально допустимых условий комфортности внутри жилого помещения в холодный период года, определяемые по табл. 1 СП 23-101-20041, составляют:

– температура воздуха $t_{int} = 20^\circ\text{C}$;

– относительная влажность воздуха $j_{int} = 55\%$.

Режим эксплуатации помещения в холодный период года в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха определяют по табл. 1 СНиП 23-02–2003: нормальный. Условия эксплуатации ограждающей конструкции определяются с учетом климатических показателей района строительства и режима эксплуатации зданий и помещений. Зона влажности района строительства (Москва) по климатическим показателям наружной среды согласно приложению «В» к СНиП 23-02–2003: нормальная. Условия эксплуатации ОК определяют по табл. 2 СНиП 23-02–2003. Для нормального режима эксплуатации помещения и нормальной зоны влажности условия эксплуатации ОК соответствуют параметру «Б».

Для расчета требуемого значения R_{req} термического сопротивления теплопередаче ОК и толщины слоя утеплителя приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$, ограждающих конструкций, а также окон и фонарей (с вертикальным остеклением или с углом наклона более 45°) принимается из условия не менее нормируемых значений R_{req} , $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяемых по табл. 4 СНиП 23-02–2003 в зависимости от градусо-суток отопительного периода района строительства D_d , $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$, который по формуле:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} \quad (1)$$

Нормированное сопротивление теплопередаче R_{req} , $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяется по формуле (2):

$$R_{req} = a \cdot D_d + b, \quad (2)$$

где коэффициенты $a = 0,00035$; $b = 1,4$ согласно «Примечанию» к табл. 4 СНиП 23-02–2003.

Требуемое условное сопротивление теплопередаче без учета теплотехнической неоднородности $R_0^{ysl.tr}$, $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяют по формуле (3):

$$R_0^{ysl.tr} = R_{req} / r, \quad (3)$$

где r – коэффициент теплотехнической неоднородности, «глади», глухой части стены. В рассматриваемом варианте принимаем $r = 0,87$.

Требуемое значение сопротивления теплопередаче слоя утеплителя из гофрокартонной плиты R_{yt}^{tr} , $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$, согласно п. 8 СП 23-101–2004 определяется по формуле (4):

$$R_{yt}^{tr} = R_0^{ysl.tr} - (R_b + \Sigma R_{t,изв} + R_n), \quad (4)$$

где $R_b = 1/\alpha_{int}$ – коэффициент сопротивления теплоотдаче внутренней поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по табл. 7 СНиП 23-02–2003, в соответствии с которой $\alpha_{int} = 8,7 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_n = 1/\alpha_{ext}$ – коэффициент сопротивления теплоотдаче наружной поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по табл. 8 СП 23-101–2004 для наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами: $\alpha_{ext} = 23 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$\Sigma R_{t,изв}$ – сумма сопротивления теплопередаче известных слоев ограждающей конструкции:

$$\Sigma R_{t,изв} = \delta_1/\lambda_1 + \dots + \delta_n/\lambda_n,$$

где δ_1 – толщина 1-го известного слоя ограждающей конструкции, м; λ_1 – коэффициент теплопроводности 1-го известного слоя ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$; n – количество слоев многослойной ограждающей конструкции.

Расчетную толщину утеплителя δ_{yt} , м, находим по формуле (5):

$$\delta_{yt} = R_{yt}^{tr} \cdot \lambda_{yt}. \quad (5)$$

Подставляем в расчеты исходные данные (см. таблицу) и находим фактическую толщину утеплителя. Из конструктивных соображений округляем полученный выше результат до целых сантиметров в большую сторону:

$$\delta_{yt}^{\phi} = 0,17 \text{ м}.$$

Для проверки полученного результата находим приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены R_0 , $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$, по формулам (6) и (7):

$$R_0^{ysl.tr} = R_b + \Sigma R_{t,изв} + R_n; \quad (6)$$

$$R_0 = R_0^{ysl.tr} \cdot r. \quad (7)$$

Фактическое приведенное сопротивление теплопередаче не меньше требуемого, так как выполняется условие:

$$R_0 = 3,18 > R_{req} = 3,13.$$

Расчетный температурный перепад Δt_0 , $^\circ\text{C}$, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции в соответствии с п. 5.8 СНиП 23-02–2003 определяют по формуле (8):

$$\Delta t_0 = n (t_{int} - t_{ext}) / (R_0 \cdot \alpha_{int}), \quad (8)$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху. По табл. 6 СНиП 23-02–2003 принимаем: $n = 1$; t_{int} – температура внутреннего воздуха здания, принимаемая по минимальным значениям оптимальной температуры для жилого помещения (табл. 1 СП 23-101–2004): $t_{int} = 20^\circ\text{C}$; t_{ext} – температура наружного воздуха в холодный период года, $^\circ\text{C}$, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92. По табл. 1 СП 131.13330.2012: $t_{ext} = -32^\circ\text{C}$.

Подставляя в формулу соответствующие значения, получим:

$$\Delta t_0 = 1 \cdot (20 - (-32)) / (3,2 \cdot 0,87) = 1,87.$$

Проверяем условие:

$$\Delta t_0 \leq \Delta t_n,$$

где Δt_n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 5 СНиП 23-02–2003: $\Delta t_n = 4^\circ\text{C}$:

$$1,87^\circ\text{C} < 4^\circ\text{C}.$$

Следовательно, принятая конструкция стены отвечает санитарно-гигиеническим и строительным требованиям к теплопередаче ограждающих конструкций по температурному перепаду.

Таким образом, установлено:

1. Гофрокартонная плита является эффективным, дешевым и экологически чистым утеплителем. Коэффициент ее теплопроводности составил $0,052\text{--}0,057 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, что соизмеримо с коэффициен-

тами теплопроводности традиционных теплоизоляционных материалов – минеральной ваты, пенополистирола, пенополиуретана и стекловаты.

2. Гофрокартонная плита может быть изготовлена как из цельных листов гофрокартона, так и из отходов, остающихся от упаковки, что обеспечивает ее низкую стоимость; при ее изготовлении и в процессе эксплуатации не выделяется вредных веществ.

3. Ограждающая конструкция с кладкой из керамического кирпича толщиной 0,12 м, утеплителем из гофрокартонной плиты толщиной 0,17 м с кладкой из полнотелого керамического кирпича отвечает санитарно-гигиеническим и строительным требованиям к теплопередаче ограждающих конструкций по перепаду значений температуры при условии герметичности утеплителя.

Список литературы

1. Лукаш А.А., Дьячков К.А. Строительные изделия из измельченной древесины // *Строительные материалы*. 2009. № 1. С. 54–55.
2. Лукаш А.А., Плотников В.В., Савенко В.Г., Ботаговский М.В. Новые строительные материалы – рельефная фанера и плита фанерная ячеистая. *Строительные материалы*. 2006. № 12. С. 38–39.
3. Лукаш А.А., Плотников В.В., Ботаговский М.В. Ячеистые стеновые панели из древесных материалов // *Строительные материалы*. 2009. № 2. С. 72–73.
4. Патент РФ 2252865, МПК С1В27D1/06, В32В3/22. Способ склеивания древесных слоистых материалов / В.Г. Савенко, А.А. Лукаш; заявитель и патентообладатель БГИТА. № 2003135692/03. Заявл. 08.12.2003. Оpubл. 27.05.2005. Бюл. № 15. 2 с.
5. СП 23-101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий. Взамен СП 23-101–2000. Введ. 01.06.2004. М.: НИИСФ, 2004. 122 с.

6. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. Взамен СНиП 23-01-99. Введ. 01.10.2003. М.: НИИСФ РААСН, 2003. 36 с.
7. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Взамен СП 23-101–2000. Введ. 01.01.2013. М.: НИИСФ, 2012. 88 с.

References

1. Lukash A.A., Dyachkov K.A. Building articles made of veneer and grinded timber waste. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 1, pp. 54–55. (In Russian).
2. Lukash, A.A., Plotnikov V.V., Savenko V.G., Botagovsky M.V. New building materials – relief plywood and cellular laminwood. *Stroitel'nye Materialy* Construction Materials. 2006. No. 12, pp. 38–39. (In Russian).
3. Lukash, A.A. Plotnikov V.V., Botagovsky M.V. Cellular wall panels made of timber materials. *Stroitel'nye Materialy* Construction Materials. 2009. No. 2, pp. 72–73. (In Russian).
4. Patent RF 2252865, IPC C1B27D1/06, B32B3/22. Sposob skleivaniya drevesnykh sloistykh materialov [The glueing method of laminated wood-based materials]. V.G. Savenko, A.A. Lukash; patentee – Bryansk State Engineering and Technology Academy. №2003135692/03. Declared 08.12.2003. Published 27.05.2005. Bulletin No. 15. 2 p. (In Russian).
5. Set of Rules 23-101-2004. Design of thermal protection of buildings. Instead of Set of Rules 23-101-2000. Entered 01.06.2004. Moscow: NIISF, 2004. 122 p. (In Russian).
6. Construction Norms and Rules 23-02-2003. Thermal protection of buildings. Instead of Construction Norms and Rules 23-01-99. Entered 01.10.2003. Moscow: NIISF RAASN, 2003. 36 p. (In Russian).
7. Set of Rules 131.13330.2012. Building climatology. Instead of Set of Rules 23-101-2000. Entered 01.01.2013. Moscow: NIISF, 2012. 88 p. (In Russian).



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

Реклама

ОБОРУДОВАНИЕ «ИНТА-СТРОЙ» ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

СУШИЛЬНЫЙ БАРАБАН ШЛ 530



Назначение

- Сушка сыпучих материалов в технологии полусухого прессования кирпича и других отраслях промышленности.

Преимущества:

- снижение затрат на сушку;
- увеличенное соотношение длины барабана к его диаметру повышает эффективность сушки;
- противоточное движение газов и сырья, с использованием рециркулята;
- герметичность торцевых уплотнений;
- теплоизоляционный материал, уложенный между продольными стрингерами жесткости;
- автоматизация и датчики контроля;
- обрезиненные приводные катки снижают шум и вибрацию;
- высокая степень заводской готовности;
- поставляется с выдвигной топкой и горелкой.

Основные характеристики:

- производительность (при сьеме 10% влажности), кг/ч – 9000;
- установленная мощность, кВт – 18,5;

- габариты (дл., шир., выс.), мм – 21800, 1900, 3600;
- масса, кг – 15000.

МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ

Е.В. ФОМИНА, канд. техн. наук (fomina.katerina@mail.ru), Н.И. КОЖУХОВА, инженер,
Ю.В. ПАЛЬШИНА, инженер, В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук, А.Е. ФОМИН, магистрант (fomin.alex@mail.ru)
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

Влияние механоактивации на размерные параметры алюмосиликатных пород*

Исследовано изменение размерной гетерогенности механоактивированных алюмосиликатных пород природного и техногенного генезиса. Установлено, что все рассматриваемые природные сырьевые алюмосиликатные компоненты отличаются полиминеральным составом со значительным содержанием аморфного кремнезема. Различия минералогено-генетических характеристик алюмосиликатных пород, содержание аморфной составляющей и предварительная термообработка оказывают влияние на вариативность размерных параметров сырья при механоактивации. Проведена кинетика механического воздействия на материал, обусловленная повышением размолоспособности, изменением гранулометрии с существенным возрастанием удельной поверхности. Полученные результаты позволяют управлять размерными параметрами сырья при механоактивации, что является важным фактором повышения активности и реакционной способности материала, а также оптимизации режима помола. Показана целесообразность применения алюмосиликатных пород с позиции снижения энергоёмкости на технологической стадии подготовки сырья – помола.

Ключевые слова: алюмосиликатное сырьё, дисперсность, механоактивация, размерная гетерогенность.

E.V. FOMINA, Candidate of Sciences (Engineering) (fomina.katerina@mail.ru), N.I. KOZHUKHOVA, Engineer, J.V. PALSHINA, Engineer,
V.V. STROKOVA, Doctor of Sciences (Engineering), A.E. FOMIN, MA Student (fomin.alex@mail.ru)
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukov Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

Effect of Mechanical Activation on Dimensional Parameters of Alumino-Silicate Rocks*

The change in the dimensional heterogeneity of mechanically activated alumino-silicate rocks of natural and anthropogenic genesis has been studied. It is established that all the analyzed natural raw alumino-silicate components differ in polymineral composition with a high content of amorphous silica. Differences in mineral-genetic characteristics of alumino-silicate rocks, content of the amorphous component and preliminary thermal treatment influence on the variability of dimensional parameters of the raw material in the course of mechanical activation. The kinetics of mechanical effect on the material due to the improvement of grindability, change in the granulometry with a significant increase in the specific surface was conducted. The results obtained make it possible to control dimensional parameters of the raw material in the course of mechanical activation that is an important factor of improving the activity and reaction capacity of the material as well as optimization of grinding conditions. The feasibility of using alumino-silicate rocks from the position of reducing the energy intensity at the technological stage of the raw material preparation – grinding – is shown.

Keywords: alumino-silicate raw material, dispersion, mechanical activation, dimensional heterogeneity.

Одним из важнейших факторов, определяющих структурно-обусловленные свойства композиционных вяжущих, является фазово-размерная гетерогенность (ФРГ) сырьевых компонентов. ФРГ сырья различного генезиса определяет его различное энергетическое состояние и, как следствие, реакционную способность в физико-химических процессах при твердении вяжущих [1]. Активное влияние на параметры ФРГ минеральных систем оказывает механоактивационное воздействие. Механоактивация является инструментом достаточно тонкого управления размерными, фазовыми и реакционными параметрами традиционно применяемого кварцевого материала [2]. В то же время по результатам авторских исследований в составах композитов вяжущих актуально использование нетрадиционных видов алюмосиликатных пород природного и антропогенного происхождения с высоким содержанием аморфной фазы, которые являются более реакционноспособными в сравнении с кристаллическим

кварцем [3] и активно участвуют в структурообразовании портландцементных [4], известково-кремнеземных [5] и геополлимерных вяжущих [6, 7]. Использование природных тонкодисперсных алюмосиликатов позволяет не только расширить сырьевую базу, но и дает возможность решить вопросы ресурсосбережения и снизить экологический прессинг за счет использования невостребованных техногенных попутно добываемых пород. Алюмосиликатные материалы отличаются высокой степенью размолоспособности, поэтому информация по изменению размерных параметров при механической обработке является важной для корректировки технологического процесса с учетом снижения его энергоёмкости.

Целесообразность данного исследования связана с изучением изменения размерной гетерогенности алюмосиликатных пород природного и антропогенного генезиса при механоактивации и обусловлена рациональным выбором нетрадиционных сырьевых материалов с

Таблица 1

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	SO ₃	ППП
Кварцевый песок	мас. %	92,76	2,37	0,77	1,89	0,2	–	–	–	–	0,05	1,96
Перлит		70,4	12,85	0,95	0,95	0,15	0,04	3,9	3,59	5	–	2,17
Аргиллит		67,14	21,57	0,02	0,78	0,28	–	1,3	1,26	–	–	7,65
Опока		74,55	6,75	4,56	1,75	0,7	0,05	1,1	1,38	4,88	0,03	4,25
Цеолитизированный туф		59,72	11,2	0,99	2,4	1,73	0,12	1,05	2,84	8,15	–	11,8

* Работа выполнена в рамках: Гранта Президента Российской Федерации МК 6170.2013.8; программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

* The work is made within the frame of the Grant of the President of the Russian Federation МК 6170.2013.8; programs of strategic development of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University.

Таблица 2

Алюмосиликатная порода	Содержание аморфной фазы, %
Перлит	98,45
Аргиллит	50,83
Опока	47,81
Цеолитизированный туф	34,9

возможностью снижения энергоемкости на технологической стадии подготовки сырья – помол.

Объектом исследования были выбраны широко распространенные алюмосиликатные породы: магматогенно-эффузивные – перлит Мухор-Талинского месторождения (Бурятия); осадочного происхождения – цеолитизированные туфы месторождения Хонгуруу (Якутия), аргиллит и опока, являющиеся техногенными попутно добываемыми породами добычи угля Коркинского угольного разреза. Для сравнения использовали кварцевый песок Нижне-Ольшанского месторождения. Химический состав материалов представлен в табл. 1.

В рамках проведенных работ для исследования влияния термоактивации на изменение размерных параметров алюмосиликатов при механической обработке использовалась модифицированная опока, полученная путем обжига при температуре 600°C с временем выдержки 40 мин [5].

Все рассматриваемые природные сырьевые алюмосиликатные компоненты отличаются полиминеральным составом со значительным содержанием аморфного кремнезема. Наличие аморфной фазы является одним из основополагающих факторов фазово-размерного эффекта в алюмосиликатах, определяющим энергетическое состояние породы и, как следствие, реакционную способность в физико-химических процессах при твердении вяжущих. Определение концентрационных показателей аморфной составляющей в изучаемых породах осуществлялось на основании данных рентгенофазового анализа с помощью программы FullProf (табл. 2).

Как известно [8], содержание аморфной составляющей является залогом высокоэнергетического состояния материала, что стимулирует процесс механоактивации.

С целью корректного сопоставления результатов исследуемые породы были измельчены до начального значения величины удельной поверхности 100 кг/м². Дисперсионный анализ пород проводился после механоактивации в планетарной мельнице. Для активации использовались стальные шары с диаметром 5 мм; отношение массы вещества к массе шаров 1:20. Выходными параметрами являлись удельная поверхность и размер частиц.

Исследование кинетики изменения удельной поверхности проводилось в течение 6 ч помола с контрольными точками после 1, 2, 4 и 6 ч диспергирования (табл. 3).

Изменение удельной поверхности материалов при достаточно продолжительном механоактивационном воздействии показывает, что алюмосиликатные материалы различного генезиса отличаются высокой размолоспособностью в сравнении с кварцевым песком. Достижение удельной поверхности 300–400 м²/кг при всех равных условиях во всех алюмосиликатах наступает уже через час активации материала. Алюмосиликатная порода с максимальным содержанием аморфной фазы – перлит обладает самой высокой размолоспособностью.

Несмотря на очевидные изменения удельной поверхности, гранулометрия алюмосиликатов с течением времени помола изменяется незначительно. Анализ распределения частиц по размерам осуществлялся методом лазерной гранулометрии. Кривые дифференциального распределения частиц по размерам представлены на рис. 1.

Наибольшие возрастания удельной поверхности перлита относительно слабо сказываются на кривой

Таблица 3

Минерал	Удельная поверхность, м ² /кг, при времени помола, ч			
	1	2	4	6
Кварцевый песок	274	354	417	520
Перлит	429	722	743	798
Цеолитизированный туф	365	517	657	747
Опока	332	423	533	678
Опока термоактивированная	412	576	673	732
Аргиллит	352	483	497	620

распределения частиц по размерам. Концентрация частиц перлитовой породы варьируется в широком диапазоне от 0,25 до 100 мкм и остается в таком же диапазоне при помоле в течение 4 и 6 ч, что свидетельствует о постоянстве полидисперсности материала (рис. 1, б).

В опоке преобладают составляющие органического происхождения, в том числе гелифицированные углеродистые компоненты. График распределения частиц опоки носит прерывистый характер, первый пик в области размера частиц 1–2 мкм и второй – в области 5–25 мкм. Содержание органогенных продуктов (остатков диатомовых водорослей) обуславливает наличие высокодисперсных частиц в области 1–2 мкм, количество которых с течением времени помола увеличивается (рис. 1, в).

Термоактивация опоки является существенным фактором изменения размерных параметров после механической обработки, сопровождающего возрастанием удельной поверхности (табл. 3) и смещением основной массы частиц в область размеров 10–12 мкм (рис. 1, г). Постепенная дегидратация глинистых минералов и перестройка их структуры при воздействии высокой температуры приводят к повышению пористости и появлению высокодисперсных новообразований.

Укрупнение частиц при термическом воздействии объясняется их агрегированием, которое становится возможным из-за избытка внутренней энергии в системе, возникающего в результате дегидратации слоистых алюмосиликатов [9]. Механоактивация оказывает влияние на изменение размеров частиц. При длительной активации (4–6 ч) увеличивается концентрация частиц размером от 1 до 11 мкм.

Гранулометрический состав аргиллита в течение всего времени механоактивации изменяется незначительно, и при длительности 4–6 ч небольшое количество частиц размером 5–7 мкм смещается в область меньших показателей 1–2 мкм. Аргиллит содержит значительное количество глинистой составляющей, для которой характерно наличие как отдельных частиц глинистых минералов, так и агрегатов, которые в свою очередь, могут иметь различную дисперсность без обладания каких-либо конкретных фракций (рис. 1, д).

Размерная область частиц цеолитизированной породы при механоактивации остается однородной. В данной породе в сравнении со всеми рассматриваемыми материалами содержится 34,9 % аморфной фазы (табл. 2), но при этом кинетика изменения удельной поверхности материала происходит в достаточно высоких областях и содержатся частицы размером до 1 мкм, что не исключает присутствия наноразмерных частиц (рис. 1, е).

Высокая размолоспособность сырьевых компонентов актуальна для решения вопросов снижения энергозатрат самого продолжительного и энергоемкого технологического передела – помола и сокращения продол-

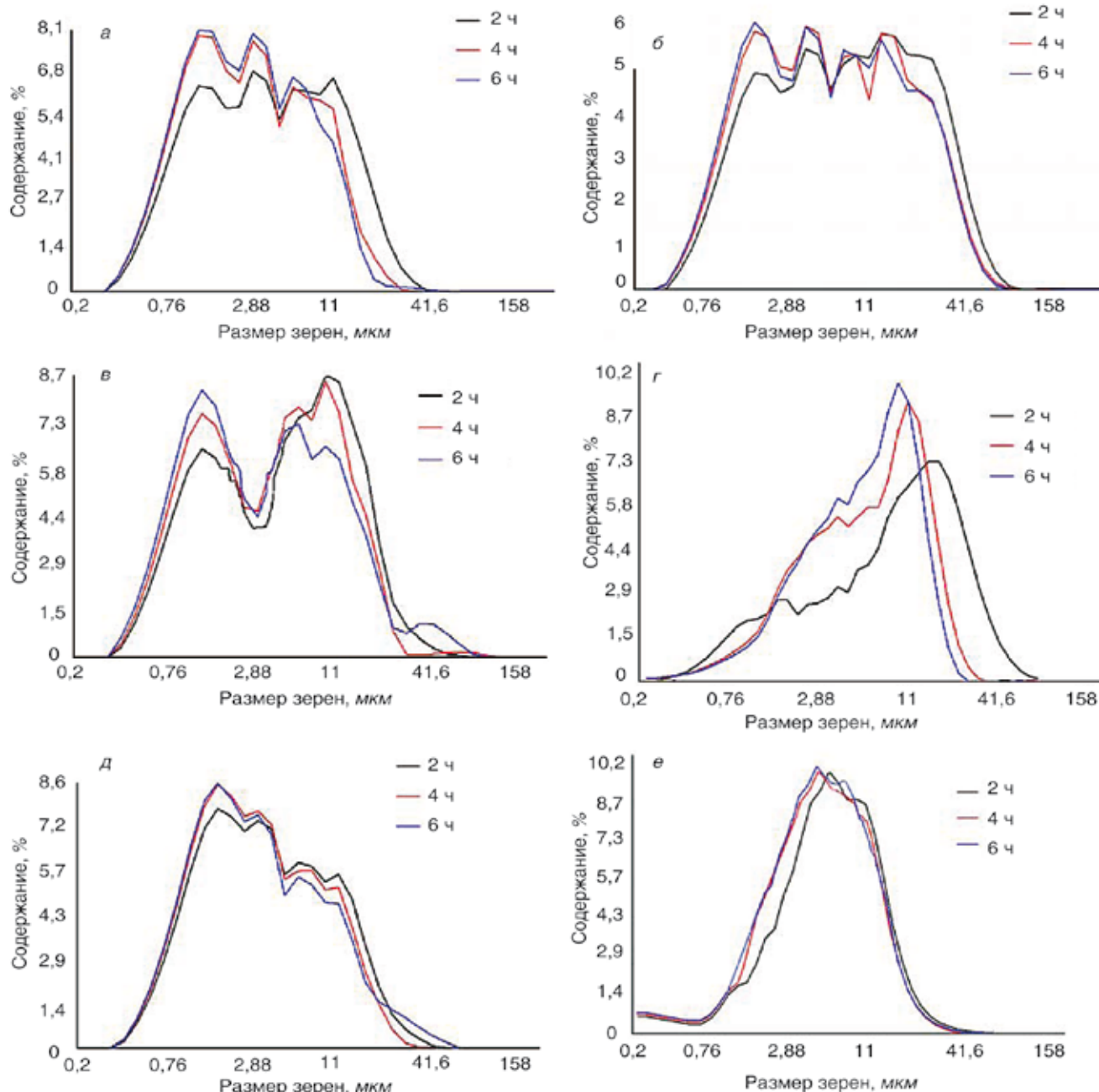


Рис. 1. Гранулометрический анализ пород: а – кварцевый песок; б – перлит; в – опока, г – опока термоактивированная; д – аргиллит; е – цеолитизированный туф

жительности технологического цикла получения вяжущего. Согласно полученным данным максимальное снижение энергоёмкости в сравнении с кварцевым песком составляет до 40% (рис. 2).

Таким образом, в ходе проведенных исследований было установлено, что различия минералогенетических характеристик алюмосиликатных пород, содержание аморфной составляющей и предварительная термообработка оказывают влияние на размерные параметры сырья при механоактивации, приводят к возрастанию удельной поверхности материала, изменению гранулометрического распределения частиц, что является важным фактором не только для повышения активности и реакционной способности, но и оптимизации режима помола.

Следует отметить, что изучение размерной гетерогенности механоактивированных алюмосиликатов различного генезиса является предметом дальнейшего исследования.



Рис. 2. Энергоёмкость помола алюмосиликатных пород в сравнении с кварцевым песком

Список литературы

1. Жерновский И.В., Строкова В.В. К проблеме фазово-размерной гетерогенности минерального сырья как фактора структурообразования строительных материалов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2013. № 31-2. С. 112–118.
2. Жерновский И.В., Строкова В.В., Бондаренко А.И., Кожухова Н.И., Соболев К.Г. Структурные преобразования кварцевого сырья при механоактивации // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 56–59.
3. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Яковлев Е.А., Шейченко М.С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2009. № 1. С. 30–33.
4. Носова А.Н., Фомина Е.В. Термоактивация опал-кристобалитовой породы – отхода Коркинского угольного месторождения // *Технические науки – от теории к практике: Сб. материалов конф. XXIV Междунар. заоч. науч.-практ. конф.* Новосибирск. 7 августа 2013 г. № 24. С. 106–111.
5. Ходыкин Е.И., Фомина Е.В., Николаенко М.А., Лебедев М.С. Рациональные области использования сырья угольных разрезов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2009. № 3. С. 125–128.
6. Фомина Е. В., Кожухова М.И., Кожухова Н.И. Оценка эффективности применения алюмосиликатной породы в составе композиционных вяжущих // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2013. № 4. С. 31–35.
7. Войтович Е.В., Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Череватова А.В., Нецвет Д.Д. Концепция контроля качества алюмосиликатных вяжущих негидратационного твердения // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 68–70.
8. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. М.: Стройиздат, 1972. 240 с.
9. Лебедев М.С., Строкова В.В., Жерновский И.В., Потапова И.Ю. Изменение свойств минеральных порошков из алюмосиликатного сырья под влиянием термической модификации // *Строительные материалы*. 2012. № 9. С. 68–70.

References

1. Zhernovsky I.V., Strokov V.V. About problem of phase-size heterogeneity of mineral raw as factor of structural formation of construction materials. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. No. 31-2, pp. 112–118. (In Russian).
2. Zhernovsky I.V., Strokov V.V., Bondarenko A.I., Kozhukhova N.I., Structural transformations of silica raw material in the course of mechanical activation. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]* 2012. No. 10, pp. 56–59. (In Russian).
3. Lesivik V.S., Alfimova N.I., Yakovlev E.A., Sheichenko M.S. About problem of enhancement of efficiency of composite binders. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2009. No. 1, pp. 30–33. (In Russian).
4. Nosova A.N., Fomina E.V. Thermal activation of opal-cristobalite rock – waste of Korkin's coal mine. Technical sciences – from theory to practice: *Proceeding of XXIV International virtual research and practice Conference*. Novosibirsk. 2013. No. 24, pp. 106–111. (In Russian).
5. Khodyikin E.I., Fomina E.V., Nikolaenko M.A., Lebedev M.S. Rational areas of application of coal strip mine raw. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2009. No 3, pp. 125–128. (In Russian).
6. Fomina E.V., Kozhukhova N.I., Kozhukhova M.I. Estimation of efficiency of application of aluminosilicate raw in composite binders. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2013. No. 4, pp. 31–35. (In Russian).
7. Voitovich E.V., Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Cherevatova A.V., Netsvet D.D. Concept of quality control of aluminum silicate binders of non-hydration hardening. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2013. No. 11, pp. 68–70. (In Russian).
8. Khodakov G.S. Tonkoe izmel'chenie stroitel'nykh materialov [Fine finding of construction materials]. Moscow: Stroizdat. 1972. 240 p.
9. Lebedev M.S, Strokov V.V., Zhernovsky I.V., Potapova I.Y. Change of properties of mineral powders prepared from aluminosilicate raw material under influence of thermal modification. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2012. No. 9, pp. 68–70. (In Russian).

Реклама

Ульяновская область, 20км от г.Ульяновска

ПРОДАЕТСЯ земельный участок

140 га

с разведанным объемом глины

9 000 000 м³

ООО "ПРЕМЬЕРА"

+7 (929) 798-55-62

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

Реклама

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

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

автоматическая обработка измерений



диапазон 3...100 МПа

УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С
ультразвуковой

поверхностное и сквозное прозвучивание



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

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

отрыв со скалыванием и скалывание ребра



предельное усилие 60 кН
диапазон 5...100 МПа

ПОС-2МГ4 П

испытание прочности ячеистых бетонов



предельное усилие вырыва 2,5 кН

ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКИЕ
ПДУ-МГ4 "Удар"

и ПДУ-МГ4 "Импульс"

определение динамического модуля упругости грунтов и оснований дорог методом штампа,

диапазон: 5...370 МН/м² ("Удар")
5...300 МН/м² ("Импульс")



Прессы испытательные малогабаритные

ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4 / ПГМ-1000МГ4

с гидравлическим приводом для испытания бетона, асфальтобетона, кирпича

■ предельная нагрузка 100 / 500 / 1000 кН

■ масса 70 / 120 / 180 кг



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

с ручным / электрическим приводом для испытания утеплителей на изгиб и сжатие при 10% линейной деформации

■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН
■ масса 20 / 25 кг

ПСО-10МГ4 КЛ

испытание прочности сцепления в каменной кладке



предельное усилие отрыва 15 кН

АДГЕЗИМЕТРЫ

ПСО-МГ4

испытание прочности сцепления покрытия с основанием



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

ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"

стационарный и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ

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

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



ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01
термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ИТП-МГ4.03 "Поток"

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



диапазон 10...999 Вт/м²
-40...+70 °С

ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

ВЛАГОМЕР-МГ4

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



ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

ИПА-МГ4

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



ТЕРМОМЕТРЫ

ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01

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



ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

ДО-40 / 60 / 80МГ4

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых усилий 2...120 кН

диаметр арматуры 3...12 мм



ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ

ЭИН-МГ4

частотный метод

диаметр арматуры 3...32 мм

диапазон 100...1800 МПа








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

SibBuild








место проведения МВК «Новосибирск Экспоцентр»



Неделя архитектуры и строительства

-  Оконные технологии
-  Ворота и автоматика
-  Строительные материалы
и оборудование. Строительство
-  Инструменты и крепёж
-  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

www.SibBuild.com



Организатор ITE Сибирь
ул. Станционная, 104, тел.: +7 (383) 363 00 63
e-mail: sibbuild@sibfair.ru, www.ite-siberia.ru



К 80-летию Н.И. Макридина

2 августа 2014 г. исполнилось 80 лет профессору кафедры «Технологии строительных материалов и деревообработки» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, доктору технических наук, советнику Российской академии архитектуры и строительных наук Николаю Ивановичу Макридину.

Н.И. Макридин родился в Пензенской области. После окончания в 1964 г. Пензенского инженерно-строительного института (ныне ПГУАС) был оставлен для преподавательской работы на кафедре «Строительные материалы», затем работал на кафедре «Технологии бетона, керамики и вяжущих».

Последовательно прошел путь от преподавателя до профессора кафедры, декана факультета и заслуженного профессора ПГУАС.

Николай Иванович Макридин постоянно совершенствует методы обучения, поддерживает связь с выпускниками вуза, учитывает их рекомендации по улучшению качества подготовки специалистов.

Научные исследования Н.И. Макридина посвящены изучению конструкционной прочности и механики разрушения цементных композитов на пористых и плотных заполнителях.

По результатам научных исследований и их практической реализации в 1969 г. он защитил кандидатскую диссертацию, в 1999 г. — докторскую. В 1991 г. ему присвоено ученое звание профессора.

На кафедре им была создана научно-исследовательская лаборатория по изучению закономерностей процесса разрушения конструкционных бетонов, которая стала кузницей высококвалифицированных инженеров и кандидатов наук.

Н.И. Макридин — известный ученый в области строительного материаловедения. Им опубликовано лично и в соавторстве с учениками более 570 научных и учебно-методических работ, в том числе 17 учебных пособий, 23 монографии, 7 нормативных документов, 20 учебно-методических разработок, 16 авторских свидетельств и патентов на изобретение. Его учебные пособия с грифом Минвуза СССР и Минобразования России используются во многих вузах России и стран СНГ.

При научном руководстве и консультировании Николая Ивановича подготовлено 10 кандидатов наук, один доктор наук и 13 магистров техники и технологии по направлению «Строительство».

За успехи в труде Николай Иванович Макридин награжден знаком Министерства образования СССР «Победитель социалистического соревнования — 1979»; за долголетний добросовестный труд — медалью «Ветеран труда», почетным званием «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации»; за заслуги в области образования Российской Федерации — нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»; за заслуги в области науки и техники — званием «Почетный работник науки и техники Российской Федерации»; за изобретательскую деятельность Н.И. Макридин награжден почетным знаком «Изобретатель СССР».

УДК 691.327:539.4

Н.И. МАКРИДИН, д-р техн. наук, советник РААСН,
И.Н. МАКСИМОВА, канд. техн. наук (maksimovain@mail.ru), Е.А. ТАМБОВЦЕВА, магистрант
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)

Сравнительный анализ механического поведения горных пород на диаграмме нагружения

Представлены результаты анализа экспериментально полученных графических зависимостей количества и характера изменения генерируемых ультразвуковых импульсов акустической эмиссии на диаграмме нагружения природных каменных материалов разного генезиса. Комплексная оценка силовых, энергетических, деформационных и акустических параметров механического поведения горных пород позволяет предложить критерий конструкционного качества заполнителей при их выборе для бетонов повышенной прочности и надежности.

Ключевые слова: горные породы, акустическая эмиссия, акустические параметры, процесс разрушения, трещиностойкость.

N.I. MAKRIDIN, Doctor of Sciences (Engineering), Counsellor of RAACS,
I.N. MAKSIMOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (maksimovain@mail.ru),
E.A. TAMBOVTSEVA, MA Student
Penza State University of Architecture and Civil Engineering (28, Germana Titova Street, Penza, 440028, Russian Federation)

Comparative Analysis of Mechanical Behavior of Rocks on the Loading Diagram

Results of the analysis of experimentally obtained graphic dependences of the quantity and character of changes of generated ultrasound impulses of the acoustic emission on the diagram of loading of natural stone materials of different genesis are presented. The complex assessment of power, energetic, deformation, and acoustic parameters of the mechanical behavior of rocks makes it possible to offer the criterion of structural quality of fillers in the course of their selection for concretes of higher strength and reliability.

Keywords: rocks, acoustic emission, acoustic parameters, destruction process, crack resistance.

В настоящее время существует тенденция использования в строительстве бетонов нового поколения высокой и сверхвысокой прочности, склонных к хрупкому разрушению. Это обуславливает постановку экспериментальных исследований по изучению и получению новых физически обоснованных параметров механического поведения и классификации каменных материалов по трещиностойкости с целью реализации основной идеи разработки композиционных материалов: соединения высокой прочности с хорошей вязкостью разрушения и повышения на этой основе качества и надежности бетона.

В соответствии с подходом структурной механики разрушения композиционных материалов реальная прочность материала связывается с его энергией разрушения, модулем упругости и размером дефекта структуры, обуславливающим начало разрушения, так как концепция механики разрушения заключается в том, что разрушение твердого тела под нагрузкой происходит в результате развития в нем реальных дефектов. При этом предсказано теоретически и показано экспериментально влияние дисперсной фазы на три указанных фактора, от которых зависит прочность [1].

В этой связи оценка параметров механического поведения (трещиностойкости) природных горных пород, используемых в качестве заполнителей для бетонов, влияющих на фактор реальной прочности цементного композита, представляет не только теоретический интерес, но и большую практическую ценность, так как в задаче выбора заполнителей, особенно для бетонов высокой и сверхвысокой прочности, эти вопросы весьма слабо освещены в литературе и поэтому приобретают особую значимость при оценке надежности и долговечности бетонов нового поколения при силовых и несиловых воздействиях.

Одним из путей дальнейшего выяснения природы механического поведения композиционных материалов под нагрузкой может служить новый подход к проблеме прочности, в основе которого лежит детальное изучение самого процесса разрушения с позиций физики и механики разрушения. Целью данной работы является сравнительный анализ методических возможностей и перспектив применения метода акустической эмиссии (АЭ) при изучении поведения каменных материалов с оценкой механических и акустических параметров предельного состояния структуры заполнителей разного генезиса на диаграмме нагружения при неравновесных механических испытаниях опытных образцов по ГОСТ 29167–91 (Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении).

Для исследования были изготовлены опытные образцы: 24×60×300 мм из гранита; 23×43×340 мм из известняка. Количество образцов из каждого материала 15.

На каждом образце последовательно определяли: динамический модуль упругости E_δ и коэффициент внутреннего трения K_{BT} ; предельную деформативность ε_p растянутой зоны образца при изгибе (с помощью тензодатчиков базой 30 мм); критический коэффициент интенсивности напряжений K_{IC} при неравновесных механических испытаниях образцов при изгибе; критическую интенсивность высвобождения энергии или силу продвижения трещины G_{IC} ; АЭ образцов на кривой нагружения в полосе частотного диапазона 50–150 кГц; предел прочности на растяжение при изгибе R_{PI} . Основные характеристики акустико-эмиссионного устройства (АЭУ): число приемных каналов 2; частотный диапазон аппаратуры 8–1000 кГц; чувствительность по входу предусилителя в полосе $\Delta f = 100$ кГц – 2–5 мкВ; частота среза ФВЧ 8, 20, 50, 150 кГц; частота

среза ФНЧ 20, 50, 150, 1000 кГц; глубина регулировки усилительного тракта 40 дБ.

Нагружение образцов производили ступенями в 0,1 ожидаемой прочности на растяжение при изгибе, на каждой ступени нагружения образцы выдерживали в течение 1–1,5 мин для записи показаний приборов или до полного прекращения акустического излучения. Скорость движения подвижного захвата во всех опытах была одинаковой и составляла $166 \cdot 10^{-7}$ м/с. С целью получения хорошего акустического контакта преобразователь АЭ прижимался с постоянным усилием к торцевой поверхности образца-призмы через тонкий слой петролатумной смазки.

В данной работе в качестве информативных параметров АЭ при изучении трещиностойкости горных пород приняты: суммарная энергия импульсов АЭ на диаграмме нагружения опытных образцов и дифференциальное приращение энергии импульсов АЭ на этапах нагружения, а также амплитуды импульсов АЭ на двух уровнях A_1 и A_2 : первый уровень в диапазоне 0,05–0,5 В; второй уровень выше 0,5 В.

Силовую характеристику трещиностойкости для образцов типа I при трехточечном изгибе, R_{PI} , вычисляли по формуле:

$$R_{PI} = \frac{3F_c^* \cdot L}{2tb^2 \cdot (1-\lambda)^2}, \quad (1)$$

где F_c^* – максимальная (разрушающая) нагрузка, Н; L – расстояние между опорами, м; t и b – ширина и высота сечения, м; $\lambda = \frac{a}{b}$ – относительная длина надреза.

Динамический модуль упругости E_δ определяли по формуле [2]:

$$E_\delta = 0,965 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{l}{b}\right)^3 \cdot \frac{P \cdot f^2}{a} \cdot T, \quad (2)$$

где l , b , a – соответственно длина, высота, ширина образца, см; P – масса образца, г; f – резонансная частота колебаний изгиба, Гц; T – коэффициент, учитывающий размер образца ($T=1,07-1,2$); $0,965 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент, учитывающий основной вид колебаний образца и размерность выбранных единиц измерения.

Коэффициент внутреннего трения определяли по формуле [2]:

$$K_{BT} = \frac{\Delta f}{\sqrt{3}f}, \quad (3)$$

где Δf – ширина резонансной характеристики образца на уровне половины максимальной амплитуды изгибных колебаний по обе стороны от резонанса.

Критический коэффициент интенсивности напряжений K_{IC} определяли по зависимости ГОСТ 29167–91:

$$K_{IC} = \frac{3F_c^* \cdot L_0}{2b^{3/2} \cdot t} \cdot \sqrt{\frac{a_0}{b}} \cdot (1,93 - 3,07\lambda + 14,53\lambda^2 - 25,11\lambda^3 + 25,8\lambda^4), \quad (4)$$

где F_c^* – критическая нагрузка начала движения трещины; L_0 – расстояние между опорами, равное $3,8b$; b – высота образца; t – ширина образца; a_0 – глубина надреза; $\lambda = \frac{a_0}{b}$.

Критическую интенсивность высвобождения энергии или силу продвижения трещины G_{IC} определяли по формуле [3]:

$$G_{IC} = \frac{K_{IC}^2}{E_\delta}. \quad (5)$$

Суммарную энергию акустической эмиссии $\mathcal{E}_{AЭ}$ ($\text{В}^2 \cdot \text{см}^{-2}$), как критерий трещиностойкости образцов, определяли по [4] путем отношения зафиксированной акустико-эмиссионным устройством энергии АЭ, $\mathcal{E}_{AЭ}$, В^2 при нагружении образца до деформации ε_p к поверхности его разрушения S , см^2 .

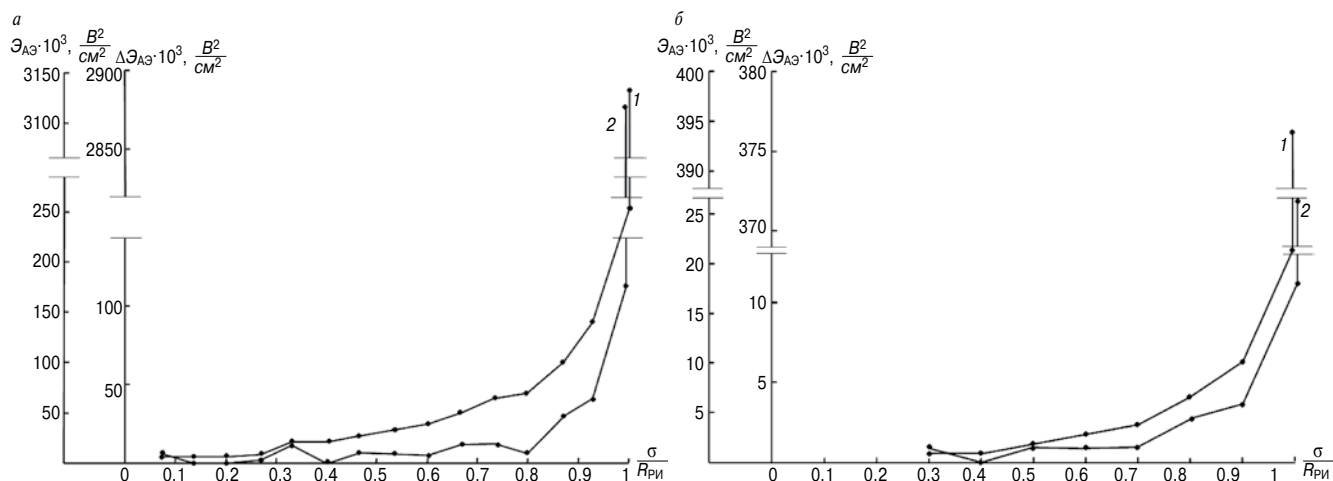


Рис. 1. Зависимость энергии акустической эмиссии $\mathcal{E}_{AЭ}$ (1) и дифференциального приращения энергии акустической эмиссии $\Delta \mathcal{E}_{AЭ}$ (2) гранита (а) и известняка (б) от интенсивности нагружения образцов типа I по ГОСТ 29167 при трехточечном изгибе

На рис. 1 представлено амплитудно-энергетическое распределение суммарной энергии импульсов АЭ и дифференциальное приращение энергии импульсов АЭ на этапах нагружения образцов из гранита и известняка. Из анализа суммарной энергии импульсов АЭ и дифференциального приращения энергии импульсов АЭ на диаграммах нагружения следует отметить, что излучение акустических волн напряжений, вызванное внутренней динамической перестройкой структуры материала под воздействием механической нагрузки для рассматриваемых в исследовании горных пород, имеет существенное, как качественное, так и количественное различие.

Анализируя акустическую эмиссию, полученную на образцах из гранита и известняка (рис. 1), следует отметить, что излучение АЭ фиксировали с первого этапа нагружения для гранита. При этом до интенсивности напряжения, равного $0,7R_{PI}$, фиксируется излучение АЭ только при приложении нагрузки. Начиная с этапа $0,8R_{PI}$ стала проявляться акустическая эмиссия и при выдержке образца под нагрузкой.

На следующем этапе выдержки под постоянной нагрузкой зафиксировано значительное дифференциальное приращение излучения АЭ, что свидетельствует о локальной перестройке структуры гранита. Сравнивая характер энергетического распределения АЭ гранита с его коэффициентом внутреннего трения, который имел наибольшие значения из сравниваемых пород, можно констатировать, что зернистая поликристаллическая структура гранита является типичной композитной структурой, которая характеризуется высокой степенью превращения в теплоту механической энергии, сообщенной ей в процессе деформирования, и сопротивляемостью разрушению, что

и подтверждается методами исследования АЭ и внутреннего трения.

Излучение импульсов АЭ отражает развитие деформирования и разрушения материала на разных масштабных уровнях и разную природу генерируемых сигналов, в основе которых лежат различные физические явления – пластические деформации, характеризующиеся ультразвуковыми импульсами АЭ относительно малой амплитуды A_1 , а возникновение и развитие дефектов структуры материала излучают сигналы АЭ относительно большой амплитуды A_2 . Измерение параметров указанных импульсов позволяет не только обнаруживать развитие дефектов и оценивать механическое поведение и параметры предельного состояния структуры, но и выявлять параметры материала, определяющие его трещиностойкость, понимание которых позволяет указать технологам оптимальные пути создания конструкционных бетонов нового поколения.

На рис. 2 представлена кинетика развития УЗ-импульсов АЭ N_1 и N_2 с дискриминационными амплитудами соответственно A_1 и A_2 и соотношение количества УЗ-импульсов N_1/N_2 малых и больших амплитуд на кривой нагружения опытных образцов из гранита и известняка, по которым проводили идентификацию процесса разрушения в реальном масштабе времени.

Акустический параметр $N_1(A_1)/N_2(A_2)$ можно использовать для идентификации разрушения образцов сравниваемых пород на диаграмме нагружения с учетом различных физических явлений, лежащих в основе генерируемых сигналов АЭ с амплитудами A_1 и A_2 , и отражающих в общем случае вклад пластической и упругой (хрупкой) составляющих в суммарный процесс силового разрушения.

Параметры	Вид породы	
	Гранит	Известняк
Плотность, г/см ³ (кг/м ³)	2,78 (2780)	2,44 (2440)
Прочность R_{PI} , МПа	15,57	8,11
Динамический модуль упругости, МПа	40840	34120
Коэффициент внутреннего трения	0,01224	0,00519
Предельная деформативность растянутой зоны, мм/м	0,36	1,07
Критический коэффициент интенсивности напряжений, МПа·м ^{0,5}	1,27	0,785
Критическая интенсивность высвобождения энергии, Н/м	39,493	18,06

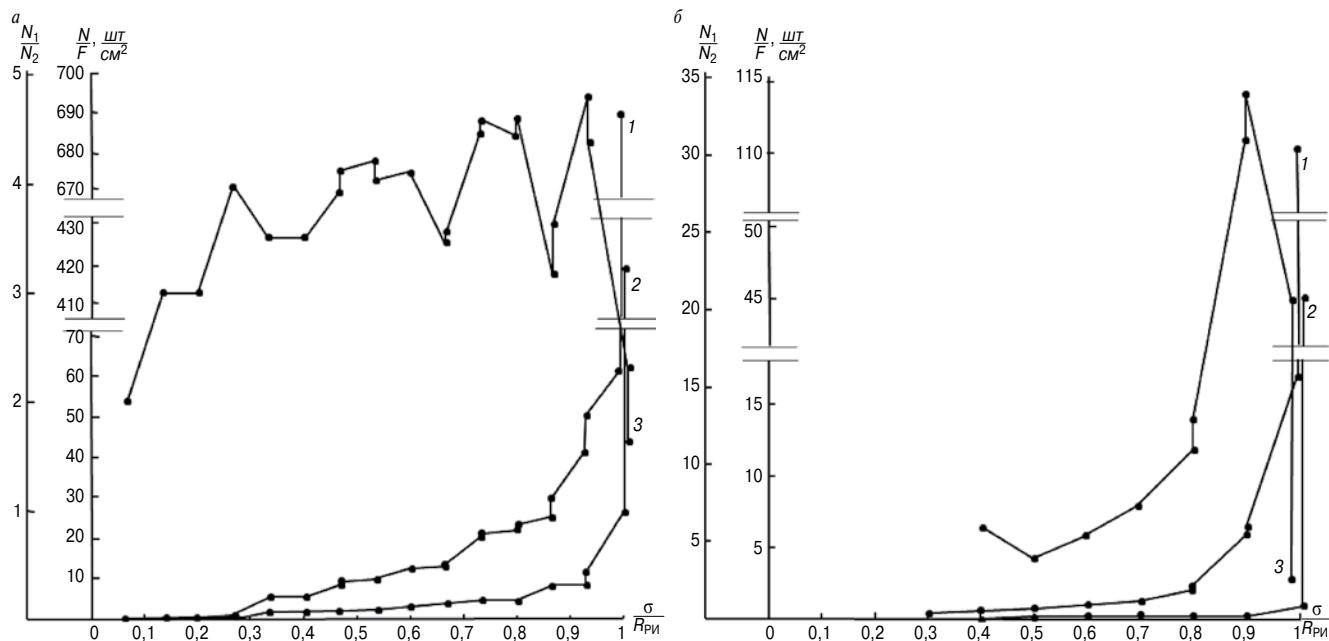


Рис. 2. Зависимость количества N_1 и N_2 сигналов АЭ соответственно с амплитудами A_1 и A_2 и отношения N_1/N_2 образцов гранита (а) и известняка (б) типа I по ГОСТ 29167 при трехточечном изгибе от интенсивности нагружения: 1 – амплитуда сигнала АЭ $A_1=0,05-0,5$ В; 2 – амплитуда сигнала АЭ $A_2>0,5$ В; 3 – отношение N_1/N_2 сигналов АЭ

Совместный анализ графических зависимостей рис. 2 и таблицы с учетом совокупности физико-механических характеристик сравниваемых горных пород позволяет прежде всего констатировать существенное различие механических свойств гранита и известняка. Так, численные значения прочности при изгибе, динамического модуля упругости и критического коэффициента интенсивности напряжений образцов гранита превышали значения механических характеристик образцов известняка соответственно в 1,92; 1,35 и 1,6 раза, а критическая интенсивность высвобождения энергии (сила продвижения трещины) – в 2,2 раза. При этом значения коэффициента внутреннего трения, являющегося мерой внутреннего трения структуры реальных материалов, были в 2,35 раза выше у образцов гранита. С точки зрения механического поведения материала под динамической нагрузкой это значит, что гранит обладает лучшей способностью необратимо превращать в теплоту механическую энергию, сообщенную ему в процессе деформирования. Другими словами, доля плотности энергии микропластических деформаций в зоне образующейся новой поверхности в общей эффективной поверхностной энергии материала значительно выше у образцов гранита, чем у образцов известняка.

Именно эти свойства и особенности микроструктуры сравниваемых материалов обуславливают принципиальное различие графических зависимостей изменения генерируемых УЗ-импульсов АЭ на диаграмме нагружения опытных образцов гранита и известняка, заключающееся прежде всего в том, что первые сигналы АЭ с амплитудой до 0,5 В были зарегистрированы на образцах гранита при интенсивности нагружения $0,067R_{pи}$, а на образцах известняка – $0,4R_{pи}$. В свою очередь, первые сигналы АЭ с амплитудой более 0,5 В были зарегистрированы соответственно при уровне нагружения $0,267$ и $0,4R_{pи}$. При этом и характер графических зависимостей изменения генерируемых УЗ-импульсов АЭ на рис. 2 имеет принципиальное отличие, что обусловлено различием как механического поведения, так и микромеханизмами процессов разрушения каменных материалов разного генезиса. В этом случае значение акустического параметра $N_1(A_1)/N_2(A_2)$ очень

четко отражает идентификацию процесса разрушения образцов с учетом различных физических явлений, лежащих в основе генерируемых сигналов с амплитудами A_1 и A_2 , что приближает исследователя к пониманию процесса разрушения и выявлению параметров материала, определяющих его трещиностойкость. Следует отметить, что характер изменения и численные значения акустического параметра на кривой нагружения образцов являются в этом смысле определяющими, так как на их основе можно прогнозировать предельные состояния структуры материала и его вязкость разрушения при силовом воздействии. Чем более широкий диапазон интенсивностей нагружения охватывает акустический параметр и чем больше его численное значение, тем больше он отражает вклад пластической составляющей в суммарный процесс разрушения и наоборот, что следует из графиков рис. 2. В свою очередь, достаточно резкое уменьшение численного значения акустического параметра, отражающего скачкообразную смену микромеханизма разрушения, является предвестником наступления предельного состояния структуры материала.

Заключение

Выполненные комплексные исследования физико-механических свойств и изменения генерируемых УЗ-импульсов АЭ на диаграмме нагружения опытных образцов горных пород разного генезиса, испытанных по методике ГОСТ 29167 с использованием метода АЭ для изучения самого процесса разрушения, позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Стохастический характер энергетического распределения импульсов АЭ на кривых нагружения опытных образцов позволяет использовать для анализа процесса зарождения, развития и движения дефектов структуры подходы синергетики, изучающей процессы самоорганизации, развития устойчивости и распада структур.
2. Стохастичность импульсов АЭ на этапах нагружения обусловлена неравновесными фазовыми переходами, отвечающими особой точке (точке бифуркации), при достижении которой скачкообразно изменяются свойства, обусловленные самоорганизацией про-

цесса. По характеру потери устойчивости однородного состояния равновесия и необратимого перехода в неоднородное стационарное состояние, устойчивое относительно малых возмущений, рассматриваемые структуры горных пород относятся к диссипативным структурам.

3. Анализ зависимости сопротивления горных пород разрушению по энергетическому распределению импульсов АЭ (рис. 1, 2) с позиций синергетики позволяет заключить, что эта зависимость является естественно присущей процессу разрушения – проявлять при разрушении одного и того же материала разные свойства в точках бифуркации, отвечающих

Список литературы

1. Ленг Ф.Ф. Разрушение композитов с дисперсными частицами в хрупкой матрице. В кн.: Композиционные материалы. Т. 5. Разрушение и усталость / Пер. с англ. Под ред. Г.П. Черепанова. М.: Мир, 1978. С. 9–57.
2. Прибор для измерения коэффициента внутреннего трения типа ИКВТ-2. Инструкция. Л.: ЛЭТИ, 1967. 32 с.
3. Карпенко Н.И., Зайцев Ю.В., Окольников Г.Э., Андрианов А.А. Экспериментальное определение физико-механических свойств и параметров механики разрушения ультравысокопрочных бетонов // Сб. трудов «Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2010 году». Москва–Орел: РААСН, 2011. С. 242–248.
4. Макридин Н.И., Королев Е.В., Максимова И.Н. Метод акустической эмиссии в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2007. № 3 / Наука. № 9. С. 25–27.

смене как типа диссипативных структур, так и микромеханизма разрушения, что подтверждается численными значениями коэффициента изменчивости силового критерия разрушения исследуемых материалов.

4. Комплексная оценка силовых, энергетических, деформационных и акустических параметров механического поведения горных пород позволяет предложить критерий конструкционного качества заполнителей при их выборе для бетонов повышенной прочности и надежности. Таким критерием качества, на наш взгляд, может быть безразмерное произведение $K_k = E_d \cdot K_{em}$.

References

1. Leng F.F. Razrushenie kompozitov s dispersnymi chastitsami v khrupkoi matritse. V kn. Kompozitsionnye materialy. Tom 5. Razrushenie i ustalost'. [Destruction of composites dispersed particles in the brittle matrix. In the book. Composite materials. Vol. 5 Destruction and fatigue. Translated from English by ed. Cherepanov G.P.]. Moscow: Mir. 1978, pp 9–57.
2. An instrument for measuring the coefficient of internal friction type IKVT-2. Instructions. Leningrad: LETI, 1967. 32 p.
3. Karpenko N.I., Zaitsev Yu.V., Okolnikova G.E., Andrianov A.A. Experimental determination of physical and mechanical properties and fracture mechanics parameters of ultra high-strength concrete. Proceedings. Fundamental research RAASN on scientific support development of architecture, urban planning and construction industry of the Russian Federation in 2010. Moscow-Orel: RAASN. 2011, pp. 242–248. (In Russian)
4. Makridin N.I., Korolev E.V., Maksimova I.N. The acoustic emission method in building materials. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 3 / Nauka. No. 9, pp. 25–27. (In Russian).

NEW

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 фазово-минерального 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 гетеро-валентного 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

20–23 января 2015 | Красноярск

XXIII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
СТРОИТЕЛЬСТВО
АРХИТЕКТУРА

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ, ОТДЕЛКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ

5 ПРИЧИН УЧАСТВОВАТЬ В ВЫСТАВКЕ

- 10 500 кв. м.
- 320 экспонентов
- Компании из Швеции, Германии, Чехии, Канады, России
- 13 447 посетителей в 2014 году
- Деловая программа: Архитектурно-строительный форум Сибири, Сибирский фестиваль архитектуры

ВПЕРЕДИ!
Одновременно пройдет выставка строительной техники и оборудования «ТехСтройЭкспо»!

МВД «Сибирь», ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 22-88-405, 22-88-611 (круглосуточно)
build@krasfair.ru, www.krasfair.ru

0+

Есть Такая Система



Группа компаний
«Единая Торговая Система»

20 ЛЕТ НА РЫНКЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

WWW.UTSRUS.COM

Е.В. КОРОЛЕВ, д-р техн. наук, директор, Научно-образовательный центр «Наноматериалы и нанотехнологии» (KorolevEV@mgsu.ru)

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

Термодинамическое условие сохранности слоя вяжущего вещества

Представлены методики расчета толщины прослойки вяжущего вещества между частицами дисперсной фазы (наполнителя), которая используется при прогнозировании влияния ее характеристик на свойства композитных материалов. Показано, что параметры дисперсной фазы оказывают значительное влияние на внутреннее напряженное состояние материала и параметры его состояния. Установлено термодинамическое условие сохранности слоя вяжущего вещества на поверхности дисперсной фазы.

Ключевые слова: вяжущее вещество, термодинамическое условие, прослойка, граница раздела фаз, седиментация, композиционный материал.

E.V. KOROLEV, Doctor of Sciences (Engineering), Director Research and Education Center «Nanomaterials and Nanotechnology» (KorolevEV@mgsu.ru) Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Thermodynamic Condition of Preserving the Layer of Binding Materials

Methods for the calculation of the thickness of the layer of binder between the particles of the disperse phase (filler) are presented; they are used for forecasting the influence of its characteristics on the properties of composite materials. It is shown that the parameters of the disperse phase significantly influence on the internal stress state of the material and parameters of its conditions. The thermodynamic condition for the preservation of the layer of binder on the disperse phase surface is established.

Keywords: binder, thermodynamic condition, layer, interphase boundary, sedimentation, composite material.

Исследователи, работающие в области строительного материаловедения, все чаще используют методы системного анализа для установления механизмов структурообразования и получения моделей, пригодных для прогнозирования влияния различных управляющих рецептурных и технологических факторов на свойства композитного строительного материала [1–3].

Во всех концентрационных моделях, разработанных для прогнозирования влияния рецептурных факторов (как правило, количество и размер частиц дисперсной фазы – наполнителя) на реологические и физико-механические свойства композитных материалов, ключевым параметром является толщина прослойки вяжущего вещества между частицами дисперсной фазы h . Например, в [4] предложены модели:

– для определения предельного напряжения сдвига:

$$\tau = a \left(\frac{h}{d_f} \right)^{-b};$$

– для определения пористости:

$$\Pi_{\text{см}} = \Pi_{\text{ф-х}} + 0,351 \cdot (v_f - v_{f,\text{opt}}) \text{ или } \Pi_{\text{см}} = \Pi_{\text{ф-х}} + 0,351 \cdot \left(v_f - \frac{1}{1 + S_{\text{уд}} \rho_f h_0} \right);$$

– для определения прочности:

$$R = \sigma_p (1 - v_n) - \sigma_p v_f (1 - \rho_f S_{\text{уд}} h_0 (k_m - 1)) + \sigma'_f v_f,$$

где $\Pi_{\text{ф-х}}$ – пористость, зависящая от физико-химического процесса взаимодействия на границе раздела фаз; σ'_f – коэффициент, характеризующий влияние наполнителя; ρ_f , $S_{\text{уд}}$ – соответственно средняя плотность материала наполнителя и его удельная поверхность; h_0 – усредненная толщина прослойки вяжущего вещества, рассчитываемая для оптимальных составов; v_n – пористость композита; k_m – коэффициент упрочнения вяжущего вещества; a , b – эмпирические коэффициенты уравнения $\tau = f(h/d_f)$; d_f – диаметр частиц дисперсной фазы.

Параметр h применяется также при анализе начального структурообразования композитных материалов [4]. Его значение принципиально важно при опре-

делении параметров потенциала парного взаимодействия частиц дисперсной фазы, оказывающего перво-степенное влияние на кинетику процессов флокулообразования. Причем определяется толщина прослойки жидкой фазы, изменяющей параметры структуры и свойства под влиянием поверхностных сил дисперсной фазы. Для композиционных вяжущих веществ, состоящих из активной фазы, например частиц портландцемента, и активизатора химического процесса, например воды или водных растворов, вычислить такую толщину нельзя (возникает необходимость более глубокой декомпозиции композита), поэтому в аналогичных концентрационных моделях свойств композита используется некоторая *технологическая толщина смеси* вяжущего вещества (композиции, состоящей из вяжущего вещества и активатора химической реакции). Очевидно, что технологическая толщина смеси вяжущего вещества будет кратна диаметру частицы активной фазы.

Для определения толщины прослойки вяжущего вещества используют различные подходы:

1. **Геометрический подход**, учитывающий содержание и параметры дисперсной фазы [5]:

$$h = \frac{6}{\rho_f S_{\text{уд}}} \left(\sqrt[3]{\frac{\eta_f}{v_f}} - 1 \right), \text{ или } h = \frac{1 - v_f}{v_f} \frac{1}{S_{\text{уд}} \rho_f},$$

где ρ_f – плотность материала дисперсной фазы; $S_{\text{уд}}$ – удельная поверхность частиц дисперсной фазы; v_f – объемная доля дисперсной фазы; η_f – максимальная плотность упаковки частиц.

2. **Реологический подход**, основанный на законе А. Эйнштейна [6]:

$$h = 2,3 \sqrt[3]{\frac{\eta_{\text{уд}\infty}}{2,5 v_f}} - \frac{3}{S_{\text{уд}} \rho_f}, \text{ или } h = \frac{1}{\rho_f S_{\text{уд}}} \left(\frac{k_1}{k_0} - 1 \right),$$

где $\eta_{\text{уд}\infty}$ – приведенная вязкость, равная $(\eta_{\infty} - \eta_0) \cdot \eta_0^{-1}$; k_1 и k_0 – коэффициенты, вычисляемые соответственно на основании измерений вязкости исследуемой дисперсной системы и модельной системы дисперсная фаза – среда, в которой среда не образует совсем или образует на поверхности частиц сольватную оболочку ничтожно малой толщины.

3. Энергетический подход [7, 8]:

$$h = \sqrt[3]{\frac{\pi \rho_m \chi_m |B_{mf} \rho_f - B_m \rho_m|}{6C_p}}, \text{ или } h = C \cdot \left(1 - \frac{T}{T_{кр}}\right)^{\frac{1}{6}},$$

где $C_p = (\rho_h - \rho_m) \cdot \rho_m^{-1}$; ρ_m – плотность вяжущего вещества; ρ_h – плотность вяжущего при толщине h ; C – константа; T – температура; B_m и B_{mf} – константы ван-дер-ваальсовского взаимодействия молекул вяжущего между собой и структурными элементами другой фазы соответственно; $T_{кр}$ – критическая температура.

4. Структурный подход [9, 10]:

$$h = \frac{8\pi^2 \sigma_m}{RT(\rho_f - \rho_m) \ln\left(\frac{\rho_f}{\rho_m}\right)}, \text{ или } h = \frac{\text{const}}{(\rho_f - \rho_m)^2 \ln\left(\frac{\rho_f}{\rho_m}\right)},$$

где σ_m – поверхностное натяжение вяжущего вещества.

Из представленных подходов для вычисления толщины вяжущего вещества различного вида (гомо- или гетерогенных на микромасштабном уровне) подход № 1 применим для всех видов вяжущих веществ, а подходы №№ 2–4 – только для гомогенных вяжущих.

Расчеты показывают, что при заметном удалении от $T_{кр}$ значения h находятся в интервале 10^{-7} – 10^{-9} м. Причем для веществ, состоящих из сложных молекул, толщина h близка к 10^{-7} – 10^{-8} м; для веществ, состоящих из простых молекул, значение h близко к 10^{-9} м [10]. Очевидно, что геометрический и реологический подходы позволяют вычислить усредненную толщину слоя вяжущего вещества без учета поверхностных явлений, особенностей строения молекул вяжущего и при предположении однородного распределения дисперсной фазы по объему композита.

В [4] предложен подход (подход № 5), учитывающий вклад поверхностных явлений:

$$h = \frac{N}{N_A} \frac{M}{\rho_c S_k} = \frac{\sigma_m \cos(\theta) M}{RT \rho_c},$$

где M – молярная масса вяжущего; S_k – площадь контакта фаз; ρ_c – плотность слоя; N_A – постоянная Авогадро; RT – тепловая энергия 1 моля вяжущего; θ – краевой угол смачивания.

В предварительных расчетах плотность слоя ρ_c принимается равной плотности вяжущего ($\rho_c \equiv \rho_m$). В этом случае $h = h_{\max}$:

$$h_{\max} = \frac{\sigma_m \cos(\theta) M}{RT \rho_m}.$$

Из последних зависимостей следует, что толщина слоя возрастает с увеличением молярной массы, поверхностного натяжения вяжущего вещества и с улучшением смачиваемости дисперсной фазы (наполнителя), а уменьшается при повышении температуры и плотности слоя. В принципе подход № 5 является разновидностью энергетического подхода, в котором используются интегральные параметры взаимодействия контактирующих фаз – поверхностное натяжение и краевой угол смачивания.

Анализ представленных подходов показывает, что каждый из них характеризует величину h в предположении протекания процесса формирования на поверхности дисперсной фазы слоя вещества с измененными свойствами (см., например, [11]) или вычисляемую а posteriori с применением характеристик наполнителя и композита.

Взаимодействие на границе раздела фаз приводит к неравномерному распределению вещества по толщине слоя. В первом приближении распределение плотности вещества можно описать зависимостью:

$$\rho(h) = \rho_m + A/h^n,$$

где ρ_m – плотность вещества в объеме, т. е. при $h \rightarrow \infty$; A , n – константы, характеризующие интенсивность изменения плотности.

Изменение плотности вещества оказывает важное влияние как на процессы начального структурообразования (образование флоккул) и экстенсивные свойства материала. Так, если толщина прослойки вяжущего существенно превосходит толщину сольватной оболочки, то влияние избыточной поверхностной энергии частиц наполнителя ничтожно мало и самопроизвольное образование флоккул невозможно. Наблюдаемые образования дисперсной фазы являются недостатками технологии приготовления композиции и изготовления изделий [4].

Влияние неравномерности распределения вещества в слое на параметры состояния композитного материала можно оценить посредством сопоставления плотностей композитов. Плотность материала, в котором отсутствует взаимодействие на границе раздела фаз (предположим также отсутствие в материале пор как самостоятельной фазы), равна:

$$\rho_k^{(1)} = (1 - v_f) \rho_m + v_f \rho_f,$$

а плотность композита с взаимодействием на границе раздела фаз:

$$\rho_k^{(2)} = (1 - v_f - v_i) \rho_m + v_f \rho_f + v_i \rho_i,$$

где v_f – объемная доля дисперсной фазы; v_i – объемная доля пленочной фазы; ρ_m , ρ_f , ρ_i – плотность вяжущего вещества, дисперсной и пленочной фазы соответственно.

Отсюда изменение плотности составит:

$$\Delta \rho_k = v_i (\rho_i - \rho_m),$$

а относительное изменение объема:

$$\delta V_k = \frac{\Delta V_k}{V_k^{(1)}} = \frac{\Delta \rho_k}{\rho_k^{(2)}}.$$

При замене:

$$v_i = S'_{уд} v_f \rho_f h_i,$$

где $S'_{уд}$ – истинная удельная поверхность дисперсной фазы, используя зависимости для определения $\Delta \rho_k$, $\rho_k^{(2)}$ и v_i , получим:

$$\delta V_k = \frac{S'_{уд} v_f \rho_f h_i (\rho_i - \rho_m)}{\rho_m + v_f [\rho_f (1 + S'_{уд} h_i (\rho_i - \rho_m)) - \rho_m]}.$$

При введении коэффициентов:

– k_h , характеризующего активность дисперсной фазы:

$$k_h = h_i / d_f;$$

– k_s , характеризующего шероховатость дисперсной фазы:

$$k_s = S'_{уд} / S_{уд};$$

– k_p , характеризующего способность вяжущего вещества к уплотнению в пленочной фазе:

$$k_p = \rho_i / \rho_m,$$

формула для вычисления δV_k преобразуется к виду:

* Терминология, введенная в работах [1, 2].

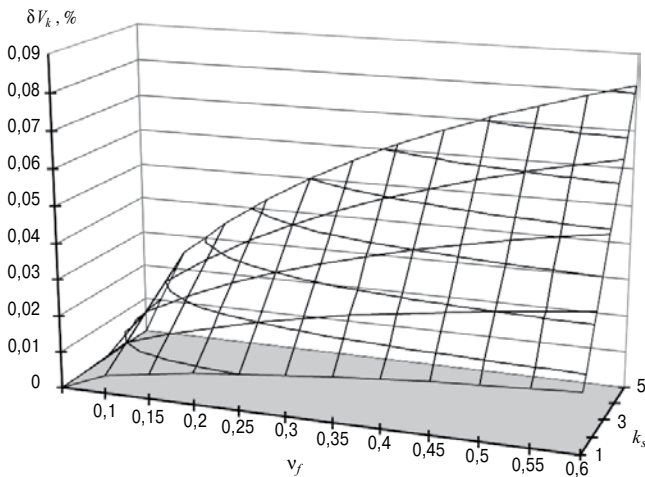


Рис. 1. Зависимость ΔV_k от v_f и k_s ($\rho_m=1000$ кг/м³; $\rho_f=3000$ кг/м³; $k_p=1, 1$; $k_f=0, 1\%$)

$$\Delta V_k = \frac{6k_f k_s v_f \rho_m (k_p - 1)}{\rho_m + v_f (\rho_f + 6k_f k_s \rho_m (k_p - 1) - \rho_m)}$$

Относительное изменение объема композита при варьировании v_f и k_s представлено на рис. 1. Увеличение активности дисперсной фазы, ее шероховатости и уплотняемости вяжущего вещества приводят к повышению величины объемных деформаций композита – указанное продемонстрировано на рис. 1 зависимостью $\Delta V_k = f(k_s)$.

Объемные деформации однозначно связаны с линейными деформациями ϵ_f , которые могут реализовываться в виде усадки изделия:

$$\epsilon_f = \sqrt[3]{1 + \Delta V_k} - 1, \text{ или } \epsilon_f \approx \frac{1}{3} \Delta V_k.$$

Однако в локализованных объемах композита, особенно при высоком содержании дисперсной фазы, указанное может приводить к увеличению внутренних напряжений, максимальная величина которых равна:

$$\sigma_{\max} = (|\alpha_m - \alpha_f| + \epsilon_f) E_m,$$

где α_m, α_f – коэффициенты линейного термического расширения вяжущего вещества и дисперсной фазы соответственно; E_m – модуль упругости вяжущего вещества.

Необходимо отметить, что закономерное правило подбора компонентов $|\alpha_m - \alpha_f| \rightarrow \min$ в стесненных условиях будет малоэффективным, так как $\epsilon_f > |\alpha_m - \alpha_f|$.

Часто снижение прочности композитного материала при высоком содержании дисперсной фазы объясняется термодинамической неустойчивостью прослойки вяжущего и образованием дополнительного количества пор и трещин. Установим условие, обеспечивающее осуществление такого механизма повышения дефектности композитного материала и снижения его прочности. Для этого примем, что вяжущее вещество располагается между двумя пластинами дисперсной фазы (рис. 2). Очевидно, что для осуществления процесса

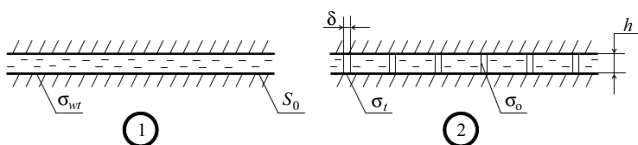


Рис. 2. Модель дисперсной системы (σ_0 – поверхностное натяжение на границе вяжущее – воздух; σ_t – поверхностное натяжение на границе дисперсная фаза – воздух; σ_{wt} – поверхностное натяжение на границе вяжущее – дисперсная фаза; h – толщина прослойки; S_0 – площадь границы раздела вяжущее вещество – дисперсная фаза; δ – толщина трещины)

разрушения прослойки вяжущего поверхностная энергия системы E_s должна уменьшаться:

$$E_s \rightarrow \min \text{ или } \Delta E_s = E_s^{(1)} - E_s^{(2)} > 0.$$

Для начального состояния № 1 общая поверхностная энергия системы равна:

$$E_s^{(1)} = 2\sigma_{wt} S_0;$$

для состояния № 2:

$$E_s^{(2)} = \sigma_{wt}(2S_0 - 2\delta L) + 2hL\sigma_0 + 2\delta L\sigma_t,$$

где L – суммарная длина «трещин».

Отсюда ΔE_s :

$$\Delta E_s = 2\sigma_{wt}\delta L - 2L(h\sigma_0 + \delta\sigma_t) > 0 \text{ или } \sigma_{wt}\delta > h\sigma_0 + \delta\sigma_t.$$

Используя закон Юнга ($\sigma_{wt} + \sigma_0 \cos(\theta) - \sigma_t = 0$), получим:

$$\delta\sigma_t - \sigma_0 \delta \cos(\theta) > h\sigma_0 + \delta\sigma_t.$$

Последнее условие выполняется только при несмачивании поверхности дисперсной фазы, т. е. $\cos(\theta) < 0$.

При этом также должно выполняться условие $|\delta \cos(\theta)| > h$.

Отсюда следует:

1. Термодинамическим условием, обеспечивающим нарушение целостности слоя (его сохранности) гомогенного вяжущего вещества и повышение дефектности композитного материала, является *несмачивание поверхности дисперсной фазы вяжущим веществом*. Такой материал является механической смесью двух фаз – дисперсных частиц и вяжущего вещества; на начальном этапе структурообразования такая система *склонна к агрегативной неустойчивости и расслоению (седиментационная неустойчивость)*. Эксплуатационные свойства механической смеси определяются аддитивными закономерностями, т. е. величиной свойства и содержанием каждого компонента. При этом такая система не является композитной, т. е. в ней не наблюдается образования на границе раздела фаз интегративных связей, обеспечивающих синергетический эффект.

2. Образование на поверхности дисперсной фазы адсорбционно-сольватного слоя гомогенного вяжущего вещества, характеризующегося повышенной плотностью, приводит к объемным деформациям, величина которых зависит от параметров дисперсной фазы (активности, шероховатости) и способности вяжущего уплотняться под действием нескомпенсированных сил поверхности дисперсной фазы. В общем случае объемные деформации увеличивают величину усадки, однако в локализованных областях композита такие деформации могут способствовать существенному увеличению величины внутренних напряжений.

3. Формулу для определения величины h , предложенную в подходе № 5, целесообразно использовать для вычисления объемной доли матричной фазы композита v_f , характеризующейся измененными свойствами (пленочной фазы). Величина v_f является весьма важным показателем для оценки эффективности технологических решений, связанных с модификацией дисперсных фаз (механоактивация, механохимическая активация, активация воздействием температурного, электромагнитного или электрического поля, нанесение аппретирующего вещества и т. д.). Предположительно значимые эффекты (кратное повышение качества композитов) должны наблюдаться при достижении v_f порогов перколяции. Указанное особенно необходимо при разработке технико-экономически обоснованной технологии наномодифицирования в строительном материаловедении.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Данилов А.М., Гарькина И.А., Королев Е.В., Соколова Ю.А. Системный подход к разработке и управлению качеством строительных материалов. М.: Палеотип, 2006. 188 с.
2. Баженов Ю.М., Данилов А.М., Гарькина И.А., Королев Е.В. Системный анализ в строительном материаловедении. М.: МГСУ, 2012. 432 с.
3. Бормотов А.Н., Прошин И.А., Королев Е.В. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов. Пенза: ПГТА, 2011. 352 с.
4. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Альбакасов А.И. Радиационно-защитные и химически стойкие серные строительные материалы. Пенза – Оренбург: ИПК ОГУ, 2010. 364 с.
5. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Бабин Л.О. и др. Синергетика композиционных материалов. Липецк: НПО ОРИУС, 1994. 152 с.
6. Ермилов П.И. Диспергирование пигментов. М.: Химия, 1971. 298 с.
7. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. Л.: Химия, 1967. 388 с.
8. Попель С.И. Поверхностные явления в расплавах. М.: Металлургия, 1994. 432 с.
9. Семенченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. М.: Металлургиздат, 1957. 491 с.
10. Вейцман Э.В. Квазитонная теория межфазовой области раздела и ее приложения. М.: Энергоатомиздат, 1999. 144 с.
11. Королев Е.В., Иноземцев А.С. Эффективность физических воздействий для диспергирования наноразмерных модификаторов // *Строительные материалы*. 2012. № 4. С. 76–79.

References

1. Bazhenov Yu.M., Danilov A.M., Gar'kina I.A., Korolev E.V., Sokolova Yu.A. Sistemnyi podkhod k razrabotke i upravleniyu kachestvom stroitel'nykh materialov [Systematic approach to developing and managing the quality of building materials]. Moscow: Paleotip. 2006. 188 p.
2. Bazhenov Yu.M., Danilov A.M., Gar'kina I.A., Korolev E.V. Sistemnyi analiz v stroitel'nom materialovedenii [System analysis in building materials]. Moscow: MGSU. 2012. 432 p.
3. Bormotov A.N., Proshin I.A., Korolev E.V. Matematicheskoe modelirovanie i mnogokriterial'nyi sintez kompozitsionnykh materialov [Mathematical modeling and multi-criteria synthesis of composite materials]. Penza: PGTA. 2011. 352 p.
4. Korolev E.V., Bazhenov Yu.M., Al'bakasov A.I. Radiatsionno-zashchitnye i khimicheski stoikie sernye stroitel'nye materialy [Radiation-protective and chemically resistant sulfur construction materials]. Penza – Orenburg: IPK OGU. 2010. 364 p.
5. Bobryshev A.N., Kozomazov V.N., Babin L.O. Sinergetika kompozitsionnykh materialov [Synergetics composite materials]. Lipetsk: NPO ORIUS. 1994. 152 p.
6. Ermilov P.I. Dispergirovanie pigmentov [Dispersion of pigments]. Moscow: Khimiya. 1971. 298 p.
7. Rusanov A.I. Fazovye ravovesiya i poverkhnostnye yavleniya [Phase equilibria and surface phenomena]. Leningrad: Khimiya, 1967. 388 p.
8. Popel S.I. Poverkhnostnye yavleniya v rasplavakh [Surface phenomena in melts]. Moscow: Metallurgiya. 1994. 432 p.
9. Semenchenko V.K. Poverkhnostnye yavleniya v metalakh i splavakh [Surface phenomena in metals and alloys]. Moscow: Metallurgizdat. 1957. 491 p.
10. Veitsman E.V. Kvazitonnyaya teoriya mezhfazovoi oblasti razdela i ee prilozheniya [Kvaziton theory of interfacial area section and its applications]. Moscow: Energoatomizdat. 1999. 144 p.
11. Korolev E.V., Inozemtcev A.S. Effectiveness of physical effects for dispersing nanosized modifiers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 4, pp. 76–79. (In Russian).



Активатор
измельчение активация синтез

Планетарные мельницы «Активатор» для заводских и исследовательских лабораторий



Активатор-2SL



Активатор-4M



Активатор-2S

Мельница	«Активатор-2SL»	«Активатор-2S»	«Активатор-4M»
Количество (объем) барабанов	2 (по 250мл)	2 (по 250мл)	4 (по 1000мл)
Скорость вращения барабанов	0-1500 об/мин	0-2800 об/мин	0-1650 об/мин
Потребляемая мощность	2,2 кВт/ч	2 по 2,2 кВт/ч	18 кВт/ч
Применение	Пробоподготовка	Механохимические исследования	Наработка материала

Размеры частиц кварцевого песка, помолотого в течение 5 мин на лабораторных планетарных мельницах «Активатор»			
«Активатор-2SL»	30 % < 1 μ	60 % < 2 μ	92 % < 5 μ
«Активатор-2S»	40 % < 1 μ	77 % < 2 μ	96 % < 5 μ
«Активатор-4M»	26 % < 1 μ	60 % < 2 μ	86 % < 5 μ

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

С.В. ФЕДОСОВ¹, д-р техн. наук, академик РААСН, президент (prezident@ivgpu.com);
В.Г. КОТЛОВ², канд. техн. наук, советник РААСН (KotlovVG@volgatech.net); Р.М. АЛОЯН¹, д-р техн. наук,
член-корр. РААСН, ректор; Ф.Н. ЯСИНСКИЙ³, д-р физ.-мат. наук; М.В. БОЧКОВ¹, 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 4. Моделирование и численная реализация процессов конденсации, испарения и массопроводности влаги

На базе разработанных ранее и изложенных в работах [1–3] математических моделей переноса теплоты и массы вещества излагается методология конкретных расчетов кинетики и динамики процессов переноса влаги в древесине нагельного соединения, учитывающая стадии конденсации влаги в нагеле и массопереноса влаги в близлежащие к нагелю слои древесины. Описана кинетика процесса конденсации влаги в нагеле при достижении воздухом температуры точки росы и ее последующего понижения. Для случая естественной конвекции, характеризуемого значением массообменного критерия Шервуда $Sh=2$, приведены результаты модельных расчетов, определяющие массовые количества влаги, сконденсированной в нагеле и продиффундировавшей за это время во внутренние слои древесины. В перспективе мониторинг цикличности температурно-влажностных параметров внешней среды позволяет осуществлять и мониторинг температурно-влажностных характеристик древесины нагельного соединения для целей рекомендаций по проведению планово-предупредительных ремонтов несущих конструкций.

Ключевые слова: нагельное соединение, древесина, массоперенос, конденсация, метод «микропроцессов».

S.V. FEDOSOV¹, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS, President (prezident@ivgpu.com); V.G. KOTLOV², Candidate of Sciences (Engineering), Counsellor of RAACS (KotlovVG@volgatech.net); R.M. ALOYAN¹, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAACS, Rector; F.N. YASINSKI³, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics); M.V. BOCHKOV¹, 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-Mass Transfer in the Gas – Solid System at Dowel Joints of Timber Structures Elements.

Part. 4. Simulation and Numerical Realization of Processes of Condensation, Evaporation and Mass Conductivity of Moisture

On the basis of mathematical models of heat and mass transfer previously developed and expounded in the works [1–3], the methodology of concrete calculations of the kinetics and dynamics of moisture transfer in the wood of dowel joint with due regard for the stages of moisture condensation in the dowel and mass transfer of moisture to the wood layers adjacent to the dowel is presented. The kinetics of water condensation in the dowel, when the air temperature reaches the dew point and then reduces, is described. For the case of natural convection characterized by the value of mass transfer Sherwood number ($Sh=2$), the results of model analyses, which determine the bulk quantity of moisture condensed in the dowel and diffused during this time into the internal layers of wood, are presented. In the perspective, the monitoring of cyclicity of temperature-humidity parameters of the environment makes it possible to exercise the monitoring of temperature-humidity characteristics of the dowel wood for developing recommendations on periodic maintenance of bearing structures.

Keywords: dowel connection, wood, mass transfer, condensation, micro-processes method.

В опубликованных ранее работах [1–3] по моделированию тепломассообменных процессов в нагельных соединениях элементов конструкций из древесины приведены постановка и решение краевых задач теплопроводности и массопроводности (диффузии влаги) в слоях древесины при циклических изменениях температурно-влажностного режима среды эксплуатации. Получены решения соответствующих задач. В настоящей статье на базе полученных решений показан конкретный пример применения разработанных расчетных методик и определены пути практической реализации полученных результатов.

Кинетика конденсации (испарения) влаги определяется соотношением:

$$\frac{dm_{\text{вл}}(\tau)}{Fd\tau} = (\pm)\beta[P_n - P_{\text{вл}}], \quad (1)$$

где $m_{\text{вл}}(\tau)$ – количество свободной влаги, конденсированной в нагель или испаряемой из него, кг; F – площадь поверхности нагеля, м²; β – коэффициент массо-

переноса. В ранее опубликованных работах [1–3] по моделированию тепломассопереноса в нагельных соединениях элементов конструкций из древесины мы представили постановку и решение краевых задач теплопроводности и массопроводности (диффузии влаги) в слоях древесины при циклических изменениях температурно-влажностного режима среды эксплуатации. Получены решения соответствующих задач. В настоящей статье на базе полученных решений показан конкретный пример применения разработанных расчетных методик и определены пути практической реализации полученных результатов.

Кинетика конденсации (испарения) влаги определяется уравнением:

$$\frac{dm_{\text{moist}}(\tau)}{Fd\tau} = (\pm)\beta[P_n - P_{\text{water}}], \quad (1)$$

Здесь: $m_{\text{moist}}(\tau)$ – количество свободной влаги, конденсированной в блок шпильки или испаряемой от нее, кг; F – площадь поверхности блока шпильки, м²; β – коэффициент массопереноса, кг/(м²·с·Па); P_n , P_{water} соответственно, парциальные

отдачи, кг/(м²·с·Па); $P_{нв}$, $P_{нс}$ – соответственно парциальное давление насыщенного водяного пара и давление пара в воздухе при температуре нагеля, Па.

Количество влаги, сконденсированной в нагель за время $\Delta\tau_{1-2}$, определяется выражением:

$$\Delta m_{вл} = \beta F (P_{нв} - P_{нс}) \Delta\tau_{1-2}, \quad (2)$$

где $P_{нв}$, $P_{нс}$ – соответственно парциальное давление насыщенного водяного пара при достижении температуры точки росы и при окончании процесса охлаждения, Па.

При этом для вычисления величины толщины слоя древесины, увлажненного до максимально гигроскопичного влагосодержания, можно записать выражение:

$$\delta_{мг} = \frac{\beta [P_{нв} - P_{нс}] \Delta\tau_{1-2}}{\rho_0 (W_{мг} - W_p)}, \quad (3)$$

где $W_{мг}$, W_p – соответственно максимальное гигроскопичное влагосодержание древесины, равновесное влагосодержание, кг/кг; ρ_0 – плотность сухой древесины, кг/м³.

Сконденсированная в месте контакта нагеля и древесины влага начинает диффундировать в близлежащие слои древесины. Этот процесс моделируется краевой задачей массопроводности, изложенной в [3]. Решение данной задачи в безразмерных переменных определяется следующим выражением, характеризующим динамику профилей влагосодержания в слоях древесины:

$$U(\bar{r}, Fo_m) = U_H \left[(1 - \bar{r}) - \frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sin(\pi m \bar{r}) \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m) \right] + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \sin(\pi m \bar{r}) \int_0^1 U_0(\xi) \cdot \sin(\pi m \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m), \quad (4)$$

где $\bar{r} = r/(R_1 - R_6)$ – безразмерная координата, отмеряемая от нагеля в глубь древесины, м; Fo_m , $U(\bar{r}, Fo_m)$ – безразмерные комплексы, определяемые выражениями:

$$Fo_m = k \cdot \tau / (R_1 - R_6)^2; \quad U(\bar{r}, Fo_m) = [W(r, \tau) - W_p] / W_p.$$

Кинетика процесса изменения содержания свободной влаги в месте контакта нагельного соединения может быть представлена уравнением вида:

$$\frac{dm_{вл}(\tau)}{F d\tau} = k \rho_0 \left. \frac{\partial W_1(r, \tau)}{\partial r} \right|_{r=R_6}. \quad (5)$$

В безразмерном виде это уравнение запишется следующим образом:

$$\frac{dM_{вл}(Fo_m)}{dFo_m} = \left. \frac{\partial U(\bar{r}, Fo_m)}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=0}, \quad (6)$$

где $M_{вл}(Fo_m)$ – безразмерная величина, определяющая долю свободной (избыточной) влаги в нагельном соединении по отношению к максимальной гигроскопичной, определяется как:

$$M_{вл}(Fo_m) = \frac{m_{вл}(\tau)}{F(R_1 - R_6) \rho_0 W_p}. \quad (7)$$

Для определения явного вида функции $M_{вл}(Fo_m)$ про дифференцируем (4) по \bar{r} и найдем значение производной при $\bar{r}=0$:

sure of saturated water vapor and the pressure of the steam in the air under the temperature of a block pin, Pa.

The amount of moisture condensed into the block pin during $\Delta\tau_{1-2}$ time is determined by the equation:

$$\Delta m_{moist} = \beta F (P_{n.water} - P_{n.dry}) \Delta\tau_{1-2}, \quad (2)$$

Here: $P_{n.water}$, $P_{n.dry}$ is the respective partial pressure of saturated water vapor under the temperature of dew point and at the end of the cooling process, Pa. At the same time, to calculate the value of the wood layer thickness moistened to the maximum hygroscopic moisture content it is possible to write:

$$\delta_{max.hygr.} = \frac{\beta [P_{n.water} - P_{n.dry}] \Delta\tau_{1-2}}{\rho_0 (W_{max.hygr.} - W_{pressure})}, \quad (3)$$

Here: $W_{max.hygr.}$, $W_{pressure}$ are respectively maximum hygroscopic moisture content of the wood, the equilibrium moisture content, kg/kg; ρ_0 – dry wood density, kg/m³. Condensed in the contact place of the block pin and wood, moisture begins to diffuse into the adjacent layers of the wood. This process is simulated by the mass conductivity boundary value problem described in [3]. The solution to this problem in dimensionless variables is determined by the following equation characterizing the dynamics of moisture content profiles in the layers of the wood:

$$U(\bar{r}, Fo_m) = U_{rel} \left[(1 - \bar{r}) - \frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sin(\pi m \bar{r}) \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m) \right] + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \sin(\pi m \bar{r}) \int_0^1 U_0(\xi) \cdot \sin(\pi m \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m), \quad (4)$$

Here: $\bar{r} = r/(R_1 - R_b)$ – dimensionless coordinate, measured from the block pin deep into the wood, m; Fo_m , $U(\bar{r}, Fo_m)$ – dimensionless complexes defined by the expressions:

$$Fo_m = k \cdot \tau / (R_1 - R_b)^2; \quad U(\bar{r}, Fo_m) = [W(r, \tau) - W_p] / W_p.$$

The kinetics of the process of changing free moisture content in the spot of the dowel connection can be represented by the following equation:

$$\frac{dm_{moist}(\tau)}{F d\tau} = k \rho_0 \left. \frac{\partial W_1(r, \tau)}{\partial r} \right|_{r=R_b}. \quad (5)$$

In dimensionless form, this equation will be as follows:

$$\frac{dM_{moist}(Fo_m)}{dFo_m} = \left. \frac{\partial U(\bar{r}, Fo_m)}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=0}, \quad (6)$$

Here: $M_{moist}(Fo_m)$ – dimensionless value influencing the proportion of free (excess) moisture in the dowel connection relating to the maximum hygroscopic one and it is defined as follows:

$$M_{moist}(Fo_m) = \frac{m_{moist}(\tau)}{F(R_1 - R_b) \rho_0 W_p}. \quad (7)$$

To determine the evident form of function $M_{moist}(Fo_m)$ we differentiate (4) using \bar{r} and we will calculate the derivative value under $\bar{r}=0$:

$$\left. \frac{\partial U(\bar{r}, Fo_m)}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=0} = -U_{rel} - 2 \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot \cos(\pi m \bar{r}) \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m) + 2\pi \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot \cos(\pi m \bar{r}) \int_0^1 U_0(\xi) \cdot \sin(\pi m \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m). \quad (8)$$

If we substitute these expressions in (6) it will result in the following expression:

$$\left. \frac{\partial U(\bar{r}, Fo_m)}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=0} = -U_n - 2 \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot \cos(\pi m \bar{r}) \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m) + 2\pi \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot \cos(\pi m \bar{r}) \int_0^1 U_0(\xi) \cdot \sin(\pi m \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m). \quad (8)$$

Подстановка полученного выражения в (6) приводит к следующей записи:

$$\frac{dM_{вл}(Fo_m)}{dFo_m} = -U_n - 2 \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m) + 2\pi \sum_{m=1}^{\infty} m \int_0^1 U_0(\xi) \cdot \sin(\pi m \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m). \quad (9)$$

Интегрирование данного уравнения в пределах от 0 до Fo_m и от $M_{вл}(0)$ до $M_{вл}(Fo_m)$ позволяет получить следующую зависимость для расчета кинетики «исчерпания» влаги в нагельном соединении:

$$M_{вл}(Fo_m) = M_{вл}(0) - U_n \cdot Fo_m - \frac{2}{\pi^2} \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} [1 - \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m)] + \frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} [1 - \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m)] \cdot \int_0^1 U_0(\xi) \cdot \sin(\pi m \xi) d\xi. \quad (10)$$

На рис. 1 графически представлены результаты расчетов по выражению (10). Интересно отметить влияние начального распределения влагосодержаний в древесине на кинетику удаления свободной влаги. Расчеты выполнены для трех возможных случаев:

$$\left. \begin{aligned} U_0(\xi) &= 1 \\ U_0(\xi) &= 1 - \xi \\ U_0(\xi) &= 1 - \xi^2 \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Наступающее утро, как правило, приносит повышение температуры воздуха и, следовательно, приводит к снижению парциального водяного давления.

Кинетика испарения влаги определяется уравнением (1), которое в безразмерном виде может быть записано следующим образом:

$$\frac{dM_{вл}(Fo_m)}{dFo_m} = -Sh \cdot K_M K_W \frac{\Delta P(Fo_m)}{T(Fo_m)}, \quad (12)$$

где $Sh = \beta \cdot (R_1 - R_6) / k$ – безразмерный комплекс, аналог критерия Шервуда, характеризующий соотношение потоков влаги, испаряемой из нагеля, к потоку влаги, проводимой внутрь древесины посредством теплопроводности; K_M, K_W – размерные коэффициенты:

$$K_M = \frac{M_{вл}}{R_r} = \frac{18}{8314} = 2,165 \cdot 10^{-3}, \text{ (кг} \cdot \text{К) / Дж}; \quad (13)$$

$$K_W = \frac{F(R_1 - R_6)}{m_{вл,0}}, \text{ м}^3 / \text{кг}. \quad (14)$$

Интегрирование уравнения (12) приводит к следующему выражению для описания кинетики удаления избыточной влаги из нагельного соединения:

$$M_{вл}(Fo_m) = M_{вл,0} - Sh \cdot K_M K_W \cdot \int_0^{Fo_m} \frac{\Delta P(Fo_m)}{T(Fo_m)} dFo_m. \quad (15)$$

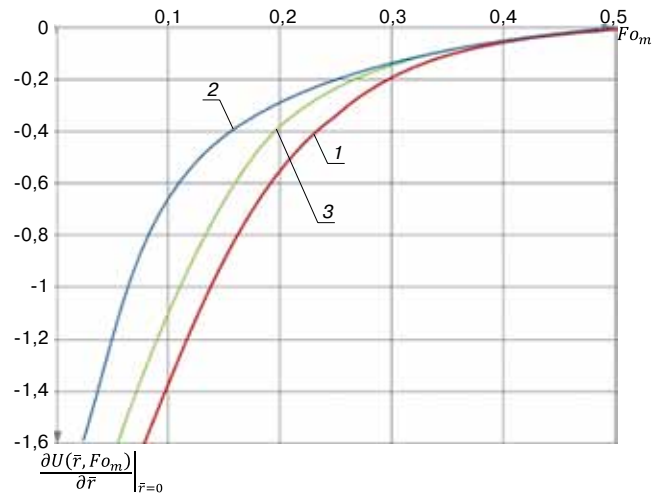


Рис. 1. Изменение безразмерного градиента влагосодержания в нагеле в зависимости от массообмена критерия Фурье $U_0(\xi)$: 1 – 1; 2 – $1 - \xi$; 3 – $1 - \xi^2$

Fig. 1. Change in the dimensionless gradient of water content in the block pin depending on the Fourier mass transfer criterion $U_0(\xi)$: 1 – 1; 2 – $1 - \xi$; 3 – $1 - \xi^2$

$$\frac{dM_{moist}(Fo_m)}{dFo_m} = -U_{rel} - 2 \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m) + 2\pi \sum_{m=1}^{\infty} m \int_0^1 U_0(\xi) \cdot \sin(\pi m \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m). \quad (9)$$

Integrating this equation from 0 to Fo_m and from $M_{moist}(0)$ to $M_{moist}(Fo_m)$ allows us to obtain the following dependence to calculate kinetics of “depletion” of the moist in the dowel connection.

$$M_{moist}(Fo_m) = M_{moist}(0) - U_{rel} \cdot Fo_m - \frac{2}{\pi^2} \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} [1 - \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m)] + \frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} [1 - \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m)] \cdot \int_0^1 U_0(\xi) \cdot \sin(\pi m \xi) d\xi. \quad (10)$$

The figure shows the results of calculations by expression (10). The influence of the initial distribution of the moisture content in the wood on the kinetics of the free moisture removal is interesting to note. The calculations were performed for three possible cases:

$$\left. \begin{aligned} U_0(\xi) &= 1 \\ U_0(\xi) &= 1 - \xi \\ U_0(\xi) &= 1 - \xi^2 \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

The early morning, as a rule, brings the air temperature rise, and hence reduces the partial pressure of water.

Kinetics of evaporation of water is determined by equation (1), which in dimensionless form can be written as follows:

$$\frac{dM_{moist}(Fo_m)}{dFo_m} = -Sh \cdot K_M K_W \frac{\Delta P(Fo_m)}{T(Fo_m)}, \quad (12)$$

Here: $Sh = \beta \cdot (R_1 - R_b) / k$ is a dimensionless complex being analog to Sherwood’s criterion characterizing the ratio of moisture flows evaporated from the block pin to the moisture flow carried into the wood by means of moisture conductivity; K_M, K_W are dimension coefficients:

$$K_M = \frac{M_{water} v}{R_g} = \frac{18}{8314} = 2,165 \cdot 10^{-3}, \text{ (kg} \cdot \text{К) / J}; \quad (13)$$

Далее приведем конкретный пример расчета, иллюстрирующий возможности разработанного математического описания процессов теплопереноса и предлагаемой методики расчета.

На рис. 2 воспроизведен фрагмент статистических наблюдений за температурно-влажностными характеристиками воздуха в Йошкар-Оле в период с 15.00 17.07.12 г. до 6.00 19.07.12 г. Из графиков рис. 2 следует, что в период с 21.00 17.07.12 г. до 12.00 18.07.12 г. в регионе Йошкар-Олы происходило изменение тепло-влажностных параметров воздушной среды, при этом температура сухого и влажного термометров была одинакова, т. е. остывание воздуха происходило при $\varphi=100\%$. Следовательно, охлаждение воздуха с 16,5 до 13°C сопровождалось выпадением влаги и ее конденсацией на поверхности нагеля.

Соответствующие этим температурам значения парциальных давлений насыщенного водяного пара определяются по формуле [5]:

$$P_n = 617,74 \exp\left(\frac{17,25t_{BM}}{238 + t_{BM}}\right). \quad (16)$$

Отсюда:

$$P_{нв}(16,5) = 1890 \text{ [Па]}; P_{нс}(13) = 1509 \text{ [Па]}. \quad (17)$$

Полагаем в первом приближении, что для коэффициента массоотдачи в газовой фазе в условиях естественной конвекции может быть принято условие [6]:

$$Sh = 2 \rightarrow \beta^* = \frac{2D}{R_1 - R_b}, \quad (18)$$

где $D = 2 \cdot 10^{-5}$ – коэффициент диффузии водяного пара в воздухе, m^2/c ; $R_1 - R_b = 10 \cdot 10^{-3}$ – характерный размер, м.

Перевод к единицам измерений формулы (1) осуществляется следующим образом [5]:

$$\beta = \beta^* \frac{M_{в.п.}}{RT}, \quad (19)$$

где $M_{в.п.} = 18$ – молекулярная масса водяного пара, кг/кмоль; $R = 8314$ – универсальная газовая постоянная, Дж/(К·кмоль); T – температура, К.

$$\beta = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{10 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{18}{8314 \cdot 283} = 3,06 \cdot 10^{-8} \text{ [кг/(м}^2 \text{Па} \cdot \text{с)]}. \quad (20)$$

В соответствии с этим определяем удельное количество влаги, сконденсированной на нагеле за 15 ч:

$$\frac{m_{вд}}{F} = \beta [P_{нв} - P_{нс}] \cdot \Delta \tau_{1-2} = 3,06 \cdot 10^{-8} [1890 - 1509] \cdot 15 \cdot 3600 = 0,63 \text{ [кг/м}^2 \text{]}. \quad (21)$$

И поскольку в качестве примера рассматривается нагель в форме болта с размерами $d \times H = 40 \times 100$ мм, количество конденсирующейся влаги определяется следующим образом:

$$m_{вд} = 0,63 \cdot \pi \cdot d \cdot H = 0,63 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 7,91 \cdot 10^{-3} \text{ [кг]}. \quad (22)$$

Сконденсированная влага добавляется к равновесной (деловой, отпускной) влаге, имеющейся в древесине, и сорбируется близлежащим к нагелю слоем древесины толщиной $\delta_{м.г.}$.

Это значение влажности нормировано [7] и находится в пределах:

$$W_p = 0,11 - 0,22. \quad (23)$$

В качестве примера выбираем среднее значение из этого диапазона: $W_p = 0,165$ [кг/кг].

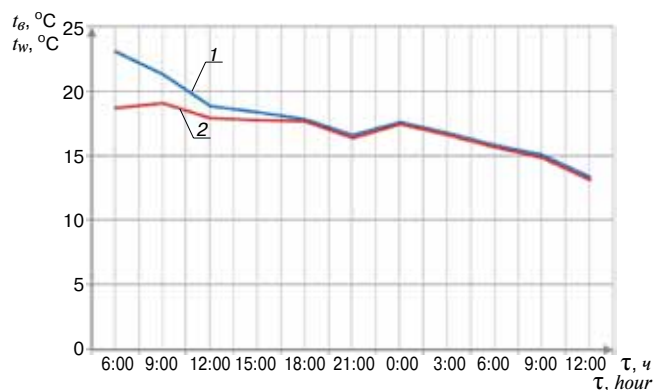


Рис. 2. Температурный график с 6.00 17 июля по 12.00 18 июля 2012 г. в г. Йошкар-Ола (по данным Росметеостата): 1 – температура влажного термометра; 2 – температура сухого термометра

Fig. 2. Temperature graph from 6.00 of July 17 to 12.00 of July 18, 2012 in the Yoshkar-Ola (according to Rosmeteostat data): 1 – dry-bulb thermometer temperature; 2 – wet-bulb thermometer temperature

$$K_W = \frac{F(R_1 - R_b)}{m_{moist.0}}, m^3/kg. \quad (14)$$

Integrating (12) gives us the following expression to describe the kinetics of excess moisture removal from the dowel connection:

$$M_{moist}(F_{O_m}) = M_{moist.0} - Sh \cdot K_M K_W \cdot \int_0^{F_{O_m}} \frac{\Delta P(F_{O_m})}{T(F_{O_m})} dF_{O_m}. \quad (15)$$

Finally, we are presenting a definite example of the calculation to show the possibilities of the developed mathematical description of heat and mass transfer processes and of the proposed method of calculation.

Fig. 2 shows a part of statistical observations of temperature and humidity characteristics of the air in Yoshkar-Ola in the period from 15.00 of July 17, 2012 to 6.00 of July 19, 2012. From the graphs of this figure it follows that in the period from 21.00 to 12.00 of July 17, 2012 to 12.00 of July 18, 2012 in the region of Yoshkar-Ola there was a change in heat and humidity parameters of the ambient air, at the same time, the temperature of dry and wet thermometers were equal, i.e. cooling of the air was taking place at $\varphi=100\%$. Thus, cooling of the air from 16,5°C to 13°C was accompanied by the setting out of moisture and its condensation on the surface of the block pin.

Corresponding to these temperatures the values of partial pressures of saturated water vapor are found using formula [5] as follows:

$$P_n = 617,74 \exp\left(\frac{17,25t_{moist,m.}}{238 + t_{moist,m.}}\right). \quad (16)$$

Hence:

$$P_{n.water}(16,5) = 1890 \text{ [Па]}; P_{n.dry}(13) = 1509 \text{ [Па]}. \quad (17)$$

We suppose at a first approximation, that for mass transfer coefficient in the gas phase in the conditions of natural convection a term can be accepted [6]:

$$Sh = 2 \rightarrow \beta^* = \frac{2D}{R_1 - R_b}, \quad (18)$$

Here: $D = 2 \cdot 10^{-5}$ is a coefficient of water vapor diffusion in the air, m^2/sec ; $R_1 - R_b = 10 \cdot 10^{-3}$ is a standard size, m.

Conversion to the measurement units of formula (1) is performed in the following way [5]:

$$\beta = \beta^* \frac{M_{water v.}}{RT}, \quad (19)$$

Here: $M_{water v.} = 18$ is molecular mass of water vapor kg/kmol; $R = 8314$ is a universal gas constant, J/(K·kmol); T is temperature, K.

Полагая из данных предварительных экспериментов, что набухание поверхностного слоя древесины происходит за время, равное 1 ч, по формуле (3) определяем размер зоны максимального гигроскопического влагосодержания:

$$\delta_{м.г.} = \frac{3,06 \cdot 10^{-8} \cdot 381 \cdot 3600}{550(0,333 - 0,165)} = 0,45 \cdot 10^{-3} [\text{м}]. \quad (24)$$

Объем этого слоя будет равен:

$$V_{сл} = F \cdot \delta_{м.г.} = \pi \cdot d \cdot H \cdot \delta_{м.г.} = 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 0,45 \cdot 10^{-3} = 5,65 \cdot 10^{-6} [\text{м}^3]. \quad (25)$$

Соответственно масса сухого слоя и влаги в нем в условиях равновесия определяются как:

$$m_{сух} = V_{сл} \cdot \rho_0 = 5,65 \cdot 10^{-6} \cdot 550 = 3,1 \cdot 10^{-3} [\text{кг}] \quad (26)$$

и

$$m_{вл.р.} = W_p \cdot m_{сух} = 0,165 \cdot 3,1 \cdot 10^{-3} = 0,512 \cdot 10^{-3} [\text{кг}]. \quad (27)$$

Определяем общее количество влаги в нагеле, добавляя сконденсированную воду:

$$m_{вл.общ.} = m_{вл.р.} + m_{вл} = 0,512 \cdot 10^{-3} + 7,91 \cdot 10^{-3} = 8,42 \cdot 10^{-3} [\text{кг}]. \quad (28)$$

Общая влажность прилегающего к нагелю слоя будет:

$$W_{общ} = \frac{8,42 \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-3}} = 2,72 [\text{кг/кг}]. \quad (29)$$

Вновь обращаемся к литературным источникам и определяем [7], что в зависимости от сорта древесины значение максимальной гигроскопической влажности колеблется в пределах 20–30%. Как и ранее, выберем среднее значение и выразим его в относительных концентрациях:

$$W_{м.г.} = \frac{0,25}{1 - 0,25} = 0,333 [\text{кг/кг}]. \quad (30)$$

Очевидно, что в рассматриваемый временной период (15 ч) в месте контакта нагель – древесина конденсируется количество влаги, многократно превышающее максимальное гигроскопическое значение.

Продолжим оценку процессов массопереноса, протекающих в нагельном соединении. В соответствии с рис. 2 с 12.00 18 июля начинается подъем температуры воздуха, однако его средняя температура в течение последующих 15 ч остается равной 14,5°C, а относительная влажность $\varphi=84\%$.

Удельное количество влаги, испарившейся из места контакта нагеля и древесины, по аналогии с (21) определится как:

$$\frac{m_{вл.исп.}}{F} = 3,06 \cdot 10^{-8} (1509 - 1397) \cdot 15 \cdot 3600 = 0,185 [\text{кг/м}^2], \quad (31)$$

где 1397 – парциальное давление водяного пара в воздухе при $\varphi=84\%$, Па.

И тогда физическое количество испарившейся влаги будет:

$$m_{вл.исп.} = 0,185 \cdot 12,56 \cdot 10^{-3} = 2,32 \cdot 10^{-3} [\text{кг}]. \quad (32)$$

Оставшееся количество влаги в соединении:

$$m_{вл.ост.} = m_{вл.общ.} - m_{вл.исп.} = (8,42 - 2,32) \cdot 10^{-3} = 6,1 \cdot 10^{-3} [\text{кг}]. \quad (33)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{10 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{18}{8314 \cdot 283} = 3,06 \cdot 10^{-8} [\text{кг/(м}^2 \text{Па} \cdot \text{сек})]. \quad (20)$$

According with the above written we define the specific amount of moisture condensed on the block pin for 15 hours:

$$\frac{m_{moist}}{F} = \beta [P_{n.water} - P_{n.dry}] \cdot \Delta \tau_{1-2} = 3,06 \cdot 10^{-8} [1890 - 1509] \cdot 15 \cdot 3600 = 0,63 [\text{кг/м}^2]. \quad (21)$$

And since, as an example, we consider a block pin of the bolt shape with sizes $d \times H=40 \times 100$ mm, the amount of condensed moisture is defined as follows:

$$m_{moist} = 0,63 \cdot \pi \cdot d \cdot H = 0,63 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 7,91 \cdot 10^{-3} [\text{кг}]. \quad (22)$$

The condensed moisture is added to the equilibrium (business, setting) moisture available in the wood, and it is absorbed close to the block pin wood layers as thick $\delta_{max.hygr.}$.

This value of humidity is standard [7] and it within the range of:

$$W_p = 0,11 - 0,22. \quad (23)$$

And, again, as an example, we choose the average value from this range: $W_p=0,165$ [kg/kg].

Assuming from the data of the preliminary experiments that the swelling of the surface layer of wood occurs during the time equal to one hour, using formula (3) we can determine the size of the zone of maximum hygroscopic moisture content:

$$\delta_{max.hygr.} = \frac{3,06 \cdot 10^{-8} \cdot 381 \cdot 3600}{550(0,333 - 0,165)} = 0,45 \cdot 10^{-3} [\text{м}]. \quad (24)$$

The volume of this layer will be equal to:

$$V_{layer} = F \cdot \delta_{max.hygr.} = \pi \cdot d \cdot H \cdot \delta_{max.hygr.} = 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 0,45 \cdot 10^{-3} = 5,65 \cdot 10^{-6} [\text{м}^3]. \quad (25)$$

Accordingly, the mass of the dry layer and moisture in the layer under equilibrium conditions is defined as follows:

$$m_{dry} = V_{layer} \cdot \rho_0 = 5,65 \cdot 10^{-6} \cdot 550 = 3,1 \cdot 10^{-3} [\text{кг}] \quad (26)$$

and

$$m_{moist body.} = W_p \cdot m_{dry} = 0,165 \cdot 3,1 \cdot 10^{-3} = 0,512 \cdot 10^{-3} [\text{кг}]. \quad (27)$$

We determine the total amount of moisture in the block pin, adding condensed water:

$$m_{total moist} = m_{moist body.} + m_{moist} = 0,512 \cdot 10^{-3} + 7,91 \cdot 10^{-3} = 8,42 \cdot 10^{-3} [\text{кг}]. \quad (28)$$

The total moisture adjacent to the block pin layer will be:

$$W_{total} = \frac{8,42 \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-3}} = 2,72 [\text{кг/кг}]. \quad (29)$$

Again we turn to the literature and define [7] that depending on the type of wood the maximum hygroscopic moisture value ranges within 20–30%. As before we choose the average value and express it in relative concentrations:

$$W_{max.hygr.} = \frac{0,25}{1 - 0,25} = 0,333 [\text{кг/кг}]. \quad (30)$$

Obviously, in the considered period of time (15 hours) at the contact point of a block pin – wood the condensed moisture is much higher than the maximum hygroscopic value.

Let us proceed to assess mass transfer processes occurring in the dowel connection. In accordance with Figure 2 from 12.00 of July 18 the air temperature is rising, however, its average temperature over the next 15 hours remain being equal to 14,5°C and the relative humidity is $\varphi=84\%$.

Следовательно, через 15 ч испарения в нагеле остается влага в концентрации, превышающей максимальное гигроскопическое влагосодержание:

$$W = \frac{m_{\text{вл.ост.}}}{m_{\text{сух}}} = \frac{6,1 \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-3}} = 1,97 \gg 0,333 \text{ [кг/кг]}. \quad (34)$$

Следующим этапом определим количество влаги, продиффундировавшей от нагеля в слой древесины. Для этого обращаемся к формулам (27) и (28). Среднее значение коэффициента массопроводности можно принять равным [7]: $k=5,55 \cdot 10^{-10}$ [м²/с]. Определяем среднее значение массообменного числа Фурье к моменту времени 03.00 19.07.12:

$$Fo_m = \frac{k \cdot \tau}{(R_1 - R_6)^2} = \frac{5,55 \cdot 10^{-10} \cdot 15 \cdot 3600}{(10 \cdot 10^{-3})^2} = 0,3. \quad (35)$$

В соответствии с этим имеем следующее значение безразмерного градиента концентраций для $Fo_m=0,3$, равное:

$$\left. \frac{\partial U(\bar{r}, Fo_m)}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=0} = -0,1. \quad (36)$$

Определим максимальное безразмерное влагосодержание в соответствии с выражением (24):

$$M_{\text{вл.}}(Fo_m)|_{Fo_m=0} = \frac{m_{\text{вл.общ.}}}{F(R_1 - R_6)\rho_o \cdot W_p} = \frac{8,42 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 550 \cdot 0,165} = 0,74. \quad (37)$$

С учетом (35) и (36) из (10) получаем:

$$M_{\text{вл.}}(Fo_m)|_{Fo_m=0,3} = 0,74 - 0,3 \cdot 0,1 = 0,71. \quad (38)$$

И тогда количество влаги, оставшееся в нагеле после 15 ч испарения и диффузии, запишется следующим образом:

$$m_{\text{вл.н.}} = 0,71 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 550 \cdot 0,165 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ [кг]}. \quad (39)$$

Обращаем внимание на тот факт, что за время второго этапа количество испарившейся влаги более чем на порядок превысило количество влаги, продиффундировавшей от нагеля в глубь древесины. При этом оставшееся количество влаги ($8 \cdot 10^{-3}$ [кг]) более чем на порядок превышало максимальное гигроскопическое ($0,333 \cdot 10^{-3}$ [кг]).

Настоящая статья завершает предложенный авторами цикл публикаций по проблемам моделирования процессов тепло-массопереноса (нагревание, охлаждение, конденсация и испарение влаги, тепло- и массопроводность) в древесине нагельных соединений строительных конструкций. Вместе с тем, по мнению авторов, данные публикации открывают широкие перспективы как для выполнения дальнейших научных изысканий (и в теоретическом, и в экспериментальном плане), так и для разработки практических рекомендаций по мониторингу состояния элементов строительных конструкций с целью выработки мероприятий по повышению сроков их долговечности в течение всего жизненного цикла с учетом цикличности постоянно меняющихся параметров среды эксплуатации.

Список литературы

1. Федосов С.В., Котлов В.Г., Алоян Р.М., Ясинский Ф.Н., Бочков М.В. Моделирование тепло-массопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций.

The specific amount of moisture evaporated from the point of contact of the block pin and wood, by analogy with (21) is found in the following way:

$$\frac{m_{\text{evapor.moist}}}{F} = 3,06 \cdot 10^{-8} (1509 - 1397) \cdot 15 \cdot 3600 = 0,185 \text{ [kg/m]}. \quad (31)$$

Here: 1397 is partial pressure of water vapor in air at $\phi=84\%$, Pa. Hence, the physical quantity of the evaporated moisture will be:

$$m_{\text{evapor.moist}} = 0,185 \cdot 12,56 \cdot 10^{-3} = 2,32 \cdot 10^{-3} \text{ [kg]}. \quad (32)$$

The remaining amount of moisture in the dowel connection is:

$$m_{\text{resid.moist}} = m_{\text{total moist}} - m_{\text{evapor.moist}} = (8,42 - 2,32) \cdot 10^{-3} = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ [kg]}. \quad (33)$$

Thus, after 15 hours the moisture evaporation in the block pin, the moisture remaining has a concentration exceeding the maximum hygroscopic moisture content:

$$W = \frac{m_{\text{resid.moist}}}{m_{\text{dry}}} = \frac{6,1 \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-3}} = 1,97 \gg 0,333 \text{ [kg/kg]}. \quad (34)$$

At the following step we can define the amount of moisture having diffused from the block pin to the wood layer. To do this, we turn to formulas (27) and (28). The average value of the mass conductivity coefficient can be assumed to be equal to [7]: $k=5,55 \cdot 10^{-10}$ [m/sec]. Let us determine the average value of the mass transfer Fourier number at the moment of time at 03.00 of July 19, 2012:

$$Fo_m = \frac{k \cdot \tau}{(R_1 - R_b)^2} = \frac{5,55 \cdot 10^{-10} \cdot 15 \cdot 3600}{(10 \cdot 10^{-3})^2} = 0,3. \quad (35)$$

According to this we have the following value of the dimensionless concentration gradient for $Fo_m=0,3$ equal to:

$$\left. \frac{\partial U(\bar{r}, Fo_m)}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=0} = -0,1. \quad (36)$$

We define the maximum dimensionless moisture content in accordance with expression (24):

$$M_{\text{moist}}(Fo_m)|_{Fo_m=0} = \frac{m_{\text{total moist}}}{F(R_1 - R_b)\rho_o \cdot W_p} = \frac{8,42 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 550 \cdot 0,165} = 0,74. \quad (37)$$

Taking into account (35) and (36) from (10) we obtain:

$$M_{\text{moist}}(Fo_m)|_{Fo_m=0,3} = 0,74 - 0,3 \cdot 0,1 = 0,71. \quad (38)$$

Thus, the amount of moisture remaining in the block pin after 15 hours of evaporation and diffusion can be written as follows:

$$m_{\text{moist b.}} = 0,71 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 550 \cdot 0,165 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ [kg]}. \quad (39)$$

We draw attention to the fact that during the second phase the amount of evaporated moisture ten times exceeds the amount of moisture having diffused from the block pin deep into the wood. At that, the remaining amount of moisture ($8 \cdot 10^{-3}$ [kg]) ten times exceeds the maximum hygroscopic one ($0,333 \cdot 10^{-3}$ [kg]).

References

1. Fedosov S.V., Kotlov V.G., Aloyan R.M., Jasinski F.N., Bochkov M.V. Simulation of heat-mass transfer in the gas-solid system at dowel joints of timber structures elements. Part. 1. General physical and mathematical prob-

- Ч. 1. Общая физико-математическая постановка задачи // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 86–91.
- Федосов С.В., Котлов В.Г., Алоян Р.М., Ясинский Ф.Н., Бочков М.В. Моделирование тепломассопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Ч. 2. Динамика полей температур при произвольном законе изменения температуры воздушной среды // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 73–79.
 - Федосов С.В., Котлов В.Г., Алоян Р.М., Ясинский Ф.Н., Бочков М.В. Моделирование тепломассопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Ч. 3. Динамика и кинетика влагопереноса // *Строительные материалы*. 2014. № 9. С. 63–69.
 - Федосов С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии. Иваново, ПресСто. 2010. 364 с.
 - Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1961. 830 с.
 - Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П. Процессы и аппараты химической технологии / Под ред. Комиссарова Ю.А. М.: Химия, 2011. 1229 с.
 - Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. 2-е изд. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 272 с.
 - lem. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 86–91. (In Russian).
 - Fedosov S.V., Kotlov V.G., Aloyan R.M., Jasinski F.N., Bochkov M.V. Simulation of heat-mass transfer in the gas-solid system at dowel joints of timber structures elements. Part 2. Dynamics of temperature fields at arbitrary law of changes of air environment temperature. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 8, pp. 73–79. In Russian).
 - Fedosov S.V., Kotlov V.G., Aloyan R.M., Jasinski F.N., Bochkov M.V. Simulation of heat-mass transfer in the gas-solid system at dowel joints of timber structures elements. Part 3. Dynamics and kinetics of moisture transfer. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 9, pp. 63–69. (In Russian).
 - Fedosov S.V. *Teplomassoperenos v tekhnologicheskikh protsessakh stroitel'noi industrii* [Heat and mass transfer in technological processes in construction industry]. Ivanovo: PresSto. 2010. 364 p.
 - Kasatkin A.G. *Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii* [Basic processes and devices of chemical technology]. Moscow: State Research and Engineering Publishing House of chemical literature. 1961. 830 p.
 - Comissarov Y.A., Gordeev L.S., Vent D.P. *Protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii* [The processes and apparatuses of chemical technology]. Moscow: Khimiya. 2011. 1229 p.
 - Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood science and forestry merchandising]. 2-nd ed. Moscow: Publishing Center Academy, 2006. 272 p.



19. [ibautil](http://ibautil.de)

16–18.09.2015

Weimar

г. Веймар (Германия)

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

IBAUSIL

16–18 сентября 2015 г.

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

Основные темы конгресса:

- Неорганические вяжущие вещества;
- Стеновые строительные материала / содержание
- Бетоны и долговечность бетонов;
- 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

УДК 691.11

А.А. СТЕНИН, инженер (01_ac@bk.ru), А.М. АЙЗЕНШТАДТ, д-р хим. наук,
 А.А. ШИНКАРУК, канд. хим. наук, М.Л. ДЕМИДОВ, канд. техн. наук, М.А. ФРОЛОВА, канд. хим. наук
 Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ) им. М.В. Ломоносова (163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 22)

Минеральный модификатор поверхности для защиты строительных материалов из древесины

В работе рассмотрены результаты рентгеноструктурного анализа и растровой электронной микроскопии структуры минерального огнезащитного наполнителя. РЭМ показала, что толщина защитной пленки составляет 300–400 мкм и она имеет неоднородную структуру. В поверхностном слое присутствует сапонитсодержащий материал, в среднем слое – кристаллические базальтовые новообразования, глубинный слой представляет собой карбонизированный оксид кальция (кальцит). Такая структура наполнителя позволяет улучшить огнезащитные и гидрофизические свойства изделий из древесины, что приводит к увеличению их срока службы. Нанесение защитной пленки на древесину производили с помощью автоклавной установки, которая позволяет чередовать режим вакуум-давления для более полного и равномерного проникновения минерального наполнителя в поры древесины. В работе представлена технологическая схема автоклавной установки.

Ключевые слова: базальт, сапонит, минеральный наполнитель, модифицированная поверхность древесины.

A.A. STENIN, Engineer (01_ac@bk.ru), A.M. AYZENSHTADT, Doctor of Sciences (Chemistry), A.A. SHINKARUK, Candidate of Sciences (Chemistry), M.L. DEMIDOV, Candidate of Sciences (Engineering), M.A. FROLOVA, Candidate of Sciences (Chemistry)
 Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (22, Severnaya Dvina Embankment, 163002 Arkhangelsk, Russian Federation)

A Mineral Modifier of a Surface for Protection of Wood Building Materials

The article analyzes results of the X-ray structural analysis and scanning electronic microscopy (SEM) of the mineral fire protection filler. SEM shows that the thickness of the protection film is 300–400 microns, and the film possesses a heterogeneous structure. The surface layer contains a saponite-containing material, the middle layer – crystal basalt neo-formations, and the deep layer is a carbonated calcium oxide (calcite). This structure of the filler makes it possible to improve the fire protection and hydro-physical properties of wooden products that leads to an increase in their service life. Application of the protection film on the timber is made with the help of an autoclaved unit which makes it possible to alternate the vacuum-pressure regime for a more complete and uniform penetration of the mineral filler into the timber pores. The article presents the technological scheme of the autoclaved unit.

Keywords: basalt, saponite, mineral filler, modified surface of timber.

В исследованиях [1] авторами предложены основы технологии автоклавной модификации поверхности древесины с использованием высокодисперсного комплексного модификатора, состоящего из водной суспензии базальта (средний размер частиц 200 нм) и сапонита (средний размер частиц 360 нм).

Целью исследований, представленных в работе, является анализ фазового состава защитной пленки автоклавно модифицированной поверхности древесины методами РЭМ и рентгеноструктурного анализа.

Поверхностную пропитку деревянных элементов конструкций или облицовочных материалов ручным или механизированным способом осуществляют многократным нанесением состава на поверхность [2–8]. Более глубокое проникновение огнезащитного раствора в поверхностные слои древесины может обеспечиваться при применении горяче-холодных ванн, а также при обработке в промышленных аппаратах – автоклавах в режиме последовательного увеличения давления или чередования вакуума и повышенного давления.

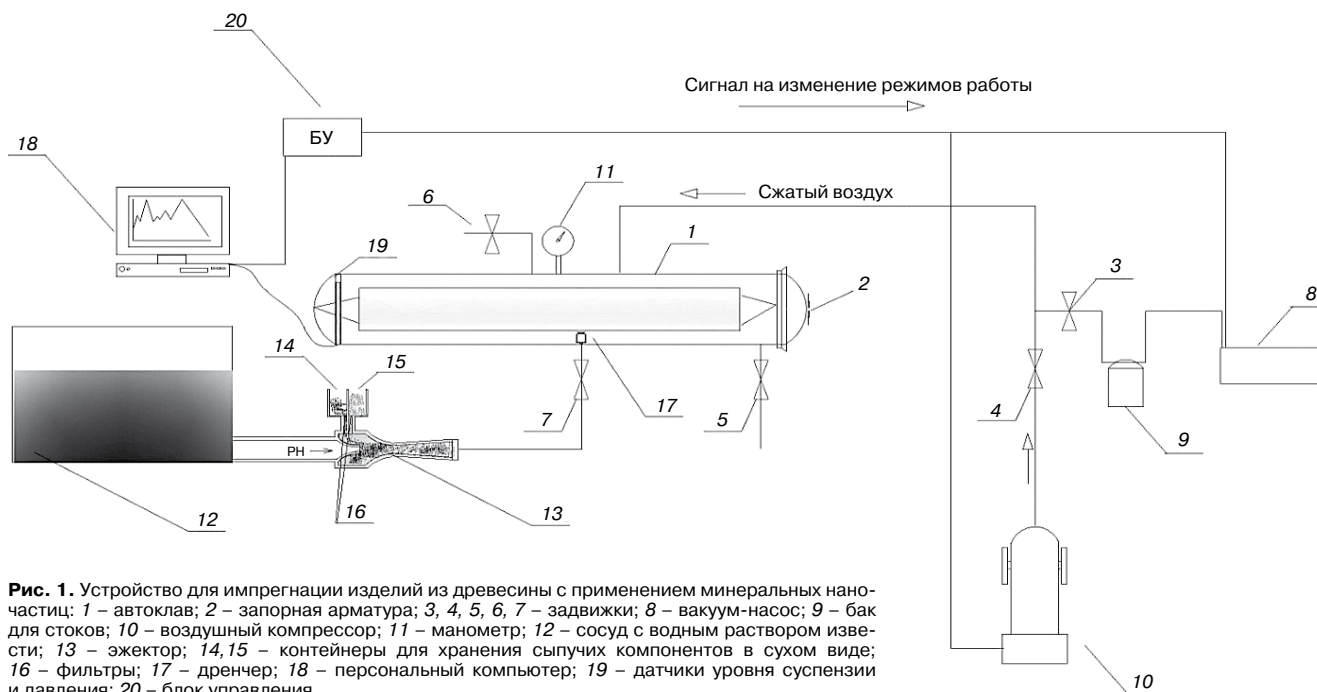


Рис. 1. Устройство для импрегнации изделий из древесины с применением минеральных наночастиц: 1 – автоклав; 2 – запорная арматура; 3, 4, 5, 6, 7 – задвижки; 8 – вакуум-насос; 9 – бак для стоков; 10 – воздушный компрессор; 11 – манометр; 12 – сосуд с водным раствором извести; 13 – эжектор; 14, 15 – контейнеры для хранения сыпучих компонентов в сухом виде; 16 – фильтры; 17 – дренаж; 18 – персональный компьютер; 19 – датчики уровня суспензии и давления; 20 – блок управления

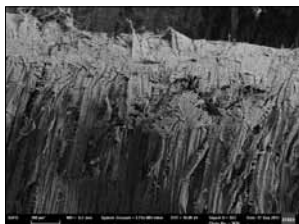


Рис. 2. Микрофотографии среза древесины после обработки минеральным модификатором

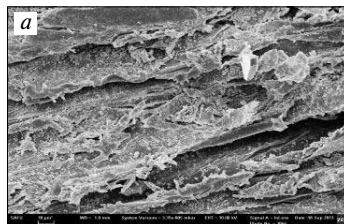
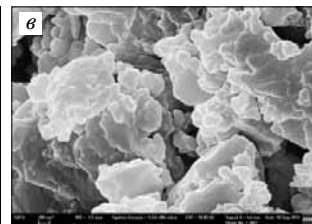
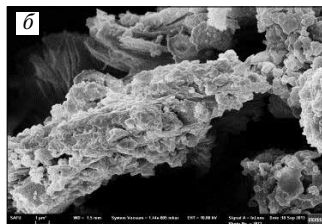


Рис. 3. Микрофотографии пор древесины на глубине около 400 мкм (а); слоя на глубине 200 мкм (б); поверхностного слоя (в)



Как правило, пропиточные составы и покрытия для древесины представляют собой многокомпонентные системы, каждый компонент которых выполняет свою функциональную роль в обеспечении общего защитного эффекта и требуемых эксплуатационных свойств.

На этапе подготовки производится принудительная сушка образца древесного материала до уровня влажности 2–3%.

В исследованиях нанесение на поверхность древесины микродисперсного минерального модификатора выполняли с помощью автоклава установки для импрегнации. Технологическая схема установки приведена на рис. 1.

Цикл выдержки древесины под избыточным давлением включает два этапа. На этапе повышения давления производится заполнение пор и капилляров древесины пропиточным составом. При достижении давления в 1,6 МПа процесс перетекает в изобарный с дальнейшей выдержкой под указанным давлением. На этом этапе в порах происходит основная стадия формирования структуры защитной пленки с целью придания изделию требуемых свойств.

Для получения защитной пленки на поверхность древесины с помощью установки, приведенной на рис. 1, наносили диспергированные до состояния 100–500 нм водные суспензии составов, представленных в табл. 1.

В связи с тем, что предлагаемый модификатор является полидисперсной системой, сложной по компонентному составу, следует предположить, что разные компоненты проникают в глубь древесины неравномерно. Микрофотографии среза древесины (рис. 2) показывают, что толщина защитного покрытия составляет 300–400 мкм [1].

Исследование поверхности опытных образцов древесины проводили с помощью растровой электронной

микроскопии в ЦКП САФУ «Арктика». Полученные данные позволяют предположить следующую структуру защитной пленки.

Растворенный в воде оксид кальция поступает по порам древесины на глубину 300–400 мкм (рис. 3, а).

Большая часть базальта (90–95% всего количества), часть сапонита и оксида кальция проникают на глубину около 200 мкм, заполняя поры древесины за счет кристаллов и новообразований, получаемых в автоклавных условиях (рис. 3, б).

На поверхности древесины собирается большая часть сапонита (наибольший размер частиц) с небольшим количеством базальта и оксида кальция (рис. 3, в). Сапонит обладает свойством «запирать» поверхность, при повышении влажности сорбирует воду, разбухает в ограниченном пространстве.

Для определения процессов, происходящих при автоклавной обработке поверхности древесины минеральным высокодисперсным наполнителем, были записаны дифрактограммы минеральных компонентов. Пробы минеральных компонентов (табл. 1) для записи дифрактограмм соскабливали непосредственно с поверхности обработанных образцов древесины сразу после ее модификации. Рентгеновская дифрактограмма поверхностного слоя проб записана в ЦКП САФУ «Арктика» с использованием дифрактометра Shimadzu XRD-7000S.

Поиск соответствия в базе данных PDF-2 (Powder Diffraction File™ PDF-2 Release 2010, International Centre for Diffraction Data), выполненный для дифрактограммы образца извести (2), показывает, что в пробе присутствуют следующие основные компоненты: Ca(OH)₂ (портландит – полосы 18°, 34°, 47°, 51°, 63°, 72°); CaCO₃ (кальцит – 29°); CaCO₃ (арагонит – 26°, 27°, 33°, 46°) (рис. 4).

Сравнение дифрактограмм, полученных для смесей (образцы 4–7), с дифрактограммами исходных компонентов (образцы 1–3), показало, что образец (4) представляет собой смесь базальта (1) и карбоната кальция (2). Причем присутствующий в образце (2) гидроксид кальция не обнаруживается, а содержание кальцита в смеси увеличивается по сравнению с исходной известью.

В табл. 2 приведен сравнительный анализ дифрактограмм по наличию пиков, характеризующих наличие компонента в смеси.

Образец (5) представляет собой смесь сапонита (3) и карбоната кальция (2). В этом случае также следует отметить, что присутствующий в образце (2) гидроксид кальция не обнаруживается, а содержание кальцита в смеси также увеличивается по сравнению с исходной известью.

Образец (6) – смесь базальта (1) и сапонита (3). Для этой смеси компонентов каких-либо структурных изменений не обнаружено.

Таблица 1

Номер пробы	Защитная пленка модификатора
1	Высокодисперсный базальт
2	Оксид кальция (водный раствор без автоклавной обработки)
3	Высокодисперсный сапонит
4	Высокодисперсный базальт + оксид кальция
5	Высокодисперсный сапонит + оксид кальция
6	Высокодисперсные базальт + сапонит
7	Высокодисперсные базальт + сапонит + оксид кальция

Таблица 2

Номер пробы	Наличие пиков										
	18°	26°	27°	29°	33°	34°	46°	47°	51°	63°	72°
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5	–	+	+	+	+	–	+	–	–	–	–
7	–	+	+	+	+	–	+	–	–	–	–

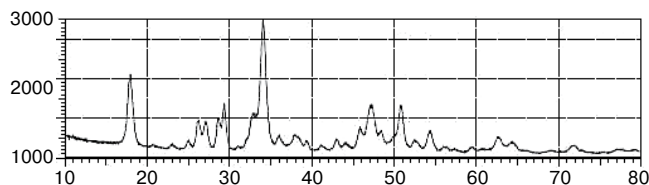


Рис. 4. Дифрактограмма образца извести (2)

Образец (7) – это смесь базальта (1), сапонита (3) и карбоната кальция (2). Пики на дифрактограммах, отвечающие за присутствие в образце (7) гидроксида кальция, отсутствуют.

Механизм карбонатного твердения гашеной извести (портландита) заключается в образовании карбонатов, в нашем случае за счет химического взаимодействия гидроксида кальция с растворенным в воде CO_2 . Причем известковые растворы обычно карбонизируются медленно. Образование карбоната кальция способствует уплотнению и упрочнению систем. Кроме того, повышается их водостойкость, что приводит к уменьшению гигроскопичности обработанных образцов по сравнению с образцами исходной древесины.

Использование добавки оксида кальция в качестве дополнительного связующего при образовании прочной защитной пленки на поверхности древесины обусловлено тем, что в процессе автоклавной обработки поверхности образца происходит гашение извести с образованием на первой стадии портландита. Затем на поверхности древесины за счет резкого перепада давлений (режим вакуум-давление) в автоклаве происходит карбонизация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ за счет повышения активности растворенного в водной дисперсионной среде диоксида углерода. Это связано со значительным уменьшением растворимости последнего в воде по закону Генри–Дальтона (растворимость газа в жидкости прямо пропорциональна его давлению над жидкостью).

В результате получается аналог бетонного композита с заполнителями из высокодисперсного базальта. Ускорителем процесса образования CaCO_3 является сапонит, сорбирующий воду, образующуюся при карбонизации.

Таким образом, на поверхности древесины образуется прочная пленка толщиной порядка 300–400 мкм. Толщина защитной пленки практически не закрывает естественного рисунка древесины, не изменяя эстетического и тактильного ее восприятия как строительного и отделочного материала (рис. 5).

Однако благодаря подобранному составу минеральной высокодисперсной добавки частицы основного компонента – базальта, имеющего при механическом диспергировании краеугольные формы, способствуют закреплению частиц в поровом пространстве древесины. Сапонит, вследствие особенностей строения являющийся гидрофильным материалом, играет роль вещества, сорбирующего влагу при протекании процесса карбонизации извести. Введение в состав минеральной добавки оксида кальция – минерального вяжущего необходимо для образования более прочной пленки.

На основании данных РЭМ и анализа фазового состава защитной пленки автоклавно-модифицированной поверхности древесины методом рентгеноструктурного анализа предложен механизм процесса модификации поверхности древесины высокодисперсным минеральным наполнителем на основе базальта, сапонита и оксида кальция.

Список литературы

1. Стенин А.А., Айзенштадт А.М., Шинкарук А.А., Махова Т.А. Формирование огнезащитных свойств



Рис. 5. Образец древесины после обработки минеральным модификатором

2. строительные материалы из древесины с использованием высокодисперсного базальтового наполнителя // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 47–49.
2. Ломакин А.Д. Защита клееных деревянных конструкций в заводских условиях // *Строительные материалы*. 2013. № 4. С. 111–115.
3. Ломакин А.Д. Глубокая пропитка древесины средствами защиты от биоразрушения и возгорания // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 72–74.
4. Корольченко А.Я., Корольченко О.Н. Средства огнезащиты: М.: Пожнаука, 2009. 560 с.
5. Корольченко А.Я., Корольченко О.Н. Средства огне- и биозащиты. М.: Пожнаука, 2009. 250 с.
6. Петрова Е.А. Снижение горючести древесины // *Строительные материалы*. 2011. № 11. С. 59–61.
7. Ломакин А.Д. Защита деревянных конструкций. М.: Стройматериалы, 2013. 424 с.
8. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. 262 с.

References

1. Stenin A.A., Aizenshtadt A.M., Shinkaruk A.A., Makhova T.A. Formation of fireproof properties of construction materials from wood with use of a high-disperse basalt filler. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 11, pp. 47–49. (In Russian).
2. Lomakin A.D. Protection of glued wooden designs industrially. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 4, pp. 111–115. (In Russian).
3. Lomakin A.D. Deep impregnation of wood by means of protection from biodestruction and ignition. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 6, pp. 72–74. (In Russian).
4. Korol'chenko A.Ja., Korol'chenko O.N. Sredstva ognезashchity [Means of fire protection]. Moscow: Pozhnauka. 2009. 560 p.
5. Korol'chenko A.Ja., Korol'chenko O.N. Sredstva ognе- i biozashchity [Means fire – and bioprotection]. Moscow: Pozhnauka. 2009. 250 p.
6. Petrova E.A. Decrease in combustibility of wood. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 11, pp. 59–61. (In Russian).
7. Lomakin A.D. Zashchita derevyannykh konstruksii [Protection of wooden constructions]. Moscow: Stroimaterialy. 2013. 424 p.
8. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Gorenie drevesiny i ejo požharoопасnye svoystva [Burning of wood and its fire-dangerous properties]. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii. 2010. 262 p.

Р.В. ЛЕСОВИК, д-р техн. наук, Д.М. СОПИН, канд. техн. наук, Г.Г. ИЛЬИНСКАЯ, канд. техн. наук, В.А. БОГУСЕВИЧ, инженер, Р.М. ГАЙНУТДИНОВ, инженер

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

Электропрогрев бетонных смесей на композиционных вяжущих

В настоящее время с проблемой замены дорогостоящих зарубежных компонентов на местные сырьевые материалы с целью снижения себестоимости бетона и улучшения технико-экономических показателей строительства в большей или меньшей степени сталкиваются специалисты практически во всех регионах Российской Федерации. Предложены составы композиционного вяжущего с использованием техногенных песков – отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов. Рассмотрена возможность повышения эффективности бетонирования при отрицательных температурах за счет использования композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонов на основе техногенного сырья Курской магнитной аномалии.

Ключевые слова: композиционные вяжущие, мелкозернистый бетон, отсев дробления кварцитопесчаника, отходы мокрой магнитной сепарации, зимнее бетонирование.

R.V. LESOVIK, Doctor of Sciences (Engineering), D.M. SOPIN, Candidate of Sciences (Engineering), G.G. IL'INSKAYA, Candidate of Sciences (Engineering), V.A. BOGUSEVICH, Engineer, R.M. GAYNUTDINOV, Engineer
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, 308012, Belgorod, Russian Federation)

Electric Heating of Concrete Mixes on the Basis of Composite Binders

At present, practically in all regions of the Russian Federation, the specialists are faced, to a greater or lesser extent, with the problem of replacement of expensive foreign components by local raw materials with the purpose of reducing the self-cost of concrete and improving technical-and-economic indexes. The compositions of a composite binder with the use of anthropogenic sand, waste of wet magnetic separation of ferruginous quartzite, are offered. A possibility of increasing the efficiency of concreting at negative temperatures due to the use of composite binders and fine concretes on the basis of anthropogenic raw materials of the Kursk Magnetic Anomaly is considered.

Keywords: composite binders, fine concrete, siftings of quartzitic sandstone crushing, waste of wet magnetic separation, winter concreting.

В современных условиях строительства возросшие объемы зимних бетонных и железобетонных работ, дефицит электроэнергетических ресурсов и их высокая стоимость, а также повышение требований к качеству зимнего бетонирования монолитных строительных конструкций обусловили необходимость пересмотра традиционного подхода к выбору метода зимнего бетонирования. Это, в свою очередь, вызвало необходимость решения актуальных научно-технических задач, связанных с разработкой технических средств контроля выполнения нормативных температурных ограничений на стадиях проектирования и производства работ [1].

Жилищная политика, проводимая правительством Белгородской области, направлена на создание условий для обеспечения всех категорий населения доступным, качественным и благоустроенным жильем. Решение жилищной проблемы является одним из основных направлений реализации Программы улучшения качества жизни населения Белгородской области.

В Белгородской области за последние годы возросли масштабы строительства. Так, объем строительных работ за 2011 г. составил 60 млрд р. Это более чем в полтора раза выше в сопоставимых ценах, чем в предыдущем году. Сдано в эксплуатацию всего 1,685 млн м² построенных площадей (здания жилого и нежилого назначения). Область занимает третье место по объему строительных работ в Центральном федеральном округе после Москвы и Московской области.

В жилищном строительстве неизменным приоритетом было и остается строительство индивидуального жилья. В 2013 г. построено 7356 индивидуальных домов общей площадью 962 тыс. м². Доля ИЖС в общем объеме строительства жилья впервые в Белгородской области составила 84%.

Строительство ведется круглогодично. В зимних условиях при бетонировании общественных, гражданских, промышленных строений в основном применяют два способа электропрогрева – электродный и греющими проводами.

Выбор метода зимнего бетонирования зависит от размеров и назначения конструкции (с учетом возможности изготовления их на заводах и полигонах), от ожидаемых наружных температур, применяемых цементов, наличия на строительстве источников тепла, химических добавок, теплоодежд и др. [2]. При выборе того или иного метода производства работ авторы учитывали их сравнительную экономичность и простоту выполнения, а также возможность удовлетворения требований суточного графика работ.

Из всех видов зимнего бетонирования, широко применяющихся в строительстве при отрицательных температурах и обеспечивающих достижение бетоном до замерзания критической прочности (рис. 1), применительно к условиям Белгородской области наиболее перспективны электропрогрев и замена цемента на композиционное вяжущее.

Способ проведения строительных работ методом электропрогрева бетона с помощью нагревательных проводов стальных виниловых (ПНСВ) в условиях строительной площадки является перспективным с точки зрения приближенности к строительству при сохранении всех проектных свойств бетонов и позволяет:

- сократить сроки строительства в 5–10 раз при отрицательных температурах;
- эффективно использовать трудовые ресурсы и оборудование;
- применять более дешевые бездобавочные бетонные смеси;



Рис. 1. Способы бетонирования при отрицательной температуре [3]

— исключить вероятность замерзания бетона в раннем возрасте и гарантировать требуемое качество бетона и конструкций.

В настоящее время при зимнем бетонировании в Белгородской области в основном используются бетоны класса В20, в которых в качестве крупного заполнителя применяются материалы, поставляемые из других регионов. Между тем на территории Белгородской области имеется обширная сырьевая база местных материалов, в том числе и техногенных песков.

В настоящее время получают все более широкое распространение в строительстве мелкозернистые бетоны, которые нашли применение при изготовлении тонкостенных железобетонных конструкций, армоцементных изделий, кладочных и отделочных растворов, для строительства укрепленных оснований дорожных одежд автомобильных дорог и др.

Для обеспечения требуемых свойств бетонов в зимних условиях, снижения себестоимости и отказа от зарубежных компонентов необходим переход на мелкозернистые бетоны, композиционные вяжущие и местное, желательное техногенное сырье.

В результате проведенной авторами работы предложено несколько составов композиционного вяжущего

с использованием техногенных песков, а именно отходов мокрой магнитной сепарации (ММС) железистых кварцитов Лебединского месторождения. Это обусловлено тем, что запасы подобных отложений в России и в мире исчисляются десятками миллиардов тонн. При этом основной (по количеству) породообразующий минерал отходов ММС – кварц существенно отличается от кварца природных песков. Используемые в настоящее время при производстве строительных материалов пески имеют мономинеральный состав. Они состоят из наиболее устойчивого к выветриванию минерала – кварца. Большинство же техногенных песков полиминеральны. В их состав входят минералы из класса оксидов, силикатов, карбонатов, реже из других классов (табл. 1).

Еще значительнее техногенные пески отличаются от традиционно применяемых природных по морфологии зерен и шероховатости поверхности. В зависимости от генезиса структуры, текстуры, минерального состава исходных горных пород зерна техногенных песков могут быть угловатыми, ячеистыми, ребристыми, округлыми или многогранными. Они могут быть изометричными или продолговатыми, длинными, пластинчатыми.

Таблица 1

Минеральный состав пород и техногенных песков, используемых при производстве строительных материалов

Наименование пород	Содержание минералов, мас. %								
	Кварц	Слюда	Серпентин	Полевой шпат	Кальцит	Пироксен	Магнетит	Доломит	Амфибол
Граниты	30	до 10	–	60	–	–	–	–	до 10
Кварцитопесчаники	до 95	5–6	–	–	–	–	–	–	–
Известняки	3,5	–	–	–	до 95	–	–	–	до 5
Базальты	–	–	–	до 60	–	до 40	–	–	до 20
Кварцевые порфиры	до 50	до 20	–	≈ 20	–	–	–	–	–
Сланцы	до 40	60	–	–	–	–	–	–	–
Песок Вольского месторождения	99	–	–	–	–	–	–	–	–
Отходы ММС	до 80	–	–	–	до 10	–	1–3	–	до 10
Отходы алмазообогащения	–	–	70	–	2	–	–	28	–

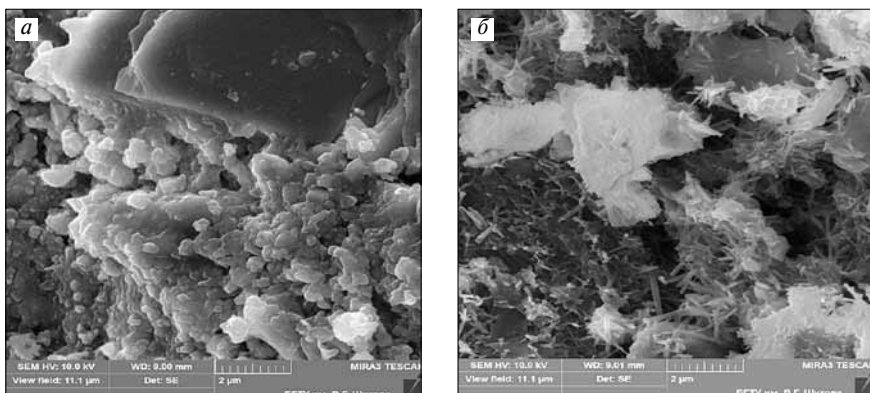


Рис. 2. Микроструктура бетонов на различных вяжущих в возрасте 28 сут: а – ТМЦ-50; б – ВНВ-50

С. 72–76; Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Бурякова Ю.А. К проблеме снижения энергоемкости ВНВ // Наука и образование как фактор оптимизации среды жизнедеятельности: Материалы Междунар. научн.-практ. конф.-семинара. Волгоград: ВГАСУ, 2004. С. 65–68), особенно с учетом фракционирования и создания высокоплотной упаковки.

Для изучения влияния композиционных вяжущих на свойства мелкозернистого бетона при прогреве изготавливались образцы размером 40×40×40 см, класса В20 с осадкой конуса в пределах 10–15 см на различных вяжущих, которые в дальнейшем подвергались электропрогреву нагревательными проводами в условиях отрицательных температур в течение 24 ч. Сущность метода заключалась в том, что в бетон укладывались провода со стальной жилой диаметром 1,5 мм в полиэтиленовой изоляции, которые при прохождении по ним сильного тока за счет сопротивления выделяли тепло.

Таблица 2

Кинетика помола вяжущих в зависимости от состава

Наименование вяжущего	Удельная поверхность, м ² /кг, при времени помола, мин		
	30	60	90
ВНВ-50 (ММС)	485	588	780
ТМЦ-50 (ММС)	460	560	645
ТМЦ-50 (песок)	450	550	680
ВНВ-50 (песок)	470	570	727

Использование отходов ММС в качестве минеральной добавки при производстве композиционных вяжущих более эффективно по сравнению с кварцевым песком осадочных пород. Это обусловлено типоморфными особенностями сырья, дефектностью его кристаллической решетки, наличием газовых включений, флюидов и минералообразующей средой, т. е. они являются генетически активированным сырьем [4, 5]. Лучшая размалываемость отходов ММС объясняется полиминеральностью его состава (табл. 2).

Помол вяжущих низкой водопотребности (ВНВ) осуществляли в тех же условиях, что и при получении тонкомолотых цементов (ТМЦ). Удельная поверхность увеличивается при замене в ВНВ-50 песка на ММС. Поэтому целесообразно использовать отходы ММС в качестве кремнеземсодержащего компонента вяжущего.

Авторами исследовалась возможность получения мелкозернистого бетона для работ при отрицательных температурах на основе композиционных вяжущих с использованием в качестве заполнителя отсева дробления кварцитопесчаника (КВП) Лебединского месторождения Курской магнитной аномалии.

Отсев дробления КВП характеризуется высоким содержанием кремнезема (94,56%) и его можно применять в качестве заполнителя для мелкозернистого бетона (Лесовик В.С., Беляев А.М., Кондратьева Н.Д., Мелик-Багдасаров М.С. Техногенное сырье КМА в дорожном строительстве // Технология, оборудование и сырьевая база горных предприятий промышленности строительных материалов.: Сб. докл. IX Межд. конф. работников нерудной промышленности. М., 2000.

Усредненное значение расхода нагревательного провода на 1 м³ бетона составляло 60 м при расходе электроэнергии 4,8 кВт/ч [6, 7]. После осуществления прогрева образцы набирали проектную прочность (28 сут при температуре в пределах от -10 до -20°С). Впоследствии производился отбор проб с помощью алмазной пилы и оборудования для отбора кернов. Определение физико-механических характеристик проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 28570–90 «Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций»; ГОСТ 10180–90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» и ГОСТ 24452–80 «Бетоны. Методы испытаний» на образцах-цилиндрах диаметром ≈60 мм и образцах-призмах (размером 100×100×400 мм), полученных из проб.

Исследования физико-механических характеристик показало (табл. 3), что свойства бетонов, изготовленных на композиционных вяжущих, превышают по своим характеристикам образцы аналогичного состава, изготовленного на портландцементе. Отсюда можно сделать вывод, что применение композиционных вяжущих с добавкой суперпластификатора позволяет существенно уменьшить расход цементной составляющей без снижения прочностных характеристик бетона.

В связи с тем, что предложенные бетоны планируется использовать в монолитном строительстве, важным является изучение их деформативных характеристик. Одной из основных характеристик деформирования бетона является модуль упругости E_b , для определения которого испытывались призмы в 28-суточном возрасте в точном соответствии с требованиями ГОСТ 24452–80. Продольные деформации призм замерялись с помощью

Таблица 3

Прочностные характеристики мелкозернистого бетона

Вяжущее, кг/м ³			Вода, л/м ³	Заполнитель, кг/м ³	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	Прочность при изгибе $R_{изг}$, МПа	Морозостойкость, F
Цемент	Отходы ММС	СП						
483	–	–	268	1714	2300	24	3,4	200
260	260	–	296	1714	2330	24,5	4,6	250
214	214	1,7	228	1714	2260	25,6	5,2	300

Таблица 4
Деформативные свойства мелкозернистого бетона

Вид вяжущего	Призмная прочность, МПа	Модуль упругости $E_b \cdot 10^{-3}$, МПа
ЦЕМ I 42,5 Н	17,8	15,4
ТМЦ-50	18	15,9
ВНВ-50	18,9	16,5

индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм (табл. 4).

Таким образом, на основе композиционных вяжущих и отсева дробления кварцитопесчаников возможно получение мелкозернистых бетонов для бетонирования при отрицательных температурах при производстве ответственных изделий и конструкций, соответствующих нормативной документации для данного вида строительства.

Высокие качественные характеристики объясняются микроструктурой мелкозернистых бетонов (рис. 2).

Цементный камень синтезированных мелкозернистых бетонов – это микроскопически неоднородная дисперсная система, состоящая из матрицы, представленной гелеобразными и кристаллическими новообразованиями, цементных зерен, еще не вступивших в реакцию, а также частиц кремнеземсодержащего наполнителя у бетонов на основе ВНВ и ТМЦ.

Синтез новообразований происходит на поверхности цементного зерна, постепенно заполняя межпоровое пространство, формируя таким образом структуру камня; этрингит представлен призматическими вытянутыми кристаллами (рис. 2).

Микроструктура бетона на основе ТМЦ менее однородная, в ней также наблюдается прорастание игольчатых спицеобразных кристаллов, пронизывающих объем структуры материала, но в меньшем количестве. В большом количестве присутствуют плотные новообразования вблизи зерен наполнителя. Можно отметить большое количество кристаллов кубической формы. Предположительно это стабильная форма гидроалюмината $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (C_3AH_6), поскольку кубические гидрогранаты редко образуются при гидратации портландцемента при нормальной температуре. Они являются равновесными продуктами только в условиях высокой температуры или при большой продолжительности гидратации, что характерно для условий электропрогрева (Брыков А.С. Гидратация портландцемента. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2008. 30 с.; Красовский П.С. Физико-химические основы формирования структуры строительных материалов. Хабаровск: ДВГУПС, 2003. 95 с.).

В целом можно отметить, что у полученных бетонов формируется плотная структура композита с ярко выраженным зарастанием пор, с образованием гидросиликатов, гидрогранатов и гидроферритов кальция, которые плотно формируются на зернах минерального наполнителя как на подложке.

Композиционные вяжущие являются эффективным материалом с технологической и экономической стороны для зимнего бетонирования, их использование будет способствовать как снижению себестоимости строительства, так и улучшению экологической обстановки региона.

Таким образом, впервые в мировой практике предложена технология зимнего бетонирования с использованием композиционных вяжущих на основе нетрадиционного кремнеземсодержащего техногенного сырья из отходов горнорудного производства КМА. Установлены параметры электропрогрева, применимые к составам мелкозернистого бетона и температурных режимов средней полосы РФ.

Список литературы

1. Сердюкова А.А., Рахимбаев Ш.М. Влияние пониженных температур на кинетику твердения цементных систем // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2012. № 3. С. 49–52.
2. Башлыков В.Н., Сиротин П.Н. Специальные цементы для производства бетонных работ в зимнее время // *Строительные материалы*. 2010. № 2. С. 49–52.
3. Садович М.А. Методы зимнего бетонирования. Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2009. 104 с.
4. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Яковлев Е.А., Шейченко М.С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2009. № 1. С. 30–33.
5. Лесовик В.С., Вишневецкая Я.Ю., Алфимова Н.И. Энергоемкость процессов синтеза композиционных вяжущих в зависимости от генезиса кремнеземсодержащего компонента // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2011. № 3. С. 53–56.
6. Федосов С.В., Бобылев В.И., Митькин Ю.А., Закинчак Г.Н., Соколов А.М. Электротепловая обработка бетона токами различной частоты // *Строительные материалы*. 2010. № 6. С. 2–7.
7. Федосов С.В., Крылов Б.А., Бобылев В.И., Пыжиков А.Г., Красносельских Н.В., Соколов А.М. Применение электротепловой обработки железобетонных изделий на полигонных установках // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 35–38.

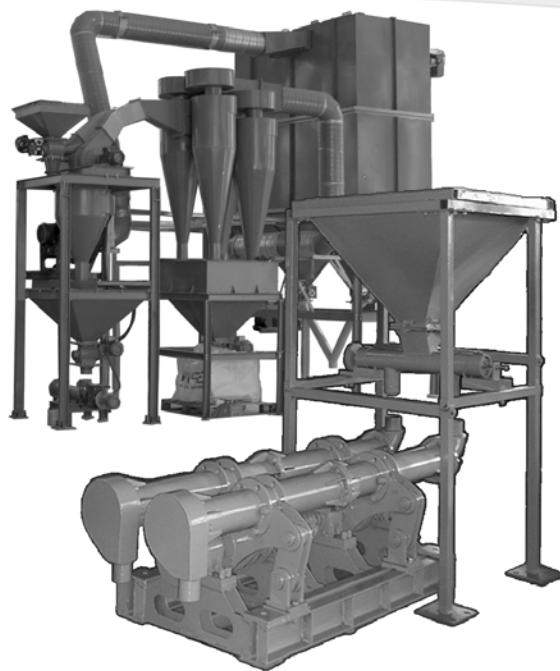
References

1. Serdyukova A.A. Rakhimbayev Sh. M. Influence of lowered temperatures on kinetics of curing of cement systems. *The Messenger of the Belgorod state technological university of V.G. Shukhov*. 2012. No. 3, pp. 49–52. (In Russian).
2. Bashlykov V.N., Sirotnin P.N. Special cements for production of concrete works in winter time. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 2, pp. 49–52. (In Russian).
3. Sadovich M. A. Metody zimnego betonirovaniya [Methods of winter concreting]. Bratsk: Public Educational Institution of Higher Professional Training BRGU, 2009. 104 p. (In Russian).
4. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Yakovlev E.A. Sheychenko M.S. To a problem of increase of efficiency composite knitting. *The Messenger of the Belgorod state technological university of V.G. Shukhov*. 2009. No. 1, pp. 30–33. (In Russian).
5. Lesovik V.S., Vishnevskaya YA.YU., Alfimova N.I. Energyemkost of processes of synthesis composite knitting depending on genesis of a kremnezemsoderzhashchy componen. *The Messenger of the Belgorod state technological university of V.G. Shukhov*. 2011. No. 3, pp. 53–56. (In Russian).
6. Fedosov S.V., Boblyov V.I. Mitkin Yu.A. Zakinchak G.N., Sokolov A.M. electrothermal treatment of concrete by currents of various frequency. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 6, pp. 2–7. (In Russian).
7. Fedosov S.V., Krylov B.A. Boblyov V.I. Pyzhikov A.G. Krasnoselskikh N. V., Sokolov A.M. application of electrothermal treatment of ferroconcrete products on polygon installations. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 11, pp. 35–38. (In Russian)



Российские промышленные помолыно - классификационные комплексы «Активатор»

	АПК 100	АПК 500	АПК 1000	АПК 5000
производительность	100 кг/ч	500 кг/ч	1000 кг/ч	5000 кг/ч
граница разделения	1-10 мкм	3-20 мкм	5-50 мкм	5-70 мкм
потребляемая мощность	11 кВт/ч	22 кВт/ч	45 кВт/ч	130 кВт/ч



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

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

10 лет Березовскому заводу ООО «ПСО «Теплит»

10 лет назад, в сентябре 2004 г. был запущен завод автоклавного газобетона в г. Березовский Производственно-строительного объединения «Теплит», входящего в состав НП «Управление строительства «Атомстройкомплекс». В России это был первый крупный автоматизированный завод, построенный на деньги частных инвесторов после кризиса 1998 г. За 10 лет предприятием произведено более 2,4 млн м³ газозлобетонных блоков, получивших название «твинблоки» – блоки-близнецы. Компания «Теплит» завоевала прочное место в российском строительном комплексе, ее продукция пользуется популярностью во многих регионах страны и удовлетворяет спрос потребителей Поволжья, Урала, Дальнего Востока и Сибири.



Выпуск твинблоков полностью автоматизирован и идет в непрерывном режиме. Для производства твинблоков используются экологически чистые, сертифицированные материалы: портландцемент, известь, зола-унос Рефтинской ГРЭС и алюминиевая паста. За 10 лет переработано более 770 тыс. т золы-уноса — отхода сжигания экибастусского угля, что благотворно влияет на оздоровление экологии Свердловской области.

Стабильность высокого качества обеспечивается контролем и регулированием технологического процесса, его постоянным совершенствованием. За прошедшие годы был реализован отдельный помол извести; осуществлен отказ от ударной технологии формования; разработана и внедрена технология производства автоклавного газозлобетона пониженной плотности (марки D300 и D400); реализованы мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности производства (использование вторичного пара при автоклавной обработке изделий, подогрев воды теплом конденсата и др.). Внедрена оригинальная технология производства лотковых блоков для изготовления перемычек и обустройства монолитных поясов. В 2007 г. силами завода реализована реконструкция производственных мощностей, в результате которой производительность линии была увеличена на 50% и достигла 360 тыс. м³ в год.

На предприятии проводится научно-исследовательская работа. Например, осуществлен подбор состава газообразователя (алюминиевой пасты), определены несущие способности анкеров в газобетоне, изучено влияние золы на свойства тяжелых бетонов и др. Кроме этого, на базе предприятия студентами УрФУ выполнено более 20 дипломных работ, направленных на изучение и оптимизацию свойств автоклавного газозлобетона.

Стабильная работа предприятия дает его работникам уверенность в завтрашнем дне.

УДК 691:624.073

В.П. СЕЛЯЕВ, д-р техн. наук, академик РААСН (ntorm80@mail.ru), В.А. НЕВЕРОВ, канд. физ.-мат. наук, Л.И. КУПРИЯШКИНА, канд. техн. наук, О.Г. МАШТАЕВ, инженер

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68)

Природные и искусственные микрокремнеземы в качестве наполнителей вакуумных изоляционных панелей

Проведены комплексные исследования структуры и свойств некоторых природных и искусственных микрокремнеземов с целью поиска подходящего материала для наполнителей вакуумных изоляционных панелей. Определены параметры неоднородностей нанометрового масштаба частиц аморфного диоксида кремния. Проведен сравнительный анализ исследованных дисперсий с порошком-наполнителем зарубежного производства. Изготовлены опытные образцы вакуумных изоляционных панелей и измерена их эффективная теплопроводность. Даны рекомендации по производству порошков-наполнителей из местного минерального сырья.

Ключевые слова: природный диатомит, дисперсный микрокремнезем, вакуумная изоляционная панель.

V.P. SELIAEV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS (ntorm80@mail.ru), V.A. NEVEROV, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), L.I. KUPRIYASHKINA, Candidate of Sciences (Engineering), O.G. MASHTAEV, Engineer
Mordovia State University named after N.P. Ogarev (68, Bolshevistskaya Street, Saransk, 430005, Republic of Mordovia, Russian Federation)

Natural and Artificial Micro-silica as Fillers for Vacuum Insulation Panels

The complex studies of the structure and properties of some natural and artificial micro-silica with the purpose to find a suitable material for fillers of vacuum insulation panels have been conducted. The parameters of the non-homogeneities of nano-meter scale of amorphous silicon dioxide particles are determined. The comparative analysis of studied dispersions with a powder-filler of foreign production is made. Experimental samples of the vacuum insulation panels were made, their efficient heat conductivity was measured. Recommendations for the production of powder-fillers from local mineral raw materials are given.

Keywords: natural diatomite, disperse micro-silica, vacuum insulation panel.

Вакуумные изоляционные панели (ВИП) находят все большее применение при защите фасадов, цокольных этажей, производственных помещений, объектов атомной энергетики, спортивных сооружений, вновь возводимых и реконструируемых зданий. Производство ВИП освоено в Западной Европе, например предприятия Германии выпускают несколько видов теплоизоляционных панелей типа FRONT-VIP (http://gerprom.com/izolyacia/vacu_isotec/83-vakuumnaya-teploizolyacionnaya-panel-front-vip.html). В Белоруссии разработана и освоена технология производства ВИП с применением местных материалов (<http://ais.by/story/12315>). Китай поставляет на рынок панели VOKES-VIP, NANOPOR-VIP для строительной отрасли и машиностроения. Кроме ВИП предприятия Китая предлагают теплоизоляционный материал «Нанопор». В качестве основного компонента в нем применяется нанопорошок диоксида кремния, а также специальные добавки. Имея низкую теплопроводность, отличную звукоизоляцию, этот материал может с успехом заменить асбест, стекловолокно, пенополистирол, пенополиуретан, минеральную вату и т. д.

Современное состояние российского рынка доступных минеральных порошков, упаковочных материалов и вакуумных упаковщиков позволяет относительно недорого реализовать вакуумную тепловую изоляцию на основе природных и искусственных микрокремнеземов. По сравнению с традиционными преимуществами вакуумных изоляционных материалов неоспоримы — они позволяют уменьшить толщину слоя утеплителя при увеличении сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Производство ВИП может быть освоено в России, так как имеется настоятельная необходимость организации серийного выпуска этой инновационной продукции для массового использования в строительстве.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями показано [1–3], что процесс переноса тепла в тонкодисперсных зернистых и волокнистых материалах зависит от структуры и свойств составляющих гетеро-

генной системы: эффективная теплопроводность при свободной засыпке частиц с размерами в доли микрометра зависит от диаметра частиц, протяженности волокон, размеров пор и их объемного содержания, а также от давления газа в поровом пространстве материала. Установлено также, что с ростом пористости заполненных газом зернистых систем эффективная теплопроводность падает — уменьшается объемная доля зерен, обладающих более высокой теплопроводностью. Однако если пористость засыпки приближается к единице (аэросил, таркосил, пирогенный кремнезем, белая сажа и т. д.), теплопроводность зернистой системы может существенно увеличиться за счет возрастания фотонного (лучистого) механизма переноса тепла в порах [4].

Требования, предъявляемые к порошкам-наполнителям ВИП. Опыт зарубежных стран и исследования последних лет [2, 5, 6] дают возможность сформулировать ряд требований, которым должны соответствовать дисперсные порошки природного и искусственного происхождения в случае их использования (возможно, после минимальной модификации) в качестве наполнителя сердцевин вакуумных теплоизоляционных панелей:

- частицы зернистой системы должны иметь линейные размеры менее 10^{-4} м;
- в условиях свободной засыпки пористость дисперсного порошка должна быть более 90% и поровая структура должна формироваться на разных масштабных уровнях;
- в общем объеме порового пространства минеральные порошки должны иметь наноструктурированные поровые кластеры;
- зернистый материал не должен содержать конденсированную и химически связанную воду, органические примеси;
- частицы зернистой системы должны быть преимущественно аморфными, иметь структурные неоднородности нанометрового уровня, способствующие рассеянию фононов и уменьшению эффективной теплопроводности дисперсного материала;

Таблица 1

Характеристики порошка		Микрокремнезем				Диатомит		
		FRONT-VIP	Дисперсный	Конденсированный	Белая сажа	Атемарский	Никольский	Инзенский
Истинная плотность, кг/м ³		2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Насыпная плотность, кг/м ³		80	150–200	150–200	100	600–800	600–800	600–800
Пористость, %		96	93	93	95	70	70	70
Крупность, мкм		0,29–1 2–64	0,33–0,45 2–640	0,29–1,2 2–640	0,29–1 3–1900	0,36–1,5 2–100	0,29–0,56 1–170	0,35–125
Элементный состав (оксиды)	SiO ₂	99,77	97,82	90,42	97,1	87,23	84,11	86,26
	Al ₂ O ₃	–	0,46	0,61	–	5,15	7,16	7,09
	Fe ₂ O ₃	0,09	0,16	1,71	0,09	3,41	3,87	2,67
	K ₂ O	0,02	0,5	2,5	–	1,21	1,77	1,53
	TiO ₂	0,01	0,31	–	–	0,32	0,52	0,42
	Na ₂ O	–	–	0,89	0,37	–	–	0,2
	MgO	–	–	1,84	–	0,73	0,98	1,21
	MnO	–	–	0,26	–	–	–	–
	SO ₃	–	–	0,67	0,03	0,03	0,17	0,03
	CaO	0,01	0,03	0,56	0,63	1,75	1,26	0,5
	P ₂ O ₅	–	–	0,32	–	0,06	0,03	0,03
	P	–	0,01	–	–	–	–	–
	WO ₃	–	–	–	0,7	–	–	–
	NiO	0,01	–	–	0,1	–	–	–
	Cl	0,02	–	–	0,92	–	–	–
V ₂ O ₅	0,03	–	–	–	–	–	–	

- морфологическое строение частиц должно отличаться значительной удельной поверхностью, шероховатой по виду, пронизанной системой пор и поровых каналов, образующих рыхлую структуру;
- давление газа в поровом пространстве должно быть минимальным.

Образцы, приборы и методы исследования. В настоящее время промышленно выпускается несколько видов микрокремнеземов, которые используются в качестве добавок и наполнителей в различного рода строительные композиты, сухие смеси, краски, резинотехнические изделия и т. д. Состоят они преимущественно из микро- и наноразмерных частиц диоксида кремния. Их стоимость достаточно низка. В регионе Среднего Поволжья, в Республике Мордовия, Пензенской и Ульяновской областях Российской Федерации открыто и эксплуатируется несколько месторождений природного диатомита – высокопористой кремнистой породы осадочного происхождения. В работе [7] показано, что дисперсный микрокремнезем с высоким содержанием аморфного диоксида кремния может быть получен из природного диатомита, например Атемарского месторождения Республики Мордовия. Авторами [8] указывается, что одно из направлений использования природных диатомитов в строительной индустрии может быть связано с их низкой теплопроводностью. В связи с этим представляются актуальными комплексные исследования особенностей структуры и свойств природных и искусственных кремнеземов и сравнение их характеристик с параметрами эталонного наполнителя ВИП зарубежного производства, в качестве которого был выбран порошок панели FRONT-VIP. Объектами исследований выступили:

- дисперсный микрокремнезем, полученный из диатомита Атемарского месторождения;

- конденсированный микрокремнезем производства ООО «Кузнецкие ферросплавы»;
- белая сажа – микрокремнезем производства ООО «Сода»;
- диатомит Атемарского месторождения (РМ);
- диатомит Никольского месторождения (Пензенская обл.);
- диатомит Инзенского месторождения (Ульяновская обл.).

Для исследования структурных характеристик дисперсных порошков применялись следующие методы и приборы (ЦКП Мордовского госуниверситета, г. Саранск):

- гранулометрический анализ, Shimadzu SALD-3101;
- термогравиметрический анализ, TGA/SDTA 851e;
- электронная микроскопия, Quanta 200 I 3D FEL;
- ИК-спектроскопия, «Инфралюм ФТ-02»;
- рентгеноструктурный анализ, PANanalytical;
- рентгенофлуоресцентный анализ, ARL Perform'X 4200;
- малоугловое рентгеновское рассеяние, Necus S3-MICRO.

Результаты исследований. Основные результаты исследований представлены в табл. 1.

Согласно данным гранулометрического анализа распределение частиц по размерам исследованных дисперсных минеральных порошков носит бимодальный характер, за исключением диатомита Инзенского месторождения, у которого по крупности частицы образуют непрерывный ряд значений. Такой характер распределения частиц по размерам соответствует полидисперсным системам с фракционным составом, позволяющим заполнять упаковочные пустоты более мелкими частицами [9]. Природные диатомиты по гранулометрическому составу достаточно однородны. Так же как

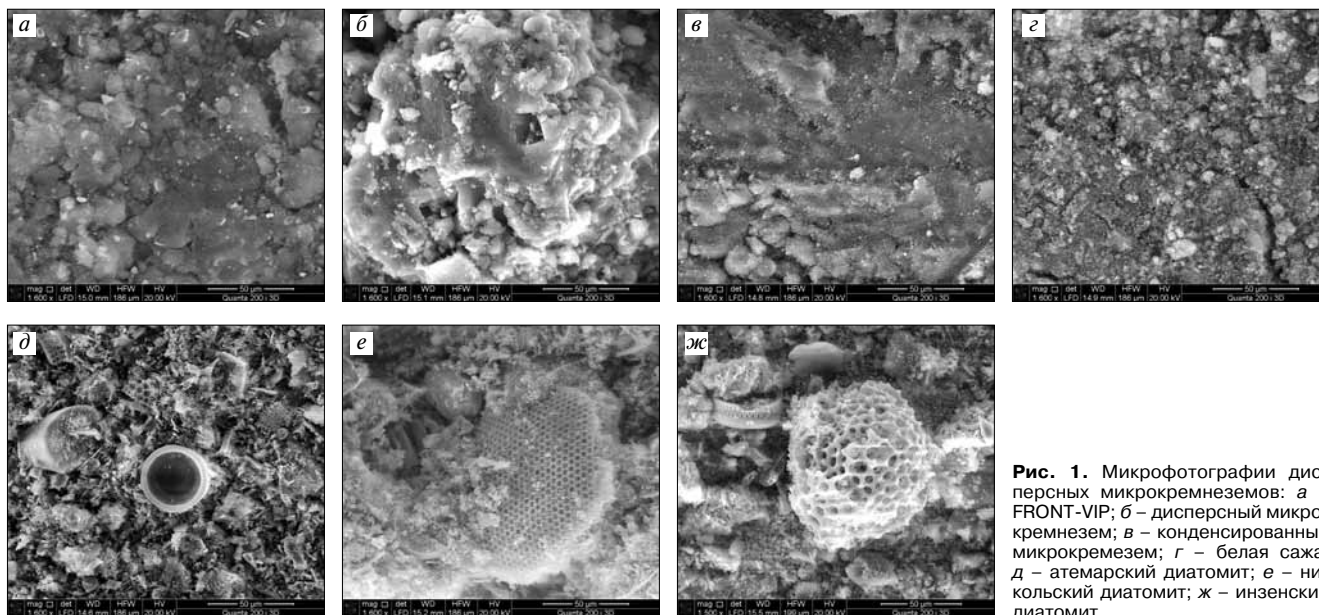


Рис. 1. Микрофотографии дисперсных микрокремнеземов: а – FRONT-VIP; б – дисперсный микрокремнезем; в – конденсированный микрокремнезем; г – белая сажа; д – атемарский диатомит; е – никольский диатомит; ж – инзенский диатомит

и искусственные микрокремнеземы, они состоят из частиц субмикрометрового и микрометрового масштабов. Наиболее мелкодисперсным следует считать порошок-наполнитель FRONT-VIP. Относительно высокие значения верхнего предела интервала крупности дисперсного и конденсированного микрокремнеземов, а также белой сажи можно объяснить процессами самоорганизации первичных частиц диоксида кремния в достаточно прочные, но рыхлые сфероподобные объекты.

Термогравиметрические измерения позволили выявить особенности физико-химических процессов, протекающих в дисперсных порошках при нагревании. Диапазон изменения температуры 25–1200°C для микрокремнеземов и 25–900°C для природных диатомитов. Кроме потери массы образцов зафиксированы эндо- и экзотермические максимумы, соответствующие процессам дегидратации и структурных перестроек аморфно-кристаллических модификаций диоксида кремния. В природных кремнеземах происходит выгорание остатков органического материала биогенного происхождения. Параметры термических реакций и потеря массы образцами показаны в табл. 2.

Характерной особенностью дисперсных порошков, кроме FRONT-VIP и конденсированного микрокремнезема, является широкий эндотермический максимум в интервале температуры 25–340°C, который соответствует процессу удаления поровой воды. На этом этапе теряется основная масса образца (табл. 2). Такой максимум отсутствует у конденсированного микро-

кремнезема и порошка-наполнителя FRONT-VIP. Это связано с технологией получения конденсированного микрокремнезема, который образуется в результате очистки газов печей при производстве кремнийсодержащих сплавов. Дегидратация диатомита Инзенского месторождения наблюдается в диапазоне температуры ~25–170°C, что ниже, чем у двух других природных диатомитов. Экзотермические максимумы на термограммах диатомитов лежат в пределах 600–900°C, а у дисперсного микрокремнезема – ~250–500°C. У порошка FRONT-VIP наблюдается плавное изменение массы и незначительный эндотермический пик при 800–920°C. Вероятно, тонкодисперсный материал теряет компоненты специальных добавок, которые способствуют дополнительному рассеянию теплового (инфракрасного) излучения (инфракрасный замутнитель). В целом после термической модификации все природные и искусственные микрокремнеземы будут представлять собой весьма стабильные дисперсные системы и могут использоваться в качестве теплоизоляторов до температуры ~1000°C.

На рис. 1 представлены микрофотографии исследованных дисперсных природных и искусственных микрокремнеземов. Основу искусственных микрокремнеземов составляют частицы и их конгломераты микрометровых и субмикрометровых размеров.

Крупные частицы построены из более мелких агрегатов, имеют складчатую структуру, изрезанную системой макропор в виде полостей и каналов. На фотоизо-

Таблица 2

Вид порошка	Потеря массы, %	Эндотермические процессы		Экзотермические процессы		
		Диапазон температуры, °C	Пик, °C	Диапазон температуры, °C	Пик, °C	
Микрокремнезем	FRONT-VIP	4,1	800–920	820	–	–
	Дисперсный	30,9	25–200	120	240–400 420–510	316 460
	Конденсированный	4	460–1100	823	–	–
	Белая сажа	11,5	25–250 860–1050	113 892	–	–
Диатомит	Атемарский	8,9	25–340	83	670–750 790–890	704 852
	Никольский	10,7	25–330	80	600–760	735
	Инзенский	9,5	25–170	91	590–825	699

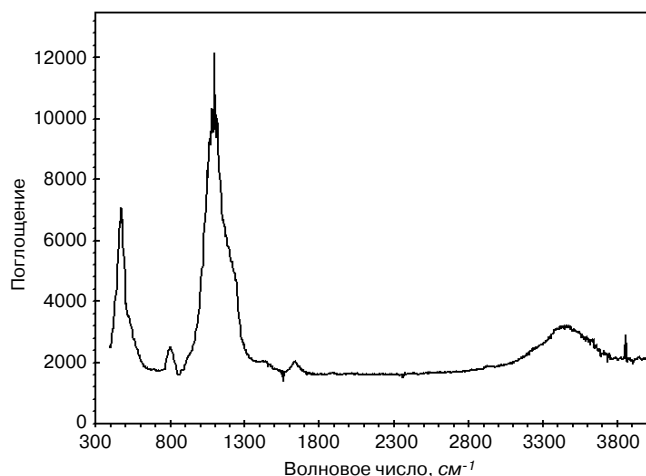


Рис. 2. Спектр поглощения диатомита Атемарского месторождения

бражении фрагмента засыпки порошка-наполнителя FRONT-VIP отчетливо видны частицы инфракрасного замутнителя в виде чешуек с диффузными краями светлого тона. В оптическом диапазоне они имеют светло-голубоватый оттенок. Порошок белой сажи составляют сферические частицы различной крупности. При большом разрешении отчетливо просматривается пористая система отдельных частиц, состоящих согласно агрегационной модели строения аморфного диоксида кремния из сферических частиц предыдущего иерархического уровня [10]. Диатомиты ископаемых пород состоят в основном из остатков створок диатомовых водорослей, их обломков, примесных материалов. Хорошо сформированная поровая система убежища диатомей способствует конденсации химически несвязанных с диоксидом кремния молекул воды и накоплению остатков органического материала и частиц глинистых примесей.

Инфракрасные спектры всех природных и искусственных микрокремнеземов получены в диапазоне волновых чисел 450–4000 см⁻¹. Спектры поглощения имеют характерный для диоксида кремния вид. В диапазоне волновых чисел 450–1200 см⁻¹ наблюдаются три максимума, соответствующие колебаниям Si–O–Si связей в тетраэдре SiO₄, – два небольших максимума в районе 480 и 800 см⁻¹ и один значительный в районе 1100 см⁻¹. В области волновых чисел 3300–3600 см⁻¹ присутствует широкая полоса поглощения, а в области 1630–1640 см⁻¹ – более узкая полоса, соответствующие валентным и деформационным колебаниям адсорбированных молекул воды (рис. 2).

Порошкообразные природные и искусственные микрокремнеземы были исследованы методом рентгеноструктурного анализа. Дифрактограммы получены на CuK_α-излучении в диапазоне углов 2θ ~20–90°. Дисперсный микрокремнезем и белая сажа имеют рентгеновский спектр, типичный для аморфных материалов, – широкий диффузный максимум (гало) регистрируется в интервале углов 22–26°. Он является результатом дифракции рентгеновского излучения на областях, имеющих ближний порядок. Все ископаемые диатомиты дают идентичные дифрактограммы: на фоне кривой рассеяния аморфной фазы диоксида кремния проявляются дифракционные рефлексы кристаллических фаз α-SiO₂, а также Al₂O₃. Интенсивности этих отражений невелики, что соответствует данным рентгенофлуоресцентного анализа, определяющего оксидный состав исследуемых материалов. В составе порошка-наполнителя FRONT-VIP кроме аморфного кремнезема обнаружено некоторое количество поликристаллического карбида кремния [11], рис. 3, табл. 3.

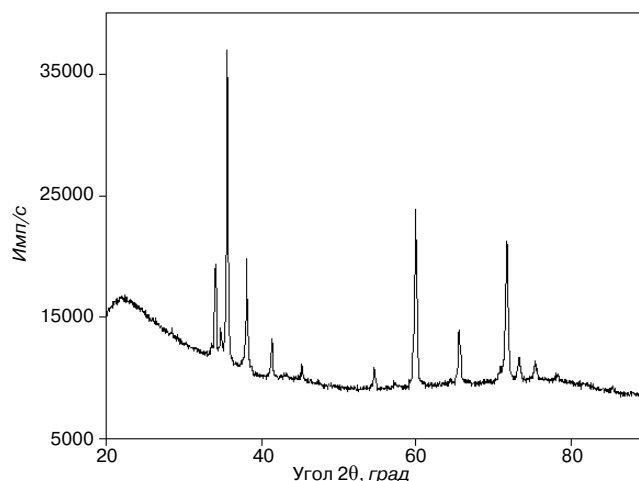


Рис. 3. Дифракционный спектр порошка-наполнителя FRONT-VIP

В работе [12] отмечается, что минеральные порошки на основе диоксида кремния являются полупрозрачными для электромагнитного излучения в диапазоне длин волн ~4–8 мкм. Для уменьшения теплопроводности такого рода материалов в их состав вводят добавки – небольшое количество карбида кремния, оксида титана и др. Рентгеноструктурные исследования показали, что порошок-наполнитель вакуумной изоляционной панели FRONT-VIP имеет в своем составе поглотитель ИК-излучения в виде карбида кремния. В конденсированном микрокремнеземе также присутствует карбид кремния. Интенсивности отражений этого материала значительно ниже, чем у порошка FRONT-VIP. Его происхождение связано с технологией получения конденсированного микрокремнезема.

Оксидный состав всех микрокремнеземов определен методом рентгеновской флуоресценции. Результаты представлены в табл. 1. Природные и искусственные минеральные порошки имеют сложный оксидный состав, в котором преобладает аморфный диоксид кремния. В диатомитах заметно представлены Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MgO, CaO и TiO₂. Искусственные микрокремнеземы имеют значительно меньшее количество примесей. Наиболее «чистыми» следует считать белую сажу и порошок FRONT-VIP. В силу особенностей технологического процесса очистки газов плавильных печей формируется оксидный состав конденсированного микрокремнезема. Дисперсный микрокремнезем имеет в своем составе лишь доли процента примесей. В целом все дисперсные порошки имеют оксидный состав, позволяющий считать их высококремнистыми материалами, свойства которых в основном определяются строением аморфных частиц диоксида кремния.

С целью сравнения структурных характеристик природных и искусственных микрокремнеземов, выявления особенностей наноструктурированного порового пространства, фрактальных размерностей частиц и поверхностностей раздела твердое тело – поры проведено их исследование методом малоуглового рентгеновского рассеяния [13]. Этот метод позволяет изучать аморфные неупо-

Таблица 3

Угол дифракции, 2θ, град.	36,6	41,37	59,94	71,71	75,35	89,9
Межплоскостное расстояние d, Å	2,52	2,18	1,54	1,31	1,26	1,08
Относительные интенсивности рефлексов SiC, I/I ₀	100	12	58	46	5	6

Таблица 4

Вид порошка		Масштаб неоднородностей, нм	α^*	D^*	D_S^*	Характеристика фрактала
Микрокремнезем	FRONT-VIP	50–30	3,39		2,61	Фрактальная поверхность
		30–20	3		3	Абсолютно шероховатая поверхность
		20–15	2,73	2,73		Массовый фрактал
		15–10	2,61	2,61		Массовый фрактал
		10–5	2,76	2,76		Массовый фрактал
		5–3	3	3		Массовый фрактал (однородный шар)
	Дисперсный	45–38	2,86	2,86		Массовый фрактал
		29–12	2	2		Массовый фрактал (сплюснутая частица)
		8–4	3,39		2,61	Фрактальная поверхность
	Конденсированный	54–40	4		2	Гладкая поверхность
		38–5	3,52		2,48	Фрактальная поверхность
	Белая сажа	50–30	2,32	2,32		Массовый фрактал
		30–20	2,7	2,7		Массовый фрактал
		20–15	3	3		Массовый фрактал (однородный шар)
		15–10	3,48		2,52	Фрактальная поверхность
10–5		4			Частицы с гладкой поверхностью	
Диатомит	Атемарский	50–30	2,68	2,68		Массовый фрактал
		30–20	2,31	2,31		Массовый фрактал
		20–15	1,54	1,54		Цепочки из сфер
		15–10	1,72	1,72		Цепочки из сфер
		8–7	3,97		2,03	Фрактальная поверхность
	Никольский	50–30	2,54	2,54		Массовый фрактал
		30–20	2,05	2,05		Цилиндрические структуры
		20–15	1,21	1,21		Цепочки из сфер
		15–10	1,03	1,03		Вытянутые в линию цепочки сфер
		8–7	3,29		2,71	Фрактальная поверхность
	Инзенский	65–10	2,16	2,16		Массовый фрактал
		10–9	3	3		Массовый фрактал (однородный шар)

Примечание. * Параметр α определяется углом наклона участка прямой зависимости $\log(l(s))-\log(s)$; $D=\alpha$ – фрактальная размерность массового фрактала; $D_S=6-\alpha$ – фрактальная размерность рассеивающей поверхности (границы раздела неоднородностей).

рядоченные структуры за счет рассеяния рентгеновского излучения (или потока нейтронов) областями образца с различной электронной плотностью. При этом удается зарегистрировать флуктуации электронной плотности объектов с размерами $\sim 3-100$ нм (при использовании CuK_α -излучения). Анализ индикатрис рассеяния позволил отнести исследуемые микрокремнеземы к полидисперсным системам – рассеяние происходит на неоднородностях различных линейных масштабов. Высокие значения интенсивностей рассеяния обусловлены взаимодействием электромагнитного излучения с границами резко отличающихся по электронной плотности локальными областями аморфных частиц – порами, кластерами пор, поровыми каналами и твердой матрицей. С помощью пакета программ [14, 15] рассчитаны зависимости интенсивности рассеяния от вектора рассеяния [13] в двойных логарифмических координатах. Детальный анализ этих кривых позволил установить, что структурные неоднородности дисперсных частиц порошков рассеивают рентгеновское излучение как фрактальные образования – массовые (или объемные) фракталы и фрактальные поверхности. Результаты мультифрактального анализа сведены в табл. 4.

Из данных табл. 4 видно, что порошок-наполнитель FRONT-VIP демонстрирует широкое структурное разнообразие рассеивающих неоднородностей. Наиболее мелкомасштабные из них ведут себя как однородные сферические образования. Неоднородности масштаба 5–20 нм представляют собой массовые фракталы – рыхлые кластеры с фрактальными размерностями $D \sim 2,61-2,76$. Более крупные агрегаты $\sim 20-50$ нм имеют шероховатую, пористую поверхность с рваной структурой ($D_S=2,61$ и 3) [16]. По параметрам дефектной структуры к порошку FRONT-VIP приближается белая сажа, а дисперсный и конденсированный микрокремнеземы состоят из более однородных частиц аморфного диоксида кремния. Характерной особенностью поровой системы природных диатомитов можно считать наличие каналов, которые проявляют себя как неоднородности, состоящие из цепочек сфер, от практически прямолинейных ($D=1,03$ – никольский диатомит) до сильно изогнутых ($D=1,54$ и $1,72$ – атемарский диатомит). Такие неоднородности нанометровых размеров наряду с микрометровыми сквозными каналами (рис. 1) диатомитовых створок формируют аморфные структуры с большой удельной поверхностью и низкой теплопроводностью.

Таблица 5

Показатели	Единица измерения	Значения	
		NANOPOR-VIP	DIATOMIT-VIP
Теплопроводность	Вт/(м·К)	0,018	0,002–0,02
Давление	кПа	1	1
Стабильность размеров	%	<1	
Допуск длины и ширины	мм	±2	±2
Допуск по толщине	мм	±0,5	±0,5
Огнестойкость		A1	A1
Плотность	кг/м ³	180–250	150–300
Стоимость (относительная)	%	100	50–80
Размеры в плане	мм	(200–600)×(600–1200)	(200–500)×(500–1500)
Толщина	мм	10–30	10–50

стью. В инзенском диатомите не зафиксированы неоднородности с фрактальными размерностями $1 < D < 2$, т. е. отсутствуют поровые каналы в виде цепочек сфер. Возможно, это месторождения, которые формировались в иных условиях, чем другие диатомиты.

Выводы. Результаты проведенных комплексных исследований природных и искусственных микрокремнезёмов позволяют считать их в той или иной мере соответствующими требованиям, предъявляемым к порошкам-наполнителям сердцевин вакуумных изоляционных панелей. Линейные размеры частиц дисперсных материалов таковы, что в процессе уплотнения панели будет формироваться поровая структура микро- и нанометровых масштабов. Минимальное количество конденсированной воды имеют порошок FRONT-VIP и конденсированный микрокремнезём (табл. 2). Остальные порошки должны быть подвержены термической обработке с целью удаления из микро- и мезопор остатков органических отложений, влаги, примесей и т. д. Рекомендуемая температура отжига ~900°C. Инфракрасные спектры всех исследованных материалов идентичны – механизм взаимодействия молекул воды с поверхностью частиц аморфного диоксида кремния одинаков. Рентгеноструктурный анализ подтвердил близость фазового состава микрокремнезёмов и диатомитов, в основном состоящих из аморфных частиц. По оксидному составу наиболее «чистым» материалом следует считать порошок FRONT-VIP. Белая сажа и дисперсный микрокремнезём по этому показателю наиболее близки к выбранному для сравнения эталону (FRONT-VIP). Конденсированный микрокремнезём и особенно природные диатомиты имеют заметно большее количество примесей, меньшее содержание диоксида кремния, что может негативно сказаться на эффективной теплопроводности этих дисперсных систем. После определенной модификации – очистки от примесей, обогащения аморфным диоксидом кремния, сушки, прокаливания данные дисперсные материалы могут стать пригодными для использования в наполнителях ВИП. Примером успешной модификации природного диатомита Атемарского месторождения является дисперсный микрокремнезём, полученный из названного диатомита [7].

Метод малоуглового рентгеновского рассеяния позволил установить наличие в частицах всех изученных природных и искусственных кремнезёмов неоднородностей нанометровых размеров. Эталонный материал (FRONT-VIP) и белая сажа имеют близкие характеристики массовых фракталов и фрактальных поверхностей раздела частица – поры. Более однородную наноструктуру имеют частицы дисперсного и конденсиро-

ванного микрокремнезёмов. Особенностью природных диатомитов является наличие поровых каналов нанометровых размеров.

Таким образом, исследованные микрокремнезёмы и природные диатомиты (в меньшей степени) по своим свойствам и параметрам тонкой структуры достаточно близки к эталонному порошку-наполнителю вакуумных изоляционных панелей FRONT-VIP.

Практическое использование результатов исследований. Результаты всесторонних исследований дисперсных кремнезёмов учитывались при разработке и изготовлении опытных образцов вакуумных изоляционных панелей. В качестве наполнителя сердцевин такой панели были выбраны белая сажа и дисперсный микрокремнезём, полученный из природного диатомита, так как они полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к наполнителям ВИП. В качестве специальных добавок использовано небольшое количество минерального волокна – для придания большей жесткости сердцевине изоляционной панели, а также мелкодисперсного порошка TiO_2 в качестве инфракрасного замутнителя. Дозированное количество порошка-наполнителя, диоксида титана и армирующих волокон перемешивалось, после чего полученная смесь засыпалась в формы и прессовалась до плотности ~150–300 кг/м³. Готовые плитки помещались в воздухо-непроницаемые оболочки и отправлялись в вакуумную упаковочную машину Henkelman Polar 52. После вакуумирования оболочка изделия запаивалась по торцам. Измерение эффективной теплопроводности разработанной авторами вакуумной изоляционной панели проведено методом стационарного теплового потока (<http://ais.by/story/12315>) с применением измерителя теплового потока ИПП-2. При относительно неглубоком вакууме (~1 кПа) эффективная теплопроводность опытных образцов ВИП составила 0,002–0,02 Вт/(м·К). Технические характеристики предлагаемых авторами панелей DIATOMIT-VIP, а также зарубежных теплоизоляционных панелей NANOPOR-VIP представлены в табл. 5.

Полученные результаты испытаний дают основания считать, что для изготовления ВИП можно использовать не только промышленно выпускаемый порошок белая сажа, но и менее дорогие минеральные дисперсии на основе местного ископаемого сырья, например дисперсного микрокремнезёма, получаемого из диатомита Атемарского месторождения, и даже самого диатомита при условии его предварительной подготовки.

Заключение. Дисперсные микрокремнезёмы, произведённые в России, пригодны для изготовления вакуумных изоляционных панелей. Использование мест-

ного минерального сырья Республики Мордовия, в перспективе, может стать основой производства ВИП высокого качества с низкой себестоимостью. Для решения этой задачи необходимо проведение комплекс-

ных исследований и опытно-конструкторских изысканий с целью получения дешевых компонентов порошка-наполнителя ВИП из диатомитов и других ископаемых пород.

Список литературы

1. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Справочная книга. Л.: Энергия, 1974. 264 с.
2. Селяев В.П., Осипов А.К., Неверов В.А., Маштаев О.Г., Сидоров В.В. Полиструктурная модель теплопроводности материала на основе дисперсного микрокремнезема // *Региональная архитектура и строительство*. 2012. Т. 2 (13). С. 5–11.
3. Бардаханов С., Зарьялов А., Зобов К., Лысенко В. Определение коэффициента теплопроводности нанопорошков диоксида кремния // *Наноиндустрия*. 2008. № 5. С. 24–26.
4. Гладков С.О. Газокинетическая модель теплопроводности гетерогенных веществ // *Журнал технической физики*. 2008. № 7. С. 12–15.
5. Селяев В.П., Осипов А.К., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И., Маштаев О.Г., Сидоров В.В. Теплоизоляционные свойства материалов на основе тонкодисперсных минеральных порошков // *Строительные материалы*. 2013. № 1. С. 61–63.
6. Селяев В.П., Неверов В.А., Маштаев О.Г., Сидоров В.В. Микроструктура теплоизоляционных материалов на основе тонкодисперсных минеральных порошков // *Строительные материалы*. 2013. № 8. С. 79–80.
7. Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И., Колотушкин А.В., Сидоров В.В. Микроструктура перспективных теплоизоляционных материалов на основе диатомитов Среднего Поволжья // *Региональная архитектура и строительство*. 2013. Т. 1 (15). С. 12–17.
8. Selyaev V.P., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I., Osipov A.K., Udina O.A. Diatomite Middle Volga. Structure and properties // *Science, Technology and Higher Education April 17th*, 2013. Westwood, Canada. Vol. II, pp. 218–227.
9. Королев Л.В., Лупанов А.П., Придатко Ю.М. Плотная упаковка полидисперсных частиц в композитных строительных материалах // *Современные проблемы науки и образования*. 2007. № 6. С. 109–114.
10. Камашев Д.В. Влияние условий синтеза аморфного кремнезема на морфологию частиц. *Материалы III Международного минералогического семинара «Новые идеи и концепции в минералогии»*. Сыктывкар, 2002. С. 185–186.
11. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М.: Гос. Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1961. 864 с.
12. Васильев Л.Л., Танаева С.А. Теплофизические свойства пористых материалов. Минск: Наука и техника, 1971. 265 с.
13. Свергун Д.И., Фейгин Л.А. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние. М.: Наука, 1986. 280 с.
14. Svergun D.I., Semenyuk A.V., Feigin L.A. Small-angle-scattering-data treatment by the regularization method. *Acta Crystallographica*. 1988. A 44, pp. 244–250.
15. Svergun D.I. Determination of the regularization parameter in indirect-transform methods using perceptual criteria. *Journal of Applied Physics*. 1992. Vol. 25, pp. 495–503.
16. Смирнов Б.М. Фрактальный клубок — новое состояние вещества // *Успехи физических наук*. 1991. № 8. С. 141–153.

References

1. Dul'nev G.N., Zarichnyak Yu.P. *Teploprovodnost' smesei i kompozitsionnykh materialov* [Thermal conductivity of composite materials and mixtures thereof]. Spravochnaya kniga. Leningrad: Energiya. 1974. 264 p.
2. Selyaev V.P., Osipov A.K., Neverov V.A., Mashtaev O.G., Sidorov V.V. Polystructural model the thermal conductivity of the material on the basis of particulate fume. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2012. Vol. 2(13), pp. 5–11. (In Russian).
3. Bardakhanov S., Zar'yalov A., Zobov K., Lysenko V. Determination of the coefficient of thermal conductivity nano-silica. *Nanoindustriya*. 2008. No. 5, pp. 24–26. (In Russian).
4. Gladkov S.O. Gas-kinetic model of the thermal conductivity of heterogeneous substances. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*. 2008. No. 7, pp. 12–15. (In Russian).
5. Selyaev V.P., Osipov A.K., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I., Mashtaev O.G., Sidorov V.V. Heat insulation properties of materials on the basis of fine dispersed mineral powders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 1, pp. 61–63. (In Russian).
6. Selyaev V.P., Neverov V.A., Mashtaev O.G., Sidorov V.V. Microstructure of heat insulation materials on the basis of fine-dispersed mineral powders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 8, pp. 79–80. (In Russian).
7. Selyaev V.P., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I., Kolotushkin A.V., Sidorov V.V. Microstructure promising heat-insulating materials based on diatomite of the Middle Volga. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2011. Vol. 1 (15), pp. 12–17. (In Russian).
8. Selyaev V.P., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I., Osipov A.K., Udina O.A. Diatomite Middle Volga. Structure and properties. *Science, Technology and Higher Education April 17th*, 2013. Westwood, Canada. Vol. II. 2013, pp. 218–227.
9. Korolev L.V., Lupanov A.P., Pridatko Yu.M. Dense packing of polydisperse particles in composite building materials. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2007. No. 6, pp. 109–114. (In Russian).
10. Kamashhev D.V. Influence of synthesis conditions on the morphology of amorphous silica particles. *Proceedings of the III International Mineralogical seminar «New ideas and concepts in mineralogy»* Syktyvkar. 2002, pp. 185–186. (In Russian).
11. Mirkin L.I. *Spravochnik po rentgenostrukturnomu analizu polikristallov* [Handbook of X-ray analysis of polycrystalline]. Moscow: State Publishing house of physical and mathematical literature. 1961. 864 p.
12. Vasil'ev L.L., Tanaeva S.A. *Teplofizicheskie svoystva poristyykh materialov* [Thermophysical properties of porous materials]. Minsk: Nauka i tekhnika. 1971. 265 p.
13. Svergun D.I., Feigin L.A. *Rentgenovskoe i neitronnoe malouglovoe rasseyaniye* [X-ray and neutron small-angle scattering]. Moscow: Nauka. 1986. 280 p.
14. Svergun D.I., Semenyuk A.V., Feigin L.A. Small-angle-scattering-data treatment by the regularization method. *Acta Crystallographica*. 1988. A 44, pp. 244–250.
15. Svergun D.I. Determination of the regularization parameter in indirect-transform methods using perceptual criteria. *Journal of Applied Physics*. 1992. Vol. 25, pp. 495–503.
16. Smirnov B.M. Fractal tangle — new state of matter. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 1991. No. 8, pp. 141–153. (In Russian).

В.С. ГРЫЗЛОВ¹, д-р техн. наук (gryvs@mail.ru), А.И. ФОМЕНКО¹, д-р техн. наук, Н.М. ФЕДОРЧУК¹, канд. техн. наук, Н.С. БУСЫГИН¹, инженер, Х.Х. ТУРГУМБАЕВА², д-р техн. наук, Т.И. БЕЙСЕKOVA², канд. техн. наук, И.З. ЛАПШИНА², канд. хим. наук

¹ Череповецкий государственный университет (162600, г. Череповец, ул. Луначарского, 5)

² Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева (050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а)

Электротермофосфорные шлаки как основа вяжущих композитов

Представлены результаты исследований композиционных вяжущих на основе электротермофосфорных шлаков Новоджамбулского фосфорного завода ТОО «Казфосфат». Установлено, что химический состав шлаков не зависит от времени года и места отбора проб. Показана целесообразность практического использования данных шлаков при производстве малоклинкерных вяжущих, обладающих сравнительно низкой теплопроводностью и высокой жаростойкостью. На основе детального изучения минералогического состава вяжущих с использованием электротермофосфорных шлаков методом рентгеноструктурного анализа при поэтапной тепловой обработке сделан вывод о возможности их применения в бетонах и растворах специального назначения.

Ключевые слова: электротермофосфорные шлаки, малоклинкерное вяжущее, рентгеноструктурный анализ, теплопроводность, жаростойкость.

V.S. GRYZLOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (gryvs@mail.ru), A.I. FOMENKO¹, Doctor of Sciences (Engineering),

N.M. FEDORCHUK¹, Candidate of Sciences (Engineering), N.S. BUSYGIN¹, Engineer, Kh.Kh. TURGUMBAEVA², Doctor of Sciences (Engineering),

T.I. BEYSEKOVA², Candidate of Sciences (Engineering), I.Z. LAPSHINA², Candidate of Sciences (Chemistry)

¹ Cherepovets State University (5, Lunacharsky Prospect, Cherepovets, 162600, Vologda Region, Russian Federation)

² Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev (22a, Satpaev Street, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan)

Electrothermophosphoric Slags as a Basis of Binding Composites

Results of the study of composite binders on the basis of electrothermophosphoric slags of Novodzhambul Phosphorous Plant of "Kazphosphate" LLC are presented. It is established that the chemical composition of slags doesn't depend on the time of year and the place of sample taking. The feasibility of practical using these slags for producing low-clinker binders with a relatively low heat conductivity and high heat resistance is shown. On the basis of a detailed study of the mineralogical composition of binders with the use of phosphoric slag by the X-ray diffraction method in the course of stage-by-stage heat treatment, the conclusion about the possibility of their use in concretes and mortars for special purposes is made.

Keywords: electrothermophosphoric slags, low-clinker binder, X-ray diffraction method, heat conductivity, heat resistance.

Многочисленные исследования, проведенные учеными еще в 1980-е гг. (Горшков В.С., Александров С.Е., Ивашенко С.И., Горшкова И.В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков. М.: Стройиздат, 1985. 272 с.), позволили установить возможность использования электротермофосфорных шлаков в качестве активных добавок для производства вяжущих различного назначения [1–4]. Практическая реализация этих исследований нашла отражение в нормативных государственных документах РФ и Казахстана (ГОСТ 3476–74 «Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цемента»; СТ РК 935–92 «Шлаки электротермофосфорные гранулированные для производства цемента. Технические условия»). В настоящее время объемы использования данных шлаков для получения продуктов строительного назначения не превышают 30% от образующихся в производстве. Проблема вовлечения в народное хозяйство шлаков по-прежнему остается актуальной задачей. Пригодность техногенных сырьевых материалов для использования в производстве строительных материалов устанавливается на основании всестороннего изучения их химического и фазово-минералогического составов.

Электротермофосфорные шлаки в гранулированном виде на 95–98% находятся в структурно-аморфном состоянии. Их химический состав достаточно постоянен, что обусловлено практически одинаковыми составом исходного сырья и технологиями соответствующих производств на предприятиях. Содержание основных оксидов находится в следующих пределах, мас. %: SiO₂ 40–43; Al₂O₃ 1–3; Fe₂O₃ 0,4–1; MgO 3–4; SO₃ 0,2–1,4; P₂O₅ 0,9–3; F 2–3.

Исследования электротермофосфорных шлаков Новоджамбулского фосфорного завода (НДФЗ) ТОО «Казфосфат», работающего на базе фосфатного сырья

Каратау (Республика Казахстан), включали определение химического и минералогического составов проб шлака, отобранных на предприятии в осеннее-зимний период 2013–2014 гг.; оценку их гидравлической активности по системе модулей и величинам коэффициентов качества (КК) и насыщения (КН); предварительную оценку устойчивости шлаков к распаду. Количественный химический анализ состава шлака выполнен по нормативным методикам с использованием гравиметрического, спектрофотометрического, потенциометрического, комплексометрического, титриметрического методов анализа.

Минералогический состав шлаков исследован по данным рентгеноструктурного анализа, выполненного на компьютеризированном дифрактометре класса ДРОН в излучении Со-К. Для получения дифрактограмм образцы готовились набивкой порошка в стандартную кювету с предварительным истиранием проб в агатовой ступке. Идентификация фаз на дифрактограммах проведена с использованием базы данных JCPDS и компьютерных программ высокого уровня.

Данные химического состава исследованных проб шлака и основные количественные критерии, характеризующие их свойства, приведены в табл. 1, 2. Анализ полученных результатов показал, что при отборе проб в разное время года и в разных местах химический состав шлака не меняется, что подтверждает однородность материала. По химическому составу пробы в основном соответствуют ориентировочным требованиям, предъявляемым ГОСТ 3476–74 к химическому составу электротермофосфорных гранулированных шлаков, применяемых в качестве компонента шихты при производстве цемента: содержание SiO₂ не менее 38 мас. %; суммы основных оксидов СаО и MgO не менее 43 мас. %; P₂O₅ не более 2,5 мас. %. Значения модуля основности M₀ со-

Таблица 1

Химический состав проб шлака

Материал, время отбора	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	ППП
Гранулированный шлак НДФЗ, осень 2013 г.	40,5	40,46	6,94	8,69	0,85	0,3	1,49	0,51	0,09
Гранулированный шлак НДФЗ, зима 2014 г.	40,64	41,22	6,63	8,54	0,25	0,45	1,15	0,75	0,37
Гранулированный шлак НДФЗ, весна 2014 г.	36,81	42,32	6,94	9,6	0,84	0,29	2,38	0,44	0,38
Литой шлак	39,93	40,75	2,35	7,9	0,75	0,12	1,42	0,7	60

Таблица 2

Количественные критерии, характеризующие свойства шлаков

Материал	Критерий оценки, среднее значение							
	Модуль основности M ₀	Коэффициент качества K _к	Коэффициент насыщения K _н	Гидравлический модуль M _{гидр}	Глиноземный модуль M _{гл}	Силикатный модуль M _с	SiO ₂ / (CaO + Al ₂ O ₃)	0,92 SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + 0,2 MgO
Гранулированный шлак НДФЗ	1,02	1,47	0,25	0,87	12,93	4,01	0,76	46,22
Литой шлак	0,9	1,14	0,25	0,84	10,53	4,62	0,82	44,31

Таблица 3

Рентгеноструктурный анализ проб шлака

Наименование материала	Рентгенограммы проб. Излучение Co-K	Описание материала проб
Гранулированный шлак НДФЗ		<p>Материал пробы находится в аморфном состоянии. Дифракционные рефлексы – диффузионное гало. В излучении Co-K угловой интервал гало – 2θ (29–420) с max при 2θ=34,0. Наблюдаемое отражение d=4,92 Å идентифицировано как портландит Ca(OH)₂</p>
Литой шлак		<p>Материал пробы представляет полифазную смесь с наложением дифракционных рефлексов. Можно интерпретировать рефлексы, принадлежащие минералам Ca SiO₃ (JCPDS F 3-1068); Mg SiO₃ – клиноэнстатит (группа пироксенов); Ca₅(PO₄)₃F – апатит; Fe₂ SiO₄ – фаялит. Минералы группы хлоритов (анезит, клинохлор, шамозит) характеризуются отражениями d = 7; 3,52</p>

Физико-механические свойства вяжущего на основе электротермофосфорного шлака

№ п/п	Состав при Ш/Ц = 9/1	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч - мин		Плотность, кг/м ³	Прочность в возрасте 28 сут, МПа		Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, Вт/(м·°С)
			начало	конец		при изгибе	при сжатии	
1	Граншлак НДФЗ ПЦ400Д20 / вода	27	2-23	8-42	1720	3,73	20,31	0,27
2	Литой ПЦ400Д20 / вода	25,4	2-11	8-23	1950	2,67	18,45	0,33
3	Граншлак НДФЗ ПЦ400Д20 / щелочной раствор	26,5	1-43	7-24	1770	4,76	23,67	0,22
4	Литой ПЦ400Д20 / щелочной раствор	24,7	1-35	7-18	2025	2,78	19,64	0,31

ответствуют оптимальным значениям. Коэффициент качества КК исследованных шлаков определяется значениями в рекомендуемом пределе. По величинам глиноземного $M_{гг}$ и силикатного M_c модулей можно судить о возможности использования шлаков в качестве сырьевого глинистого компонента для производства сульфатостойкого цементного клинкера или в качестве компонента жаростойких вяжущих.

Величины коэффициента насыщения КН и гидравлического модуля $M_{гидр}$ несколько ниже рекомендуемых пределов. Содержание SO_3 не превышает допустимого норматива (1 мас. %). Для всех проб шлаков содержание SiO_2 меньше суммы $(CaO+MgO)$, что характерно для состава портландцемента. Однако сумма $(CaO+Fe_2O_3)$ в пробах шлака занижена, что свидетельствует о необходимости корректировки состава шихты карбонатным и железосодержащим компонентами перед ее подачей в технологический процесс для получения цементного клинкера традиционного состава.

Для рассмотренных шлаков массовые соотношения отдельных оксидов отвечают соотношению $CaO < 0,92 SiO_2 + Al_2O_3 + 0,2 MgO$, что определяет возможность их применения в качестве шлаковых щебней, твердых минеральных наполнителей бетона, каменного лития и других каменных материалов. По фазово-минералогическому составу практически исключена возможность их силикатного, известкового или магнезиального распада. В исследованных образцах шлака с помощью РФА не установлено наличия фаз свободных оксидов CaO и MgO , минерала $2CaOSiO_2$ в количествах превышающих 35 мас. %. Результаты рентгеноструктурного анализа образцов гранулированного и литого шлаков приведены в табл. 3.

В нормальных температурных условиях шлак электротермофосфорного производства не обладает вяжущими свойствами, также незначительна его прочность в условиях пропаривания. Однако фосфорные шлаки хорошо активизируются щелочными возбудителями, в связи с чем их используют в производстве шлакощелочных вяжущих.

Исследовалась возможность комплексной активизации тонкомолотого электротермофосфорного шлака небольшими добавками цемента и щелочного раствора. Помол шлака осуществлялся до удельной поверхности $380 \text{ м}^2/\text{кг}$. В качестве активизаторов использовались портландцемент ПЦ400Д20 Пикалевского цементного завода и щелочной раствор $NaOH$ плотностью $1190 \text{ кг}/\text{м}^3$. Предварительные испытания позволили выявить рациональное соотношение шлак/цемент в массовых долях, равное 9/1. Все последующие испытания проводились при этом соотношении. Результаты испытаний полученных вяжущих приведены в табл. 4.

Подтвердилась низкая теплопроводность данных составов вяжущего, что хорошо согласуется с ранее прове-

денными исследованиями [5]. Это позволяет рекомендовать электротермофосфорный шлак к широкому использованию для изготовления специальных низкотеплопроводных вяжущих.

Одним из важнейших свойств вяжущего является отношение затвердевшего цементного камня к воздействию высоких температур. Процесс нагревания цементного камня сопровождается фазовыми превращениями, испарением воды из кристаллогидратов, снижением прочности. По степени снижения прочности судят о жаростойкости вяжущего. Для оценки жаростойких свойств вяжущего проводились испытания на образцах-балочках, изготовленных из теста нормальной густоты. После твердения в нормальных условиях образцы подвергались сушке и последующему температурному воздействию (рис. 1).

Установлено, что остаточная прочность образцов выше 30%, следовательно, их можно рекомендовать для использования в жаростойких бетонах класса не выше И8 по предельно допустимой температуре и марке по термостойкости Т120 согласно ГОСТ 20910-90 «Бетоны жаростойкие. Технические условия». Следует отметить, что образцы с комплексным активизатором (3, 4) имели более высокую остаточную прочность и заметную тенденцию ее прироста в интервале температур 200-600°С. Рентгеноструктурный анализ позволил получить объяснение установленному явлению (рис. 2)

На рентгенограммах вяжущих с использованием литого шлака фиксируется только рефлекс в виде дифракционного гало - 2θ (32-370) с тах при $2\theta=340$. Интенсивность рассеяния x-гау излучения материалом проб очень низкая - \approx (30-10) импульсов. Для состава № 1 этот критерий \approx (250-20) импульсов. Однако такая же низкая интенсивность рассеяния наблюдалась для этого состава после обжига при 800°С. Интегральная площадь дифракционного гало для отдельных режимов различная. В частности, после обжига проб выше 260°С

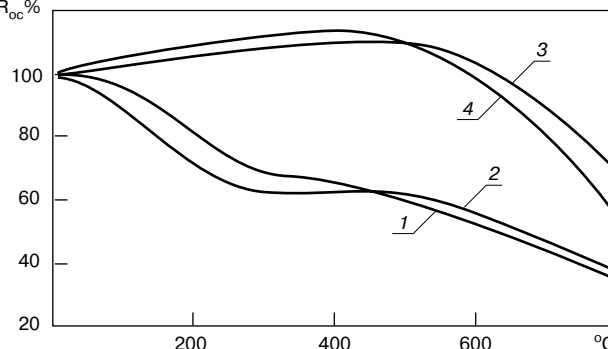


Рис. 1. Относительные изменения остаточной прочности в процессе обжига образцов вяжущего

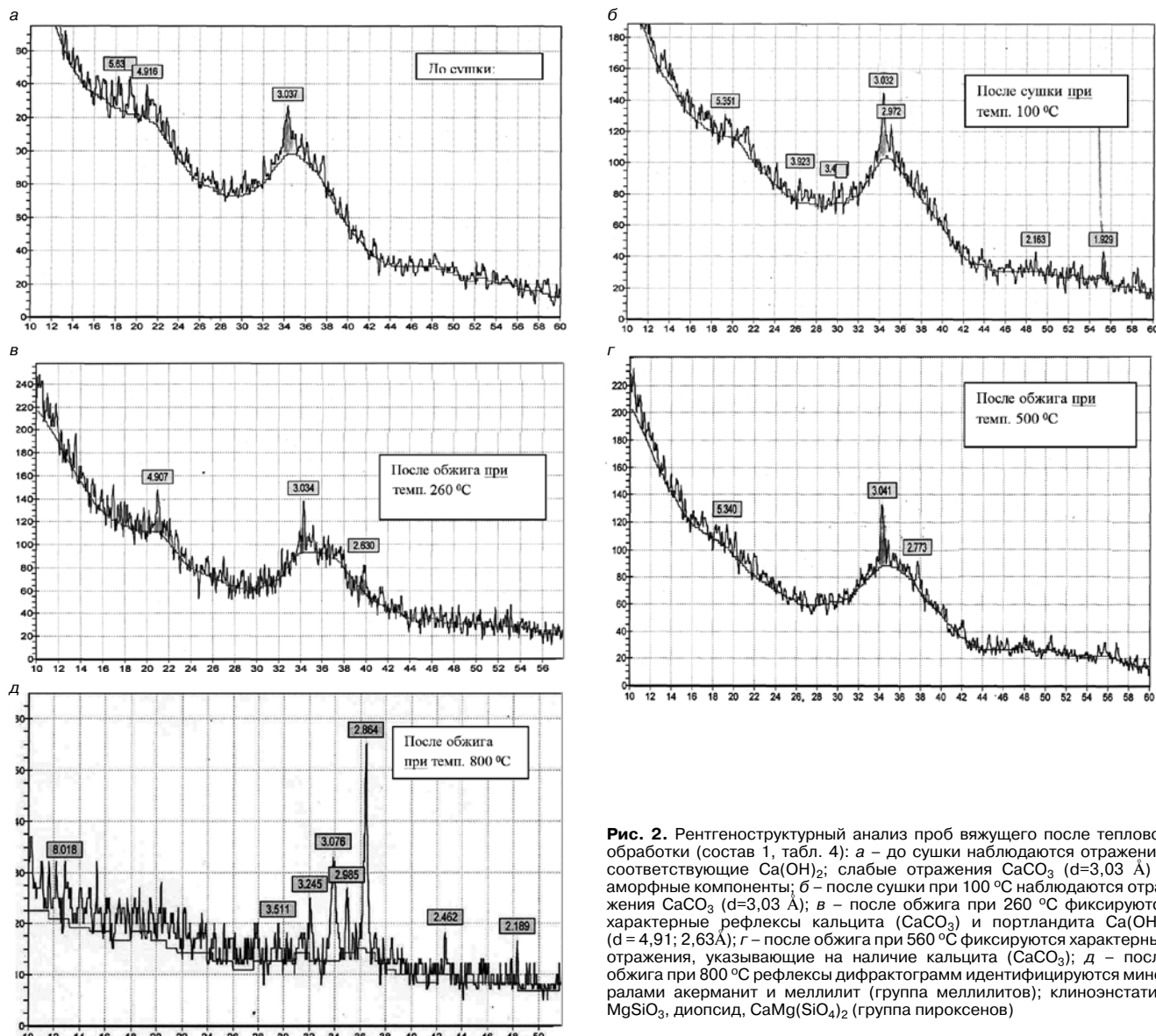


Рис. 2. Рентгеноструктурный анализ проб вяжущего после тепловой обработки (состав 1, табл. 4): а – до сушки наблюдаются отражения, соответствующие $\text{Ca}(\text{OH})_2$; слабые отражения CaCO_3 ($d=3,03 \text{ \AA}$) и аморфные компоненты; б – после сушки при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдаются отражения CaCO_3 ($d=3,03 \text{ \AA}$); в – после обжига при $260 \text{ }^\circ\text{C}$ фиксируются характерные рефлексы кальцита (CaCO_3) и портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($d = 4,91; 2,63 \text{ \AA}$); г – после обжига при $500 \text{ }^\circ\text{C}$ фиксируются характерные отражения, указывающие на наличие кальцита (CaCO_3); д – после обжига при $800 \text{ }^\circ\text{C}$ рефлексы дифрактограмм идентифицируются минералами акерманит и меллилит (группа меллилитов); клиноэнстатит, MgSiO_3 , диопсид, $\text{CaMg}(\text{SiO}_4)_2$ (группа пироксенов)

эта площадь системно уменьшается. Такой эффект косвенно указывает на возможность оценки прочности по этому показателю.

Выводы. Подтверждена целесообразность практического использования электротермофосфорных шлаков

Список литературы

1. Ильичев В.А., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 36–42.
2. Серсенбаев Б.К., Момышев Т.А., Исаков Т.У., Серсенбаев, Н.Б. Аубакирова, Т.С. Производство шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе // *Строительные материалы*. 2012. № 11. С. 56–58.
3. Артамонова А.В., Носов Г.И. Вяжущие вещества на основе шлаков электросталеплавильного производства // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 16–17.
4. Шляхова Е.А., Акопян А.Ф. Оценка границ применимости сырья для производства шлакощелочных вяжущих // *Строительные материалы*. 2010. № 11. С. 28–29.
5. Грызлов В.С. Формирование структуры шлакобетон. Lambert Academic Publishing Saarb Ucken Deutschland. 2012. 347 с.

НДФЗ при производстве малоклинкерных вяжущих. Данные вяжущие обладают сравнительно низкой теплопроводностью и высокой жаростойкостью, что обуславливает их применение в бетонах и растворах специального назначения.

References

1. V.N. Yarmakovskiy, N.I. KARPENKO, V.A. Il'ichev. About Development of Building Materials Production on the Basis of Secondary Industrial Products (SIPs). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No.4, pp. 36–42. (In Russian).
2. .K. Sarsenbaev, T.A. Momyshev, T.U. Iskakov, N.B. Sarsenbaev, T.S. Aubakirova. Production of Slag-Alkali Binders and Concretes on Their Base. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 11, pp. 56–58. (In Russian).
3. A.V. Artamonova, G.I. Nosov. Binding Agents on the Basis of Electric Furnace Steelmaking Slag. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 5, pp. 16–17. (In Russian).
4. E.A. Shlyakhova, A.F. Akopyan. Estimation of the Limits of Applicability of Raw Material for Production of Slag Alkali Binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 11, pp. 28–29. (In Russian).
5. Gryzlov V. S. Formirovanie struktury shlakobetonov [Structure formation Slag Concreat]. Lambert Academic Publishing Saarb Ucken Deutschland. 2012. 347 с.

Л.И. ЛЕОНТЬЕВ, д-р техн. наук, академик РАН, О.Ю. ШЕШУКОВ, д-р техн. наук (ferro1960@mail.ru), В.С. ЦЕПЕЛЕВ, д-р техн. наук, М.А. МИХЕЕНКОВ, канд. техн. наук, И.В. НЕКРАСОВ, канд. техн. наук, Д.К. ЕГИАЗАРЬЯН, инженер

Институт металлургии УрО РАН (620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 101)

Технологические особенности переработки сталеплавильных шлаков в строительные материалы и изделия*

Рассмотрены основные типы шлаков, образующихся в сталеплавильной отрасли, особенности их химического и минералогического состава. Описаны физико-химические условия образования шлаков. Показано, что в условиях окислительной плавки образуются шлаки, содержащие значительное количество оксидов железа и малое количество оксидов кальция, а в условиях восстановительной плавки образуются шлаки, содержащие значительное количество оксидов кальция и малое количество оксидов железа. Показаны особенности фазового строения шлаков. Приведен анализ существующих на настоящий момент способов переработки шлаков сталеплавильного производства и особенности переработки саморассыпающихся высококальциевых рафинировочных шлаков. Наиболее перспективным способом стабилизации саморассыпающихся шлаков является корректировка их фазового состава в момент плавки. Приведены результаты стабилизации шлаков подобным образом. Показана возможность придания вяжущих свойств шлакам путем смешивания разных типов жидких шлаков. Приведены результаты и описаны технологические особенности переработки сталеплавильных шлаков в строительные материалы и изделия.

Ключевые слова: шлак, фазовый состав, шлаковый щебень, минеральные вяжущие, плита перегородочная.

L.I. LEONT'EV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAS, O.Yu. SHESHUKOV, Doctor of Sciences (Engineering) (ferro1960@mail.ru), V.S. TSEPELEV, Doctor of Sciences (Engineering), M.A. MIKHEENKOV, Candidate of Sciences (Engineering), I.V. NEKRASOV, Candidate of Sciences (Engineering), D.K. EGIAZAR'YAN, Engineer
Institute of Metallurgy, Ural Division of the Russian Academy of Sciences (101, Amundsen Street, 620016, Yekaterinburg, Russian Federation)

Technological Features of Steelmaking Slag Processing in Building Materials and Products*

The main types of slag generated by the steel industry, features of their chemical and mineralogical compositions are considered. Physical-chemical conditions of the slag formation are described. It is shown that under conditions of the oxidizing melting the slag containing significant amounts of iron oxide and small amounts of calcium oxide is formed, but under conditions of reduction melting the slag containing significant amounts of calcium oxide and small amounts of iron oxide is formed. Features of the phase compositions of slag are shown. An analysis of now existing methods of processing of steelmaking slag and features of the processing of self-flaking, high-lime, refined slags are presented. The correction of the phase composition of self-flaking slag at the moment of melting is the most prospective methods of their stabilization. The results of such slag stabilization are presented. The possibility of giving binding properties to the slag by mixing of different types of liquid slag is shown. Results and technical features of the steelmaking slag processing in building materials and products are presented and described.

Keywords: slag, phase composition, slag crushed stone, mineral binders, partition plate.

В условиях современного сталеплавильного производства образуется два основных типа шлаков — шлаки окислительного рафинирования металла в дуговой сталеплавильной печи или кислородном конвертере (шлаки ДСП) и шлаки восстановительного рафинирования в агрегате ковш-печь (шлаки АКП). По химическому составу шлаки ДСП отличаются от шлаков АКП в основном по содержанию оксидов железа (таблица). В ДСП и конвертерах очистка стали от примесей осуществляется продувкой кислородом, в результате чего в шлак переходит значительное количество окисленного железа. В АКП в условиях восстановительной плавки осуществляется раскисление стали алюминий- и кремнийсодержащими сплавами, в результате которого оксиды железа, содержащиеся в шлаке, восстанавливаются и переходят в сталь.

Вследствие данных процессов химический состав шлака ДСП характеризуется значительным содержанием оксидов железа, а шлак АКП — большим содержанием оксидов кремния и алюминия при незначительном содержании оксидов железа. Общей характерной чертой обоих шлаков является значительное содержание в них периклаза MgO, попадающего в шлак вследствие разрушения футеровки плавильных агрегатов.

Для очистки стали от серы и фосфора в шлаки всех сталеплавильных переделов вводится большое количество извести, которая, вступая в реакцию с кислотными и амфотерными оксидами, содержащимися в шлаке, формирует в шлаках определенный минералогический состав.

На рис. 1 приведены данные качественного рентгенофазового анализа (РФА) сталеплавильных шлаков

Наименование шлака	Содержание оксидов, мас. %									M ₀	K _{акт}
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _n O _m	MgO	MnO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S		
Шлак ДСП	15	6,4	2,5	19,7	4,2	4,3	1,2	0,14	0,05	1,5	0,4
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	31,1	19,2	8	53,2	10,1	8,8	2,4	0,47	0,27	2,3	0,41
Шлак АКП	38,7	8,7	16,6	0,3	4,7	0,08	0,03	0,05	0,24	1,8	1,2
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	59,6	20,3	38,8	2,2	12,1	5,3	0,34	0,15	2,6	2,2	2,7

* Статья подготовлена в рамках выполнения работ по ГК 14.604.21.0097.

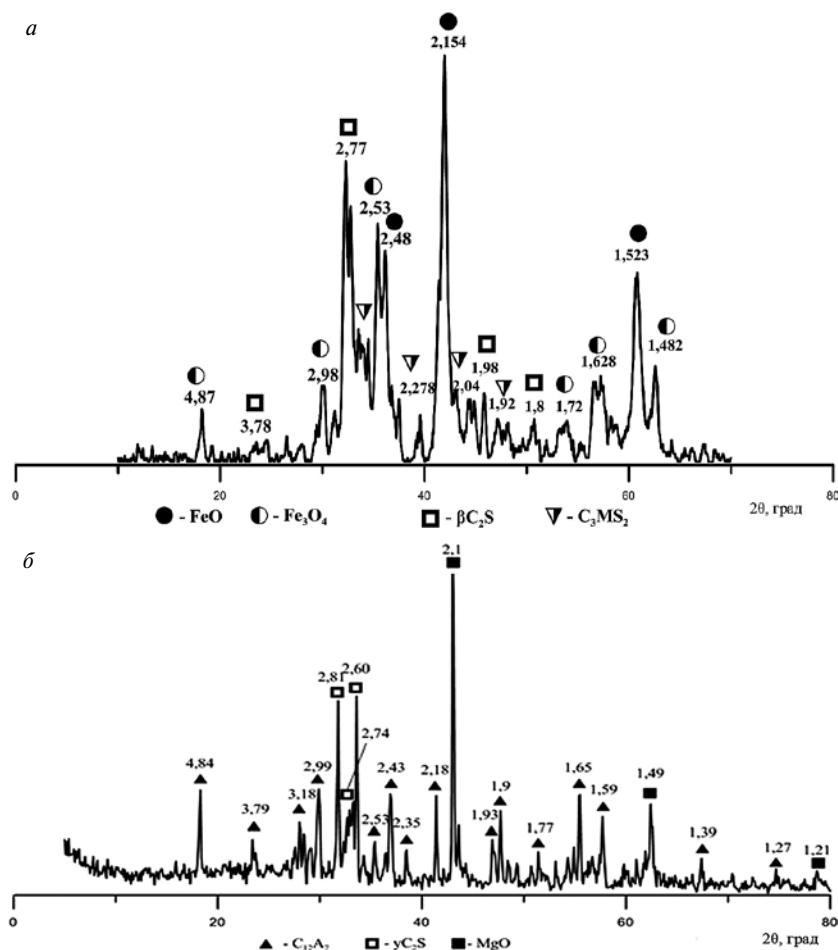


Рис. 1. Данные качественных РФА шлаков ДСП (а) и АКП (б)

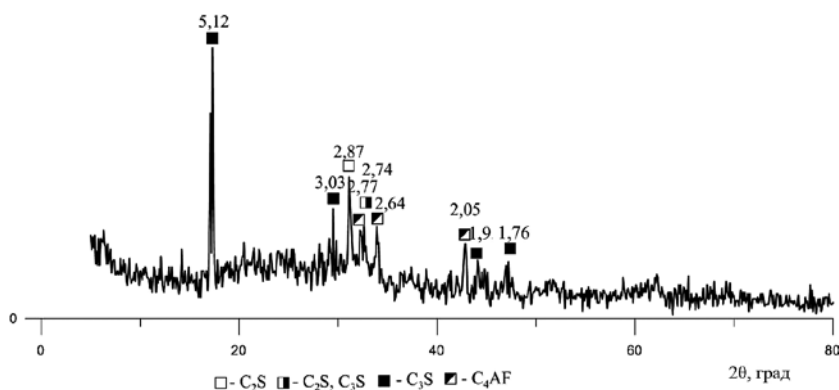


Рис. 3. РФА шлака, полученного смешиванием шлаков АКП и ДСП

ДСП и АКП, характеризующие минералогический состав шлаков.

По данным качественного РФА, в шлаке ДСП фиксируются вюстит FeO, магнетит Fe₃O₄, мервинит C₃MS₂ (3CaO·MgO·2SiO₂) и высокотемпературная модификация белита — ларнит β-C₂S, а в шлаке АКП присутствуют три основные фазы: майенит C₁₂A₇ (12CaO·7Al₂O₃), периклаз MgO и низкотемпературная модификация белита — шеннонит γ-C₂S (γ-2CaO·SiO₂). Фазовые составы, по данным полуколичественного анализа, мас. %: *шлака ДСП* — FeO 20,4; Fe₃O₄ 24,1; C₃MS₂ 15,9; β-C₂S 38,15; остальное — 1,45; *шлака АКП* — C₁₂A₇ 37,2; MgO 12,5; γ-C₂S 41,4; остальное — 8,9. Фазовый состав шлаков ДСП представлен стабильными кристаллическими фазами, не подверженными полиморфизму и силикатному распаду, вследствие чего они легко перераба-



Рис. 2. Куски шлака АКП, стабилизированного на шлаковый щебень

тываются в шлаковый щебень с использованием дробильно-сортировочных установок и барабанных агрегатов воздушной грануляции [1]. Фазовый состав шлаков определяет их физико-механические свойства и пригодность к дальнейшей переработке.

В соответствии с требованиями ГОСТ 5578 «Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия» содержание оксидов железа и марганца (FeO + MnO) в щебне и песке из сталеплавильных шлаков не должно превышать 3%, а содержание сульфидной серы — 1,5%. Эти ограничения связаны с возможностью железистого и сульфидного распада шлаков, содержащих значительные количества этих минералов. Если содержание вюстита FeO в шлаках ДСП превышает допустимые требования, то эти шлаки перерабатываются только на шлаковые щебень и песок для дорожного строительства. ГОСТ 3344 «Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия» регламентирует только основные физико-механические свойства шлакового щебня и не устанавливает жестких требований по химическому и фазовому составам.

Переработка шлаков АКП представляет более сложную задачу ввиду наличия в их составе значительного количества низкотемпературной модификации белита γ-C₂S — шеннонита, образующегося вследствие сложных полиморфных превращений высокотемпературных модификаций белита (α-C₂S, α'-C₂S и β-C₂S) при охлаждении шлака до 830°C, сопровождающихся увеличением объема и распадом шлака на пылевидные фракции.

Наличие значительного количества пылевидной фракции после распада шлаков АКП препятствует их массовой переработке в шлаковый щебень и вызывает загрязнение окружающей среды пылевыми выбросами на месте складирования этих шлаков. Для обеспечения массовой переработки шлаков АКП в мировой практике используют четыре основных метода [2]:

— стабилизация боратами, основанная на частичном замещении в структуре белита тетраэдров SiO₄⁴⁻ ионами BO₃³⁻, препятствующими трансформации β-C₂S в γ-C₂S при полиморфном превращении [3];

— неборатная стабилизация, основанная на изоморфном замещении ионов Ca²⁺ на Mg²⁺, K⁺, Ba²⁺,

Cr^{3+} , Mn^{2+} ; ионов SiO_4^{4-} — на SO_4^{2-} и PO_4^{3-} . Для стабилизации высокотемпературных модификаций $\alpha\text{-C}_2\text{S}$ и $\alpha'\text{-C}_2\text{S}$ используются оксиды MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , BaO , K_2O , P_2O_5 и Cr_2O_3 , а для стабилизации $\beta\text{-C}_2\text{S}$ — оксиды Na_2O , K_2O , BaO , MnO_2 , Cr_2O_3 или их комбинации [4];

— термическая стабилизация высокотемпературных модификаций белита их закалкой (резким охлаждением); в результате высокотемпературная модификация белита $\beta\text{-C}_2\text{S}$ — ларнит приобретает способность метастабильного существования, от комнатной температуры до $t \sim 700^\circ\text{C}$ [2];

— химическая стабилизация, основанная на управлении фазовым составом шлака введением в него химических соединений, обеспечивающих формирование фаз, не содержащих белита C_3S [3].

В [2] приведены результаты стабилизации в производственных условиях рассыпающихся шлаков АКП борсодержащими добавками и закалкой в установках барабанного типа. Указывается, что получен стабилизированный продукт, отвечающий требованиям ГОСТ 5578—94 «Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия». Полученный шлаковый щебень можно использовать в строительной индустрии.

Из-за дороговизны борсодержащих минералов стабилизация белита добавками, не содержащими бора, является перспективным направлением. Известно, что изоморфная емкость фазы белита в портландцементе в пересчете на оксиды составляет около 6 %. Количество добавок, стабилизирующих белит в технологии приготовления портландцемента, составляет, мас. %: 0,25 Cr_2O_3 ; 0,25 V_2O_5 ; 3 P_2O_5 ; 3 MnO ; 3 As_2O_5 . Не все указанные добавки пригодны для стабилизации белита в металлургической технологии из-за ограничений по содержанию в стали фосфора (P_2O_5) и токсичности (As_2O_5), но остальные вполне могут быть использованы для стабилизации шлака АКП. Изучается возможность использования и подбора наиболее дешевых добавок для стабилизации шлака АКП.

Указанные первые три способа направлены на стабилизацию только одной фазы шлака АКП — белита, который, как считается, является основной причиной распада шлака. Однако в условиях восстановительной рафинировочной плавки в АКП присутствует значительное количество FeO , ион Fe^{2+} которого может изоморфно замещать Ca^{2+} в структуре C_2S и стабилизировать низкотемпературную модификацию белита $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ (В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 334 с.). Стабилизация шлака первыми тремя способами вообще не учитывает данный процесс, хотя он может являться одной из причин распада шлака, снижающей эффективность добавок, стабилизирующих высокотемпературные модификации C_2S .

Предлагаемый химический способ стабилизации шлака АКП, по мнению авторов, является весьма перспективным. В институте металлургии УрО РАН изучена возможность стабилизации шлака АКП без использования борсодержащих и других легирующих добавок корректировкой фазового состава шлака, исключая образование в нем C_3S . Рассматривалась стабилизация шлака на шлаковый щебень, не содержащий фаз с вяжущими свойствами, и на формирование в шлаке фаз с вяжущими свойствами. На рис. 2 показаны куски шлакового щебня, полученного при охлаждении расплава шлака вместе с печью.

При придании шлаку вяжущих свойств одновременно должны решаться две задачи — стабилизация шлака и формирование в нем фаз, обладающих гидравлической активностью. При стабилизации шлака закал-

кой [2] активность полученного продукта составила всего 4,75—6,67 МПа. Данный продукт не соответствует минимальным требованиям ГОСТ 31108 «Цементы общестроительные. Технические условия». Кроме того, этот стабилизированный продукт содержит значительное количество майенита C_{12}A_7 , являющегося нежелательной фазой в любых цементах из-за быстрого схватывания (за 5—6 мин). В соответствии с требованиями нормативных документов минимальный срок схватывания цемента 45 мин. Чтобы активность стабилизованного шлака была высокой, в нем в качестве фаз, обладающих высокой гидравлической активностью, необходимо формировать не белит — самую низкоактивную фазу портландцементного клинкера, а другие клинкерные фазы.

Формирование в шлаке C_3S — самой активной фазы клинкера в металлургической технологии сопряжено с определенными трудностями. Трехкальциевый силикат высокоогнеупорен, вследствие чего формирование в шлаке значительного количества C_3S приводит к увеличению вязкости шлака, поэтому одновременно с формированием в шлаке C_3S необходимо снижать вязкость шлака введением в него флюсующих добавок либо увеличивать температуру перегрева шлака. Если учесть, что реализация подобного способа связана с введением в шлак значительного количества дополнительных сырьевых компонентов, которые могут вызывать резкое падение температуры шлака в АКП, то становится ясно, что подобную корректировку фазового состава шлака целесообразно проводить вне агрегата, например в рудно-термической печи, и для подобной корректировки потребуются значительные дополнительные затраты энергии.

Для реализации такого способа переработки шлака АКП в институте металлургии УрО РАН изучена возможность придания ему высоких вяжущих свойств с низкими энергозатратами смешиванием вне АКП жидких шлаков от АКП и ДСП с небольшим количеством корректирующих добавок. Как отмечалось выше, шлаки АКП содержат значительное количество оксидов Ca и Al , но малое количество оксидов Fe , а в шлаках ДСП, наоборот, содержится значительное количество оксидов Fe , но малое количество оксидов Ca и Al , поэтому если смешать шлаки в жидком состоянии с небольшим количеством корректирующих добавок, то в шлаке при низких энергозатратах и сохранении вязкости (оксиды железа являются сильнейшими флюсующими добавками) можно сформировать фазы портландцементного клинкера с высокой гидравлической активностью. На рис. 3 приведены данные РФА полученного подобным способом шлака АКП + ДСП, мас. %: C_3S 31,5; C_2S 6,2; C_4AF 43,6; стеклофаза 18,7.

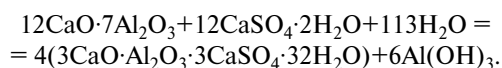
Фазовый состав полученного шлака характеризуется наличием в нем активных клинкерных минералов алита C_3S и браунмиллерита C_4AF . При помоле полученного шлака с дигидратом сульфата кальция он показал активность более 30 МПа при нормальных сроках схватывания.

Все описанные выше способы переработки шлаков в той или иной мере требуют дополнительного дорогостоящего оборудования и дополнительных капитальных затрат. В условиях ОАО «СТЗ» (г. Полевской, Свердловская обл.) реализована технология переработки свежих шлаков АКП в строительные изделия, не требующая привлечения дополнительных капитальных затрат и дорогостоящего оборудования.

Из минералов в составе шлака АКП высокую гидравлическую активность имеет майенит ($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$), который при взаимодействии в водной среде с двухводным гипсом вызывает твердение системы согласно реакции:



Рис. 4. Перегородочные плиты



Образование в твердеющей системе высокосульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция ($3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$) — этtringита, а также наличие в шлаках значительного количества периклаза могут приводить к разрушению строительного изделия. Для предотвращения возникновения в твердеющем изделии опасных напряжений в сырьевую смесь вводятся добавки, вызывающие раннюю гидратацию

Список литературы

1. Демин Б.Л., Смирнов Л.А., Сорокин Ю.В., Щербakov Е.Н., Кулезнева Л.П., Мациук Л.Т. Новые конструкции установок барабанного типа для переработки шлаковых расплавов // *Труды научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершённых фундаментальных исследований и НИОКР»*. Екатеринбург, 2013. С. 63–70.
2. Демин Б.Л., Сорокин Ю.В., Щербakov Е.Н., Шарafутдинов Р.Я. Технические решения по переработке самораспадающихся шлаков // *Труды международного конгресса «Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов»*. Екатеринбург, 2012. С. 236–240.
3. Durinck D., Jones P.T. Arnout S. Blanpain B. Stainless Steel Slag Valorisation: on Volume Stability and Disintegration // *Materials of 1st International Slag Valorisation Symposium*. Leuven. 2009. P. 81–92.
4. Патент РФ 2505504. Композиционное водостойкое гипсовое вяжущее / М.А. Михеенков, С.А. Мамаев, А.И. Степанов, М.В. Зув. Заявл. 13.07.2012. Опубл. 27.01.2014. Бюл. № 3.

периклаза, а вяжущая система формируется по принципу гипсоцементно-пуццолановых вяжущих [4]. В качестве дигидрата сульфата кальция в вяжущее вводится природный гипс, фторангидрит, фосфогипс, а в качестве добавки, обладающей пуццолановыми свойствами, — известняк или мрамор, кислый шлак электросталеплавильного производства или красный шлак. Разработанное вяжущее на основе шлака АКП ОАО «СТЗ» используется для изготовления перегородочных пазогребневых плит, соответствующих высшей категории качества по ГОСТ 6428–83 «Плиты гипсовые для перегородок. Технические условия». На рис. 4 показаны перегородочные плиты, изготовленные с использованием разработанного вяжущего на основе шлака АКП ОАО «СТЗ».

Заключение

Рассмотрены существующие методы переработки шлаков сталелитейной промышленности и способы стабилизации самораспадающихся высококальциевых шлаков.

Приведены результаты стабилизации самораспадающихся высококальциевых шлаков методами управления фазовым составом шлаков с получением шлакового щебня и минеральных вяжущих веществ.

Приведен способ утилизации самораспадающихся высококальциевых шлаков в строительные изделия.

Разработанные в ИМЕТ УрО РАН технологии переработки шлаков сталеплавильного производства можно рекомендовать для внедрения на заводах металлургической отрасли с учетом особенностей конкретного производства и фазового состава используемых шлаков.

References

1. Demin B.L., Smirnov L. A., Sorokin Y.V., Shcherbakov E.N., Kulezneva L.P., Matsiuk L.T. New design of drum type for processing of slag melts. *Works of scientific and practical Conference with international participation "The perspectives of development of metallurgy and mechanical engineering using the completed fundamental research and research and development"*. Ekaterinburg. 2013, pp. 63–70. (In Russian).
2. Demin B.L., Sorokin Y.V., Shcherbakov E.N., Sharafutdinov R.Y. Technical Solutions for Processing of Self-disintegrating Stainless Steel Slags. *Proceeding of Intern. Congress "Fundamentals of processing technologies and recycling of industrial wastes."* Ekaterinburg. 2012, pp. 236–240. (In Russian).
3. Durinck D., Jones P.T. Arnout S. Blanpain B. Stainless Steel Slag Valorisation: on Volume Stability and Disintegration. *Materials of 1st International Slag Valorisation Symposium*. Leuven. 2009, pp. 81–92.
4. Patent of RF 2505504. Composite Waterproof Gypsum Binder. Mikheenkov M.A., Mamaev S.A., Stepanov A.I., Zuev M.V. Prentention 13.07.2012. Published 27.01.2014. Bulletin No. 3. (In Russian).

Подписка на электронные версии журналов издательства «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»

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

И.А. СТАРОВОЙТОВА¹, канд. техн. наук (irina-starovoitova@yandex.ru); А.В. ДРОГУН², канд. техн. наук; Е.С. ЗЫКОВА¹, инженер; А.Н. СЕМЕНОВ², инженер; В.Г. ХОЗИН¹, д-р техн. наук; Е.Б. ФИРСОВА², инженер

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

² ООО «НПФ «Рекон» (420111, Казань, ул. Кремлевская, 25/22)

Коллоидно-химическая устойчивость водных дисперсий эпоксидных смол

В работе представлены результаты исследования коллоидно-химической устойчивости дисперсий эпоксидных смол в водных растворах поверхностно-активных веществ. В лабораторных условиях проведена оптимизация рецептурно-технологических параметров получения дисперсий по критерию стабильности и структурным параметрам систем. Установлена высокая эффективность применения смешанного ПАВ (блок-сополимера оксида этилена и оксида пропилена и эфира поликарбоксилата) для диспергирования эпоксидных смол в водной среде. В частности, применение смешанного ПАВ позволило в 2–2,5 раза сократить средний размер частиц дисперсной фазы по сравнению с базовой рецептурой. На основании результатов тестирования процесса в производственных условиях получения дисперсии продемонстрирована возможность «переноса» лабораторных параметров на промышленные диссольтеры с получением аналогичных результатов.

Ключевые слова: водные дисперсии эпоксидных смол, замасливатели, стабильность, дисперсность, коллоидно-химическая устойчивость.

I.A. STAROVOYTOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (irina-starovoitova@yandex.ru), A.V. DROGUN², Candidate of Sciences (Engineering),

E.S. ZYKOVA¹, Engineer, A.N. SEMENOV², Engineer, V.G. KHOZIN¹, Doctor of Sciences (Engineering), E.B. FIRSOVA², Engineer

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

² ООО "NPF "Rekon" (25/22, Kremlevskaya Street, 420111, Kazan, Russian Federation)

Colloidal-Chemical Stability of Water Dispersion of Epoxy Resins

Results of the study of colloidal-chemical stability of epoxy resins in water solutions of surfactants are presented in this work. Prescription-technological parameters of the dispersion obtaining were optimized according to the criterion of stability and structural parameters of the systems under laboratory conditions. High efficiency of using the mixed surfactant (block copolymer of ethylene oxide, propylene oxide, and polycarboxylic ether) for dispersion of epoxy resins in the water medium is established. In particular, the use of the mixed surfactant makes it possible to reduce the average size of particles of the disperse phase by 2–2.5 times in comparison with the basic formula. On the basis of results of testing the process of dispersion obtaining under production conditions, the possibility to "transfer" laboratory parameters to the industrial dissolvers with getting similar results is demonstrated.

Keywords: water dispersion of epoxy resins, oiling agents, stability, dispersity, colloidal-chemical stability

Водные дисперсии эпоксидных смол представляют собой прямые эмульсии эпоксидных олигомеров в водных растворах поверхностно-активных веществ (ПАВ). Области их применения являются:

- пленкообразующий компонент замасливателей, наносимых на элементарные филаменты при формовании стеклянного и базальтового волокон;

- связующие при изготовлении защитно-декоративных и противокоррозионных красок, грунтовок, пропиточных композиций;

- составы полимерминеральных растворов для гидроизоляции, ремонта и усиления строительных конструкций.

Наиболее важной областью применения водных дисперсий эпоксидных смол является их использование в качестве пленкообразующего компонента замасливателей при производстве минеральных непрерывных волокон (стеклянных, базальтовых и др.). При этом к системам, которые применяются в высокопрочных полимерных композитах, предъявляются высокие требования к коллоидно-химической устойчивости и стабильности. Они во многом зависят от следующих параметров: типа применяемого ПАВ, распределения дисперсных частиц по размерам, а также вязкости систем. Как правило, более вязкие системы с меньшим средним размером частиц характеризуются большей устойчивостью. Важно, что уменьшение среднего размера частиц способствует улучшению пленкообразующих свойств дисперсии.

Значимым преимуществом водных эпоксидных дисперсий в качестве пленкообразующего компонента замасливателя является обеспечение лучшего смачивания армирующих волокон связующими в результате гидрофобизации волокна, что не только повышает гидролитическую устойчивость адгезионной связи, но и увели-

чивает адгезионную прочность. Повышение адгезии между волокном и связующим (в подавляющем большинстве случаев также эпоксидным) в армированных композитах, в свою очередь, обычно приводит к росту физико-механических показателей последних.

Опубликовано много работ и патентов [1–4] посвященных вопросу влияния типа применяемого замасливателя на свойства композитов. Предложенные пути модификации замасливателя для стеклянных волокон [1, 2] основаны на необходимости достижения технологической совместимости пленки на волокне с основным связующим в композите. В [3], в зависимости от типа применяемого замасливателя, прочность стеклопластика при сжатии изменяется от 714 до 1107 МПа, прочность при изгибе – от 1690 до 2048 МПа, а степень сохранения прочности после выдержки в среде NaOH при 80°C в течение 7 сут возрастает на 20–80% [1].

Значительный практический интерес представляет также введение наномодифицирующих добавок в составы замасливателей. Авторами патента [5] в качестве технического результата изобретения приведено увеличение стойкости к истиранию стеклянных нитей, покрытых замасливателем с добавлением наночастиц, а также увеличение сопротивления старению во влажной среде.

В то же время работ по структуре, свойствам и технологии получения водных дисперсий гораздо меньше [6–9]. В работе [6] рассмотрена зависимость устойчивости водной дисперсии эпоксидной смолы от технологических параметров (времени смешивания и скорости вращения мешалки). В патенте [8] приведены условия получения дисперсии методом прямого эмульгирования эпоксидной смолы в воде в присутствии эмульгатора – блок-сополимера оксида этилена и оксида пропилена. На основании полученных результатов [8] научно-

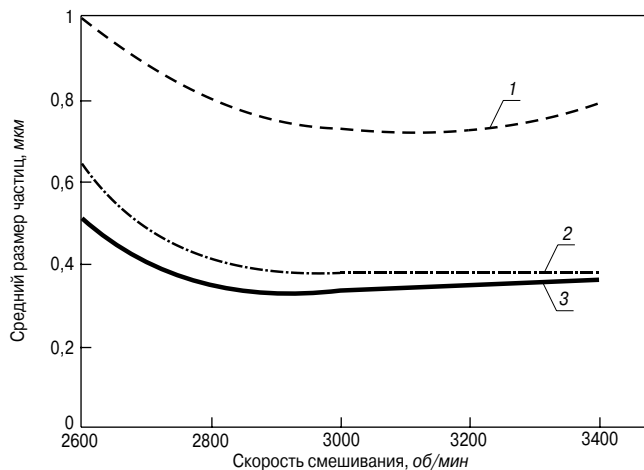


Рис. 1. Зависимости среднего размера частиц дисперсной фазы от скорости смешивания на первом этапе и вида ПАВ: 1 – состав 2; 2 – состав 5; 3 – состав 12

производственной фирмой «Рекон» (Казань) разработана технология получения водной дисперсии эпоксидной смолы, отличающейся высокой коллоидно-химической устойчивостью, стабильностью и длительным сроком гарантийного хранения (до 12 мес).

Целью данной работы является исследование коллоидно-химической устойчивости водных дисперсий эпоксидных смол в присутствии различных типов ПАВ и наномодификатора, а также оптимизация рецептурно-технологических параметров приготовления.

Варьирование свойств дисперсий достигается изменением типа и количества применяемого ПАВ, содержанием воды в системах, а также особенностями технологии получения дисперсий.

В качестве критериев оценки использованы: однородность, стабильность и коллоидно-химическая устойчивость систем, гарантийный срок хранения дисперсий.

Как исходные компоненты при изготовлении дисперсий были использованы:

- эпоксидная смола 128S (производитель NanYa Plastics Corp., Тайвань) – жидкая немодифицированная смола, полученная на основе бисфенола А и эпихлоргидрина. Представляет собой низкомолекулярную прозрачную вязкую жидкость без видимых механических включений с плотностью при 25°C 1,16 г/см³ и массовой долей эпоксидных групп 19,1–20,1%;

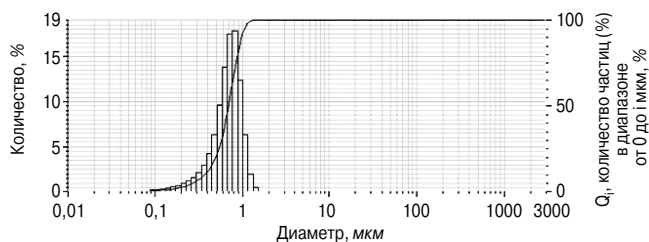


Рис. 2. Распределение частиц по размерам для эпоксидной дисперсии, содержащей 6 мас. ч Synperonic на 100 мас. ч смолы (состав 2)

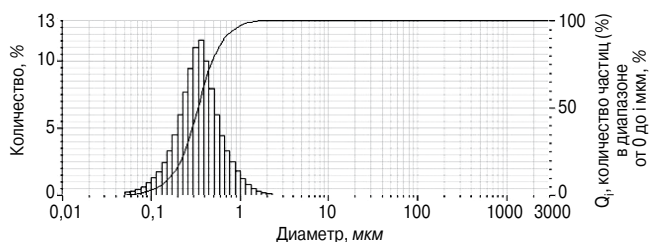


Рис. 4. Распределение частиц по размерам эпоксидной дисперсии, содержащей 2 мас. ч Synperonic и 5 мас. ч Ethacryl на 100 мас. ч смолы (состав 12)

- блок-сополимер оксида этилена и оксида пропилена под торговой маркой Synperonic PE/F 108 (производитель Croda Europe Limited, Великобритания). Представляет собой твердый продукт 2,5%-го водного раствора – pH=5–7,5;

- эфир поликарбоксилата в виде 40%-го водного раствора под торговой маркой Ethacryl HF (производитель Coatex, Франция) – вязкая жидкость, бесцветная или бледно-оранжевого цвета с pH=3,7–5 и плотностью 1,06 г/см³;

- кремнезоль – коллоидный раствор частиц кремнезема, стабилизированный щелочью (производитель НТЦ «Компас», Казань). Содержание SiO₂ – 30%, плотность 1,1–1,2 г/см³, pH около 10;

- дистиллированная вода.

Дисперсии получали методом прямого эмульгирования эпоксидной смолы в водном растворе поверхностно-активных веществ на диссольвере с дисковой насадкой марки Dispermat AE 04 M1. Использовали двухступенчатый режим смешивания. На первом этапе осуществляли постепенное введение эпоксидной смолы в водный раствор ПАВ с последующим высокоскоростным смешиванием компонентов (2200–3500 об/мин) в течение 5–10 мин. Общее количество воды на первом этапе смешивания составляло 30–40 мас. ч на 100 мас. ч смолы. Во втором этапе вводили воду в количестве 5–15 мас. ч на 100 мас. ч смолы и проводили низко- или среднескоростное смешивание (300–1500 об/мин) в течение 10 мин.

В случае введения в качестве наномодификатора золя оксида кремния добавку вводили на первом этапе смешивания перед введением эпоксидной смолы в количестве 0,5–3 мас. ч (в пересчете на SiO₂) на 100 мас. ч смолы.

Для полученных дисперсий оценивали однородность, стабильность в течение 24–48 ч, определяли вязкость, средний размер частиц дисперсной фазы и содержание сухого остатка.

Однородность и стабильность систем оценивали при разбавлении дисперсий в 10 раз. Разбавленные дисперсии заливали в мерные цилиндры V=100 мл и наблюдали в течение 2 сут. Дисперсии считали стабильными, если в течение 24–48 ч высота осадка составляла не более 2 мл, водоотделения не наблюдалось или оно было незначительным.

Вязкость дисперсий определяли на вискозиметре ВЗ-4 при разбавлении до 50%-го содержания сухого

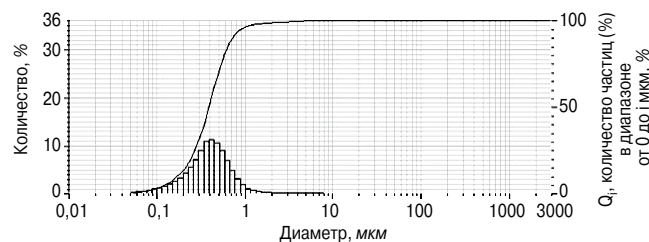


Рис. 3. Распределение частиц по размерам для эпоксидной дисперсии, содержащей 8 мас. ч Ethacryl на 100 мас. ч смолы (состав 5)

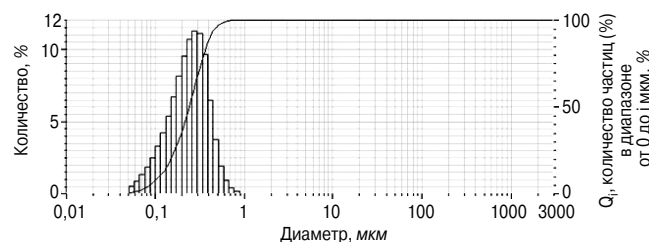


Рис. 5. Распределение частиц по размерам эпоксидной дисперсии, полученной в промышленном диссольвере (состав 12)

остатка, а в случае введения кремнезоля — до 35–40%-го содержания сухого остатка.

Распределение частиц по размерам изучали методом лазерного дифракционного анализа на приборе Horiba LA 950.

Для определения сухого остатка образец дисперсии массой около 2 г высушивали до постоянной массы при 125–130°C в течение 40–60 мин. Содержание сухого остатка определяли по формуле:

$$\text{с.о.} = \frac{m_2 \cdot 100\%}{m_1},$$

где m_1 — масса пробы до высушивания, г; m_2 — масса пробы после высушивания, г.

Однородность, вязкость и стабильность разбавленных водных дисперсий эпоксидных смол приведены в табл. 1.

Из представленных данных следует, что для получения требуемых технологических параметров дисперсий (однородность; осадок не более 2 мл на 100 мл разбавленной дисперсии; незначительное водоотделение или его отсутствие); в состав следует вводить ПАВ в количестве:

— в случае использования блоксополимера оксида этилена и оксида пропилена не менее 6 мас. ч на 100 мас. ч смолы (составы 2, 3);

— в случае использования поликарбоната не менее 8 мас. ч на 100 мас. ч смолы (составы 5, 6).

При применении смесевых ПАВ оптимальными являются составы, содержащие 7–8 мас. ч ПАВ (составы 12–15).

Введение в качестве модифицирующей добавки кремнезоля целесообразно в количестве до 0,5 мас. ч на 100 мас. ч смолы при использовании индивидуальных ПАВ (составы 19 и 22) и до 2 мас. ч на 100 мас. ч смолы при использовании смесевых ПАВ (составы 25–27). Дальнейшее увеличение концентрации кремнезоля приводит к резкому росту вязкости систем.

Технологические режимы смешивания дисперсий были оптимизированы по данным стабильности и дисперсного анализа. Зависимости среднего размера частиц дисперсной фазы от скорости вращения дисковой мешалки на первом этапе приведены на рис. 1.

Установлено, что при скорости смешивания менее 2500 об/мин дисперсии неоднородны и нестабильны, а увеличение скорости смешивания свыше 3100 об/мин нецелесообразно, так как не приводит к повышению степени дисперсности композиций. Изменение режимов смешивания на втором этапе приготовления дисперсий (скорость варьировали от 300 до 1500 об/мин) показало, что скорость смешивания практически не влияет на средний размер частиц.

Таблица 1

№ состава	Количество компонентов на 100 мас. ч смолы				Однородность дисперсии сразу после смешивания / через 24 ч	Осадок через 24 ч, мл	Вязкость, с
	вода	ПАВ		КЗ			
		Synperonic	Ethacryl				
1	45	4	–	–	+/-	3	17
2	45	6	–	–	+/+	1	17
3	45	8	–	–	+/+	<1	18
4	45	–	6	–	+/-	3	19
5	45	–	8	–	+/+	1	20
6	45	–	10	–	+/+	1	21
7	45	3	3	–	+/+	2	17
8	45	4	2	–	+/-	3	17
9	45	2	4	–	+/+	3	18
10	45	3,5	3,5	–	+/+	1,5	20
11	45	5	2	–	+/+	2	19
12	45	2	5	–	+/+	<1	22
13	45	4	4	–	+/+	1	22
14	45	6	2	–	+/+	<1	21
15	45	2	6	–	+/+	<1	22
16	45	6	–	0,5	+/+	2	29
17	45	6	–	1	+/+	2	30
18	45	6	–	2	+/+	3	32
19	45	8	–	0,5	+/+	1,5	32
20	45	8	–	1	+/+	2	35
21	45	8	–	2	+/+	2	39
22	45	–	8	0,5	+/+	1,5	35
23	45	–	8	1	+/+	2	36
24	45	–	8	2	+/+	3	40
25	45	2	5	0,5	+/+	1	40
26	45	2	5	1	+/+	1,5	42
27	45	2	5	2	+/+	1,5	45

Таблица 2

№ состава	Содержание компонентов (ПАВ, кремнезоль), мас. ч	Средний размер частиц, мкм	Содержание частиц диаметром до 100 нм, %
2	Synperonic, 6	0,76	0
3	Synperonic, 8	0,74	0
5	Ethacryl, 8	0,39	0,9
6	Ethacryl, 10	0,42	0,8
12	Synperonic, 2; Ethacryl, 5	0,34	0,9
13	Synperonic, 4; Ethacryl, 4	0,62	0,6
14	Synperonic, 6; Ethacryl, 2	0,65	0,5
15	Synperonic, 2; Ethacryl, 6	0,38	0,8
19	Synperonic, 8; кремнезоль – 0,5	0,4	2,2
22	Ethacryl, 8; кремнезоль – 0,5	0,38	2,3
25	Synperonic, 2; Ethacryl, 5; кремнезоль – 0,5	0,38	2,4
26	Synperonic, 2; Ethacryl, 5; кремнезоль – 1	0,36	2,7
27	Synperonic, 2; Ethacryl, 5; кремнезоль – 2	0,37	2,8

Гистограммы распределения частиц по размерам для составов 2, 5 и 12 приведены на рис. 2–4. Средний размер частиц дисперсной фазы и процентное содержание частиц до 100 нм в водных дисперсиях эпоксидных смол представлены в табл. 2.

Наиболее тонкодисперсные эмульсии получены с использованием в качестве ПАВ следующих составов:

– раствор поликарбоната в количестве 8 мас. ч на 100 мас. ч смолы (средний размер частиц 0,39 мкм);
 – смесевое ПАВ – 2 мас. ч блок-сополимера оксида этилена и оксида пропилена и 5 мас. ч поликарбоната (средний размер частиц 0,34 мкм);
 – при использовании в качестве модификатора кремнезоля в количестве 0,5–2 мас. ч. в присутствии различных ПАВ (средний размер частиц 0,36–0,38 мкм).

Перечисленные составы характеризуются большой вязкостью и стабильностью: образование осадка через 24 ч после приготовления разбавленного раствора не более 1–1,5 мл на 100 мл дисперсии (табл. 1).

Содержание сухого остатка для всех образцов полученных дисперсий составляет 68–73%.

По результатам лабораторных исследований для опытно-промышленных испытаний был выбран состав дисперсии, содержащий смесевое ПАВ (состав 12). Дисперсия была изготовлена на диссольтвере Dispermat SC100 (на ООО «НПФ «Рекон») согласно следующим технологическим режимам: первый этап смешивания (дисковая насадка) – скорость 2900 об/мин, время 10 мин; второй этап смешивания (якорная насадка) – 50 об/мин, время 40 мин. По параметрам стабильности полученная дисперсия удовлетворяет предъявляемым требованиям (однородна при разбавлении в 10 раз, стабильна в течение не менее 48 ч, сухой остаток составляет 69,7%). Наиболее важным результатом промышленных испытаний является тот факт, что средний размер частиц по данным лазерного дифракционного анализа дисперсии составляет 0,25 мкм (рис. 5).

Выводы

1. Экспериментально определены оптимальные составы, из которых получены стабильные тонкодисперсные водные эмульсии эпоксидной смолы методом прямого эмульгирования в присутствии индивидуальных ПАВ (блок-сополимера оксида этилена, оксида пропилена и эфира поликарбоната) и их смесей.

2. Введение кремнезоля в качестве модифицирующей добавки способствует получению тонкодисперсных эмульсий, однако это приводит к увеличению вязкости систем.

3. Установлено, что наиболее тонкие дисперсии эпоксидной смолы могут быть получены при использовании смесевое ПАВ (оптимально в количестве 7 мас. ч на 100 мас. ч смолы). Учитывая, что степень дисперсности определяет устойчивость при хранении и обеспечивает лучшую адгезию при использовании дисперсии, данный результат имеет важное практическое значение.

4. Определены оптимальные технологические режимы получения дисперсии. Обращает на себя внимание тот факт, что кривая зависимости степени дисперсности системы от условий смешивания либо выходит на плато, либо имеет минимум. Увеличение скорости диспергирования должно приводить к более интенсивному дроблению капель дисперсной фазы, что может быть связано с коалесценцией капель, вызванной повышением температуры и соответственно снижением вязкости системы.

В результате проведения опытно-промышленных испытаний разработанного в лабораторных условиях состава (на смесевом ПАВ) получена дисперсия по коллоидно-химической устойчивости, превосходящая используемые на сегодняшний день составы.

Список литературы

1. Патент US 4933381. *Resin compatible size composition for small diameter glass fibers* / Томас П. Хагер. Заявл. 27.08.1987. Оpubл. 12.06.1990.

2. Патент EP 0620805 A1. *Size composition* / Leonard J. Adzima, Martin C. Flautt. Заявл. 08.11.1993. Оpubл. 26.10.1994.
3. Туйсов А.Г., Белоусов А.М. Исследование влияния типа замасливателя на прочностные свойства стеклопластикового стержня // *Ползуновский вестник*. № 1–2. 2008. С. 97–98.
4. Гуртовник И.Г., Соколов В.И., Трофимов Н.Н., Шалгунов С.И. Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков. М.: Мир, 2003. 368 с.
5. Патент РФ 2432330. *Стеклопластиковые нити, покрытые замасливателем, содержащим наночастицы* / Муаро Патрик. Заявл. 18.12.2006. Оpubл. 27.01.2010. Бюл. № 3.
6. Шинкарева Е.В., Кошевар В.Д., Будейко Н.Л. Устойчивость и структурно-реологические свойства эмульсий на основе эпоксидного олигомера // *Лаки и краски*. № 5. 2009. С. 18–22.
7. Jianfeng Yu, Hongxia Pan, Xiaodong Zhou. Preparation of waterborne phosphated acrylate–epoxy hybrid dispersions and their application as coil coating primer // *Journal of Coatings Technology and Research*. 2014. Vol. 11. Is. 3, pp. 361–369.
8. Патент РФ 2165946. *Способ получения водоземulsionной эпоксидной композиции* / Амирова Л.М., Мангушева Т.А., Сайфутдинов Р.Х., Шапаев И.И., Прохоров А.А. Заявл. 16.07.1999. Оpubл. 27.04.2001. Бюл. № 12.
9. Gang Fu, Lin Han, Hong Kuang, Chunming Fu, Milin Zhang, Bin Zhang. Preparation and Properties of Solid Waterborne Epoxy Resin Dispersion // *Polymer Materials Science & Engineering*. 2011. Is. 3, pp. 147–149.

References

1. Patent US 4933381. *Resin compatible size composition for small diameter glass fibers*. Tomas P. Khager. Declared 27.08.1987. Published 12.06.1990.
2. Patent EP 0620805 A1. *Size composition*. Leonard J. Adzima, Martin C. Flautt.; Declared 08.11.1993. Published 26.10.1994.
3. Tuisov A.G., Belousov A.M. Investigation of the effect of the type of lubricant on the strength properties of fiberglass rod. *Polzunovskii vestnik*. 2008. No. 1–2, pp. 97–98. (In Russian).
4. Gurtovnik I.G., Sokolov V.I., Trofimov N.N., Shalgunov S.I. Radioproзрачные izdeliya iz stekloplastikov [Radiotransparent products of fiberglass]. Moscow: Mir. 2003. 368 p.
5. Patent RF 2432330. *Steklyannye niti, pokrytye zamaslivatелем, soderzhashchim nanochastitsy* [Glass filaments coated a lubricant containing nanoparticles]. Muaro Patrik. Declared 18.12.2006. Published 27.01.2010. Bulletin No. 3. (In Russian).
6. Shinkareva E. V., Koshevar V. D., Budeiko N. L. Stability and structural and rheological properties of emulsions of epoxy oligomer. *Laki i kraski*. 2009. No. 5, pp. 18–22. (In Russian).
7. Jianfeng Yu, Hongxia Pan, Xiaodong Zhou. Preparation of waterborne phosphated acrylate–epoxy hybrid dispersions and their application as coil coating primer. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2014. Vol. 11. Is. 3, pp. 361–369.
8. Patent RF 2165946. *Sposob polucheniya vodoemul'sionnoi epoksidnoi kompozitsii* [A method for producing an aqueous emulsion of epoxy composition]. Amirova L.M., Mangusheva T.A., Saifutdinov R.Kh., Shapaev I.I., Prokhorov A.A.; Declared 16.07.1999. Published 27.04.2001. Bulletin № 12. (In Russian).
9. Gang Fu, Lin Han, Hong Kuang, Chunming Fu, Milin Zhang, Bin Zhang. Preparation and Properties of Solid Waterborne Epoxy Resin Dispersion. *Polymer Materials Science & Engineering*. 2011. Is. 3, pp. 147–149.

С.В. БАСТРЫГИНА, канд. техн. наук (bastr_sv@chemy.kolasc.net.ru), Л.Г. ГЕРАСИМОВА, д-р техн. наук
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН
(184209, Мурманская обл., г. Апатиты, Академгородок, 26а)

Тонкодисперсные отходы обогащения медно-никелевых руд – сырье для получения композиционных пигментов для лакокрасочных материалов

Рассматривается возможность использования свежих и лежалых отходов обогащения медно-никелевых руд для получения композиционных пигментов. Установлено, что свежие хвосты имеют неоднородный гранулометрический состав и для использования их в составе ЛКМ требуется дополнительное измельчение. Лежалые отходы характеризуются преобладанием тонкодисперсного материала, в котором содержание талька в сростках с хлоритами и гидрохлоритами достигает 80% и более. Для повышения содержания талька в лежалых отходах проводилась магнитная сепарация и кислотная обработка. Дополнительная подготовка (механоактивация) талькосодержащего продукта и оптимизация условий нанесения на его поверхность оболочки матирующего компонента (соединения Fe, Ni, Co и т. д.) благоприятно влияют на качество и расширяют области применения пигментного наполнителя в строительной и лакокрасочной индустрии.

Ключевые слова: пигменты, лакокрасочные материалы, тальк, отходы производства.

S.V. BASTRYGINA, Candidate of Sciences (Engineering) (bastr_sv@chemy.kolasc.net.ru), L.G. GERASIMOVA, Doctor of Sciences (Engineering)
Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials named after I.V. Tananaev Kola Science Center RAS
(26a, «Academic town», Apatity, 184209, Murmansk region, Russian Federation)

Fine Disperse Tails of Copper-Nickel Ore Concentration are Raw Materials to Produce Composite Pigments for Paint-and-Lacquer Materials

Possibilities to use the fresh and old tails of copper-nickel ore concentration to obtain composite pigments for construction purposes are considered. It is established that the fresh tails have inhomogeneous granulometric composition and additional grinding is necessary for their use in the composition of paint-and-lacquer materials. Old tails are characterized by the predominance of fine-disperse material, in which the content of talc in attachments to chlorites and hydrochlorites reaches 80% and more. To increase the content of talc in stale tails the magnetic separation and acid treatment are conducted. Additional preparation (mechanical activation) of the talc-containing product and optimization of conditions of putting of flatting component on its cover surface (compounds of Fe, Ni, Co et al.) favorably influence on the quality and expand the sphere of application of the pigment filler in the building and paint-and-lacquer industries.

Keywords: pigments, paint-and-lacquer materials, talc, process waste.

Вопросы утилизации отходов обогащения и переработки минерального сырья являются актуальными во всем мире. Растущий объем добычи и переработки этих ископаемых приводит к увеличению отходов, усугубляет экологические проблемы, особенно серьезные для северных регионов. Это делает актуальными исследования по их переработке с получением новых видов продукции, имеющей спрос на российском рынке [1–7]. Исследовательские и внедренческие работы в данном направлении способствуют сокращению количества отходов, повышению эффективности использования минеральных ресурсов и одновременно способствуют решению некоторых социальных вопросов для регионов, в частности появление рабочих мест на новых производствах и отчисления в местный бюджет.

В данной работе рассмотрена возможность использования отходов обогащения медно-никелевого производства для получения композиционных пигментов строительного назначения. Пигменты производятся в большом количестве, что связано с широким спектром их применения. Наиболее крупными потребителями пигментов являются лакокрасочная и строительная отрасли промышленности [1–3]. Благодаря специфическим свойствам, например совместимости с органическими пленкообразователями, пигменты создают с ними структурные сетки, увеличивая прочность и долговечность покрытий. Пигменты, а также некоторые наполнители с чешуйчатым строением частиц, например тальк, армируют пленку, снижают ее газо- и водопроницаемость, повышают механическую прочность и атмосферостойкость покрытий [8]. Микронизированный тальк увеличивает вязкость красок и тиксотроп-

ность. Введение в лакокрасочные материалы высокомаслоемкого талька резко снижает глянец покрытий, делает их матовыми, что иногда используют для устранения неприятного неравномерного блеска покрытий на волнистых подложках. При использовании талька в качестве наполнителя решающими показателями являются: белизна, тонкость помола, влажность.

С этой точки зрения присутствие слоистых силикатов в хвостах обогащения медно-никелевых руд являлось предпосылкой постановки работы, результаты которой приведены.

Таблица 1

Фракции	Свежие отходы
Менее 0,063 мм	В основном серпентиновые минералы, магнетит и примеси талька, авгита и оливина
Менее 0,01 мм	В основном тальк, а также карбонатиты, гидрохлорит и хлорит

Таблица 2

Минерал	Содержание минерала, об. %			
	М-1	М-2	СМ	НМ
Тальк	9,38	32,55	63,97	87,53
Магнетит	72,92	26,03	9,89	0,62
Карбонат	1,83	5,32	5,25	2,16
Амфибол	0,49	1,04	6,33	6,03
Оливин	0,62	–	–	–
Серпентин	8,17	29,95	12,22	2,04
Кварц	5,36	5,15	2,32	1,12
Биотит	0,74	–	–	0,49

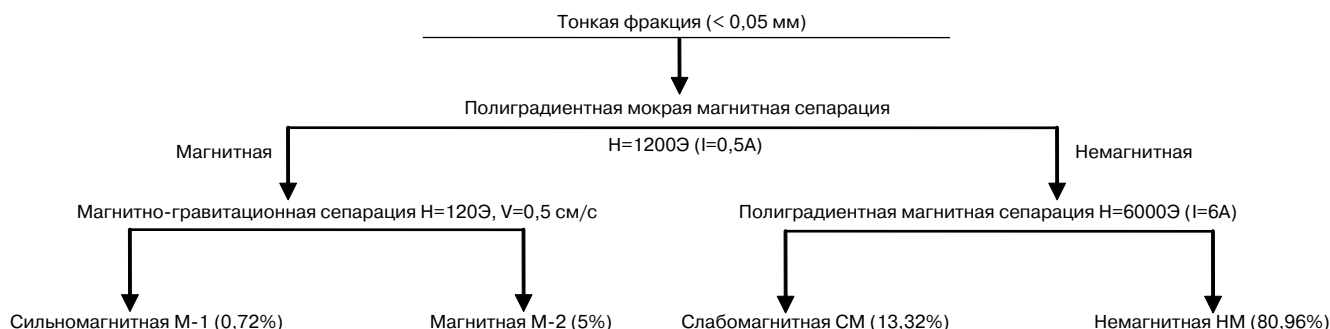


Рис. 1. Магнитное обогащение лежалых отходов

Экспериментальная часть

Объекты исследования: свежие и лежалые отходы обогащения медно-никелевых руд. Образцы первых отходов разделены на фракции $-0,063+0,01$ мм и менее $0,01$ мм. Их минеральный состав приведен в табл. 1.

Обе фракции имели серую окраску. После их окислительной термообработки при 850°C материал приобрел светло-коричневую окраску за счет перехода $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$. Полученный порошок диспергировали в олифе «Оксоль» без добавки и для получения более светлого порошка – с добавкой белого пигмента в виде TiO_2 марки РО-2 в количестве 5% от массы образца. Полученные дисперсии наносили на стеклянные пластинки для сравнения качества покрытий с эталоном. Отмечено, что из-за неоднородности гранулометрического состава поверхность лакокрасочной пленки шероховатая, что не позволяет достичь требуемых показателей по декоративности. Укрывистость по сухому продукту составляет $200\text{--}220$ г/м². Несколько увеличить показатели удалось при использовании порошка с предварительным измельчением.

Для исследований лежалых отходов, которые хранились в отвалах длительное время, взята фракция менее $0,05$ мм. С целью улучшения технологических свойств сырья была проведена магнитная сепарация материала. Эксперименты проводились на лабораторных электромагнитных сепараторах (рис. 1).

Результаты разделения материала показали, что сильномагнитная фракция (М-1) составляет 0,72 мас. %; магнитная фракция (М-2) – 5 мас. %; слабомагнитная фракция (СМ) – 13,32 мас. %; немагнитная фракция (НМ) – 81 мас. %. Минеральный состав полученных фракций приведен в табл. 2.

Основные характеристики и кривые распределения зерен по крупности полученных фракций приведены в табл. 3 на рис. 2.

Из приведенных данных видно, что выход немагнитной фракции достаточно высок и составляет 80,96%.

Таблица 3

Характеристики	Магнитные составляющие			
	М-1	М-2	СМ	НМ
80% частиц крупностью менее, мкм	46	49	38,7	22,8
90% частиц крупностью менее, мкм	54	57,1	46,8	28,1
95% частиц крупностью менее, мкм	58,8	62,1	52,5	31,6
Средний размер частиц, мкм	28,3	30,2	24,1	12
Удельная поверхность, м ² /кг	98,57	101,46	229,03	734,52
Плотность, кг/м ³	4200	3260	2900	2790

В этой фракции существенно возрастает содержание тонких частиц продукта.

Данные РФА показали, что основным минералом в пробах М-1 и М-2 является магнетит, также в качестве примесей присутствуют серпентин, тальк, кварц. В слабомагнитной фракции (СМ) отчетливо фиксируются рефлексы магнетита и серпентина. В немагнитной фракции (НМ) значительно повышается содержание талька и хлоритов.

Такой процесс позволил практически полностью отделить первично-магматические силикаты (оливин, пироксены), магнетит и другие рудные минералы от талька и хлорита, однако разделить два последних не удалось. Это связано, с одной стороны, с тем, что они образуют тонкие прорастания и даже в классе $-0,025$ мм по крайней мере часть этих минералов встречается в виде сростков. С другой – с тем, что магнитные свойства этих минералов чрезвычайно близки.

Для дальнейшего повышения содержания талька фракции СМ и НМ были обработаны соляной кислотой при комнатной температуре в течение 72 ч, за счет чего содержание талька возросло до 72%. Далее талькосоудержащий продукт обрабатывали по следующему методикам:

1. Метод окислительной термообработки, при которой происходит переход $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$ с окрашиванием исходной пробы и повышением его коэффициента преломления.

2. Нанесение хромофорного пигментного покрытия на носитель, которым служил образец исследуемого

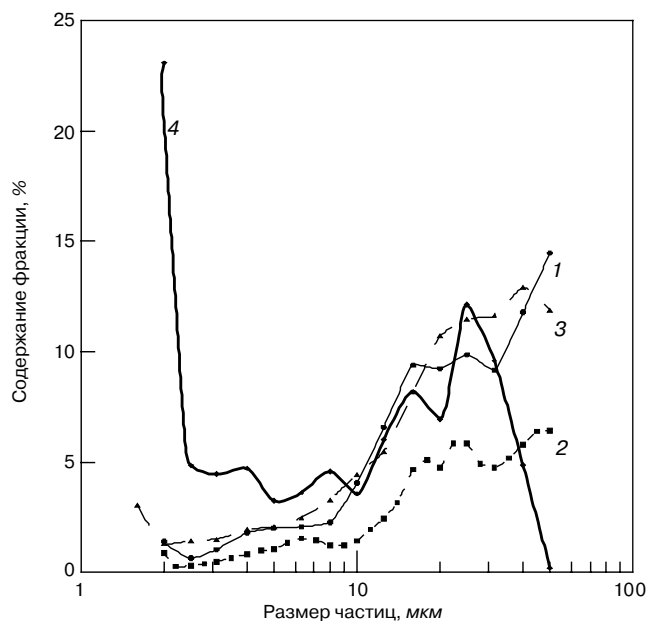


Рис. 2. Кривые распределения зерен по крупности: 1 – сильномагнитная фракция (М-1); 2 – магнитная фракция (М-2); 3 – слабомагнитная фракция (СМ); 4 – немагнитная фракция (НМ)

Таблица 4

Характеристика исследуемого образца	pH водной вытяжки	Водорастворимые соли (ВРС), %	Укрывистость, г/м ²	Цвет
Исходный (исх.)	7,32	2,56	295,3 (лессирует)	Светло-серый
Сухой (100°C)	6,6	1,56	—»—	—»—
Прокаленный (800°C)	7,25	1,28	113	Светло-коричневый
Исх.+CoCl ₂ +Na ₂ CO ₃ до pH=8,8, t _{прок.} – 900°C	7,37	1,1	84,5	Темно-серый
Исх.+FeSO ₄ ·7H ₂ O+Fe				—
t _{прок.} – 500°C	7,34	3,1	12,5	Коричневый (яркий)
t _{прок.} – 850°C	7,46	1,4	17,5	Красно-коричневый (яркий)
Fe-Ni (отход) – Fe ₂ NiO ₄ *	7,47	1,5	14,6	Интенсивность оттенка снижается
Исх.+5 г Fe-Ni	—	1	20,2	
Исх.+2,5 г Fe-Ni	—	0,84	27,7	

Примечание. * Fe₂NiO₄ – железоникелевый отход («Североникель») – темно-коричневый цвет.

материала. В качестве пигментного компонента использовали растворы хлорида кобальта и сульфата железа. Обработка велась в жидкой фазе при заданном значении pH, после чего проба отделялась фильтрованием и прокаливалась при 500–900°C.

3. Измельчение исходной пробы с пылевидным хромоформным отходом медно-никелевого производства (железоникелевые отходы – Fe-Ni отход). Этот материал представляет собой тонкодисперсный порошок коричневого цвета, содержащий оксиды железа и никеля (NiO~10%). В процессе интенсивного измельчения происходит механоактивация поверхности исследуемых материалов, что способствует более эффективному их взаимодействию и сопровождается повышением яркости цветового оттенка конечного продукта (сравнение с обычной механической смесью аналогичного состава) [9].

В табл. 3 приведены основные показатели свойств материала, полученного при использовании исследуемой пробы.

Присутствие в отходах примеси медно-никелевых сульфидов, обладающих окислительными свойствами, не оказывает отрицательного влияния на свойства конечного продукта, а даже повышает его яркость и стойкость к некоторым атмосферным воздействиям (свету, воде и т. д.).

Таким образом, показано, что исследуемый материал может служить основой для получения цветных композиций, обладающих удовлетворительными свойствами. Дополнительная подготовка (механоактивация) и оптимизация условий нанесения на его поверхность оболочки матирующего компонента (соединения Fe, Ni, Co и т. д.) благоприятно влияют на качество и расширяют область применения пигментного наполнителя в строительной и лакокрасочной индустрии.

Список литературы

1. Герасимова Л.Г., Скороходова О.Н. Наполнители для лакокрасочной промышленности. М.: ООО ЛКМ-пресс, 2010. 223 с.
2. Николаев А.И., Брыляков Ю.Е., Герасимова Л.Г., Васильева Н.Я. Химическая переработка минеральных концентратов Кольского полуострова. Апатиты: КНЦ РАН, 2003. 196 с.
3. Герасимова Л.Г. Пигменты и наполнители из природного титансодержащего сырья и техногенных отходов. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 96 с.
4. Калининская Т.В., Дринберг А.С. Цветные пигменты. М.: ООО ЛКМ-пресс, 2013. 360 с.
5. Герасимова Л.Г., Николаев А.И., Васильева Н.Я. Строительные краски на основе алюмосиликатных пигментных наполнителей // *Строительные материалы*. 2000. № 1. С. 27–28.

6. Герасимова Л.Г. Использование техногенного сырья для получения пигментов и наполнителей // *Лакокрасочная промышленность*. 2012. № 6. С. 28–33.
7. Герасимова Л.Г. Получение титансодержащего пигментного наполнителя из титанита // *Лакокрасочная промышленность*. 2010. № 8. С. 36–38.
8. Кулешова И.Д. Иркутские микротальки «Талькон» – новые наполнители для лакокрасочных материалов // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2002. № 12. С. 4–8.
9. Кочергин А.В., Краснобай Н.Г. Состояние рынка железистых пигментов и пигментированных наполнителей и перспективы использования природного сырья // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2003. № 1. С. 3–14.

References

1. Gerasimova L.G., Skorohodova O.N. Napolniteli dlja lakokrasochnoj promyshlennosti [Fillers for the paint-and-varnish industry]. Moscow: OOO LKM-press. 2010. 223 p.
2. Nikolaev A.I., Bryljakov Ju.E., Gerasimova L.G., Vasil'eva N.Ja. Himicheskaja pererabotka mineral'nyh koncentratov Kol'skogo poluostrova [Chemical processing of mineral concentrates of the Kola Peninsula]. Apatity: KNC RAN. 2003. 196 p.
3. Gerasimova L.G. Pigmenty i napolniteli iz prirodnogo titansoderzhashhego syr'ja i tehnogennyh othodov [Pigments and fillers from natural titanium-containing raw materials and anthropogenic wastes]. Apatity: KNC RAN, 2001. 96 p.
4. Kalinskaja T.V., Drinberg A.S. Cvetnye pigmenty [Colouring agents]. Moscow: OOO LKM-press. 2013. 360 p.
5. Gerasimova L.G., Nikolaev A.I., Vasil'eva N.Ja. Building paints based on aluminosilicate pigment fillers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2000. No. 1, pp. 27–28. (In Russian).
6. Gerasimova L.G. Recovery of by-products in pigment and filler production. *Lakokrasochnaja promyshlennost'*. 2012. No. 6, pp.28–33 (In Russian).
7. Gerasimova L.G. Producing a titanium-containing pigment filler from titanite. *Lakokrasochnaja promyshlennost'*. 2010. No. 8, pp. 36–38 (In Russian).
8. Kuleshova I.D. Talkon microtalc from Irkutsk – new fillers for paint and varnish materials. *Lakokrasochnye materialy i ih primenenie*. 2002. No. 12, pp. 4–8. (In Russian).
9. Kochergin A.V., Krasnobaj N.G. Situation at the market of iron-oxide pigments and pigmented fillers and possible use of natural minerals. *Lakokrasochnye materialy i ih primenenie*. 2003. No. 1, pp. 3–14 (In Russian).

MosBuild

Главная строительная
и интерьерная выставка России

Неделя Дизайна и Декора

31 марта – 3 апреля 2015
Москва, ЦВК «Экспоцентр»

Неделя Строительства и Архитектуры

14 – 17 апреля 2015
Москва, ЦВК «Экспоцентр»

www.mosbuild.com

MosBuild 

Архитектура ■ Строительство ■ Дизайн ■ Декор





УБЕДИТЕЛЬНО. БЛАГОДАря СОВЕРШЕНСТВУ.

«Weckenmann», как системный поставщик производственных линий для изготовления сборных железобетонных изделий, отвечает самым высоким требованиям и гарантирует Вам, благодаря перспективным решениям, уникальную возможность для опережения конкурентов. Лидирующее качество из Германии и комплексный спектр предложений обеспечивают восторг заказчиков во всем мире. И это как при сооружении новых линий, так и при модернизации существующих машин, систем управлений и комплектных систем.

Больше информации на сайте www.weckenmann.com