

Строительные Материалы[®] №6

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

60 лет с отраслью



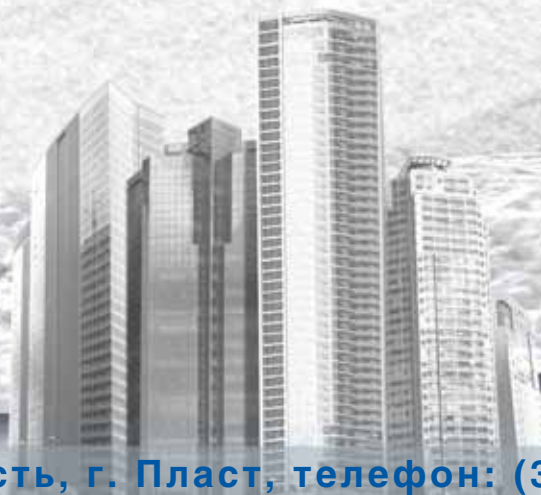
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ISSN 0585-430X ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU ИЮНЬ 2015 г. (726)

МЕСТОРОЖДЕНИЕ КАОЛИНОВ ЖУРАВЛИНЫЙ ЛОГ



Каолиносодержащие материалы:

КАОЛИН ОБОГАЩЕННЫЙ
ПРЕМИКС-каолино-кварцевая смесь
Песок кварцевый
 фракционированный
Кварцевая мука
Метакаолин МКЖЛ
Шамот
Каолин-сырец



Россия, Челябинская область, г. Пласт, телефон: (35160) 2-26-56



ЗАВОД
ТЕХПРИБОР

Тульская обл., г. Щекино
ПРЕДЛАГАЕТ



МЕЛЬНИЦЫ «ТРИБОКИНЕТИКА»

miningworld

Диплом за лучшую
мельницу тонкого помола*

ОСМ 2015

Диплом за лучший
мельничный комплекс



*Всё
перемелется!*

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



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

№6

Основан в 1955 г.

(726) июнь 2015 г.

Главный редактор:

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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»®, 2015

Доклады VI Академических чтений

«Актуальные вопросы строительной физики»

В.А. ЕЗЕРСКИЙ, Н.В. КУЗНЕЦОВА, А.И. ДУБРОВИН
Улучшение свойств мелкозернистого бетона
с помощью комплексов минеральных добавок 4

М.В. КОРОБКОВА
Испытания бетонных образцов с демпфирующими добавками
на динамическую прочность 9

О.А. КОРОЛЬ
Исследования и наукоемкие разработки в области энергоэффективного
строительного производства 13

В.С. СЕМЕНОВ, Т.А. РОЗОВСКАЯ
Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций
с применением облегченных кладочных растворов 16

И.Я. КИСЕЛЁВ
Равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов и ее полимолекулярно-
адсорбированная и капиллярно-конденсированная составляющие 20

В.С. РОЙФЕ
Некоторые проблемы определения влажности материалов
ограждающих конструкций зданий 23

С.А. ТИХОМИРОВ, А.Л. ТИХОМИРОВ, С.Г. ШЕИНА
Тепловой неразрушающий метод контроля состояния
строительных конструкций подземных теплопроводов 26

Влагостойкие решения для стен и потолков (Информация) 30

С.И. ЕВТУШЕНКО, Т.А. КРАХМАЛЬНЫЙ, М.П. КРАХМАЛЬНАЯ, А.С. ЕВТУШЕНКО
Система мониторинга состояния малых железобетонных
мостовых сооружений как фактор повышения их долговечности 32

В.П. ГУСЕВ, А.В. СИДОРОВА
Акустические характеристики покрытий на воздуховоды и технологические трубы .. 35

А.И. АНТОНОВ, В.И. ЛЕДЕНЕВ, Е.О. СОЛОМАТИН, И.Л. ШУБИН
Расчет шума при проектировании звукоизолирующих кожухов технологического
оборудования 39

А.А. ЗАЙЦЕВА, Е.И. ЗАЙЦЕВА, В.Ф. КОРОВЯКОВ
Повышение энергоэффективности за счет тепловой изоляции трубопроводов ... 42

Нанотехнологии в строительстве

Л.А. УРХАНОВА, С.А. ЛХАСАРАНОВ, В.Е. РОЗИНА, С.Л. БУЯНТУЕВ
Мелкозернистый базальтофибробетон с нанокремнеземом 45

VII Международная конференция "Нанотехнологии в строительстве" в Египте ... 49

Материалы и конструкции

А.А. ВИШНЕВСКИЙ, Г.И. ГРИНФЕЛЬД, А.С. СМИРНОВА
Производство автоклавного газобетона в России 52

Р.А. ПЛАТОВА, Ю.Т. ПЛАТОВ, Т.М. АРГЫНБАЕВ, З.В. СТАФЕЕВА
Белый метакраолин: факторы, влияющие на окраску, и методы оценки 55

С.В. ДУГУЕВ, В.Б. ИВАНОВА, К.Ж. САТВАЛДИНОВ
Практические аспекты импортозамещения пигментирующих материалов в
строительной отрасли России 61

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

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

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

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

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROYTEL'NYE MATERIALY®

No. 6

Founded in 1955

(726) June 2015 r.

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHEARNYSHOV 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)

Reports of the VI Academic reading «Actual issues of building physics»

V.A. EZERSKIY, N.V. KUZNETSOVA, A.I. DUBROVIN

Improvement of Fine Concrete Properties with the Help of Complex Mineral Additives... 4

M.V. KOROBKOVA

Tests of Concrete Samples with Damping Additives on Dynamic Strength... 9

O.A. KOROL

Studies and Science-Intensive Developments in the Field of Energy Efficient Construction... 13

V.S. SEMENOV, T.A. ROZOVSKAYA

Improvement of Energy Efficiency of Enclosing Structures with the Use of Lightweight Masonry Mortars... 16

I.Ya. KISELYOV

Equilibrium Sorption Humidity of Cellular Concretes and Its Polymolecular-Adsorbed and Capillary-Condensed Components... 20

V.S. ROYFE

Some Problems of Determining the Moisture Content of Enclosing Structures Materials of Buildings... 23

S.A. TIHOMIROV, A.L. TIHOMIROV, S.G. SHEINA

Thermal Non-Destructive Method for Control over Conditions of Building Structures of Underground Heating Mains... 26

Moisture-Resistant Solutions for Walls and Ceilings (Information)... 30

S.I. EVTUSHENKO, T.A. KRAKHMAL'NY, M.P. KRAKHMAL'NAYA, A.S. EVTUSHENKO

Monitoring System of Small Reinforced Concrete Bridgeworks as a Factor of Increasing Their Durability... 32

V.P. GUSEV, A.V. SIDORINA

Acoustic Characteristics of Coatings for Ducts and Process Pipes... 35

A.I. ANTONOV, V.I. LEDENEV, E.O. SOLOMATIN, I.L. SHUBIN

The Calculation of Hoise When Designing Soundproofed Compartment Technological Equipment... 39

A.A. ZAYTSEVA, E.I. ZAYTSEVA, V.F. KOROVIYAKOV

Improving the Energy Efficiency Due To Heat Insulation of Pipelines... 42

Nanotechnologies in construction

L.A. URKHANOVA, S.A. LKHASARANOV, V.E. ROZINA, S.L. BUYANTUEV

Fine Basalt-Fibrous-Concrete with Nano-Silica... 45

VII International Conference «Nano-Technology in Construction» in Egypt... 49

Materials and structures

A.A. VISHNEVSKY, G.I. GRINFEL'D, A.S. SMIRNOVA

Production of Autoclaved Aerated Concrete in Russia... 52

R.A. PLATOVA, Yu.T. PLATOV, T.M. ARGYNBAEV, Z.V. STAFEEVA

White Metakaolin: Factors Influencing on Coloring and Evaluating Methods... 55

S.V. DUGUEV, V.B. IVANOVA, K.Zh. SATVALDINOV

Practical Aspects of Import Substitution of Pigmenting Materials in Building Industry of Russia... 61

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

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

Строительные материалы № 6

Гипсовые строительные материалы

Н.И. КОЖУХОВА, Е.В. ВОЙТОВИЧ, А.В. ЧЕРЕВАТОВА, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, Д.А. АЛЕХИН Термостойкие ячеистые материалы на основе композиционных гипсокремнеземных вяжущих	65
С.В. АНИСИМОВА, А.Е. КОРШУНОВ, А.А. ЗЕКИН Возможность переработки древесных отходов при производстве гипсовых изделий	70
Новый редуцируемый полимерный порошок для гипсовых материалов: дополнительные свойства и преимущества	74
Н.А. ГАЛЬЦЕВА, А.Ф. БУРЬЯНОВ, Е.Н. БУЛДЫЖОВА, В.Г. СОЛОВЬЕВ Использование синтетического ангидрида сульфата кальция для приготовления закладочных смесей	76
Мифы и реальные преимущества гипсовых наливных полов	78
В.Б. ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ, В.В. БЕЛОВ, Т.Б. НОВИЧЕНКОВА, А.Ф. БУРЬЯНОВ, Ю.Ю. ПОЛЕОНОВА, К.С. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ Ресурсосберегающие безобжиговые гипсовые композиты	79
Е.Н. БУЛДЫЖОВА, А.Ф. БУРЬЯНОВ, Н.А. ГАЛЬЦЕВА, В.Г. СОЛОВЬЕВ Сухие строительные смеси на основе многофазового гипсового вяжущего	82
Ю.В. ТОКАРЕВ, Е.О. ГИНЧИЦКИЙ, Г.И. ЯКОВЛЕВ, А.Ф. БУРЬЯНОВ Эффективность модификации гипсового вяжущего углеродными нанотрубками и добавками различной дисперсности	84
П.Г. ВАСИЛИК, Р.В. КАЛАШНИКОВ, А.Ф. БУРЬЯНОВ, Х.-Б. ФИШЕР Исследование причин возникновения трещин в материалах на основе гипсового вяжущего	88

Stroitel'nye Materialy No. 6

Gypsum building materials

N.I. KOZHUKHOVA, E.V. VOITOVICH, A.V. CHEREVATOVA, I.V. ZHERNOVSKY, D.A. ALEKHIN Heat-Resistant Cellular Materials on the Basis of Composite Gypsum-Silica Binders	65
S.V. ANISIMOVA, A.E. KORSHUNOV, A.A. ZEKIN Possibility of Wood Waste Processing in the Course of Gypsum Articles Manufacture	70
New Redispersed Polymer Powder for Gypsum Materials: Additional Properties and Advantages	74
N.A. GAL'TSEVA, A.F. BUR'YANOV, E.N. BULDYZHOVA, V.G. SOLOV'EV The Use of Synthetic Calcium Sulfate Anhydrite for Production of Filling Mixtures	76
Myths and Real Advantages of Gypsum Poured Floors	78
V.B. PETROPAVLOVSKAYA, V.V. BELOV, T.B. NOVICHENKOVA, A.F. BURIANOV, Yu.Yu. POLEONOVA, K.S. PETROPAVLOVSKY Resource Saving Unburned Gypsum Composites	79
A.F. BUR'YANOV, E.N. BULDYZHOVA, N.A. GAL'TSEVA, V.G. SOLOV'EV Dry Building Mixes on the Basis of a Multiphase Gypsum Binder	82
Yu.V. TOKAREV, E.O. GINCHITSKY, G.I. YAKOVLEV, A.F. BUR'YANOV Efficiency of Modification of a Gypsum Binder with Carbon Nanotubes and Additives of Various Dispersity	84
P.G. VASILIK, R.V. KALASHNIKOV, A.F. BUR'YANOV, H.-B. FISHER Research in Reasons for Crack Initiation in Materials on the Basis of a Gypsum Binder	88

В.А. ЕЗЕРСКИЙ¹, д-р техн. наук (wiz75micz@rambler.ru);

Н.В. КУЗНЕЦОВА², канд. техн. наук (nata-kus@mail.ru), А.И. ДУБРОВИН², студент

¹ Белостокский технический университет (РП, 15-351 г. Белосток, ул. Сельская, 95а)

² Тамбовский государственный технический университет (392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106)

Улучшение свойств мелкозернистого бетона с помощью комплексных минеральных добавок

Для снижения материал- и энергоемкости производства бетонных изделий требуется разработка рецептур и внедрение технологии производства многокомпонентных мелкозернистых бетонов с использованием производственных отходов. Введение в цементную смесь сталеплавильного шлака и микрокремнезема позволит оптимизировать гранулометрический состав заполнителей, при использовании пластифицирующей добавки – улучшить структуру композиционного материала. Приводятся результаты экспериментального определения прочности при сжатии, водопоглощения, плотности образцов цементного композиционного материала в зависимости от процентного соотношения компонентов. При увеличении содержания сталеплавильного шлака в составе мелкого заполнителя от 0 до 30% наблюдается повышение прочности образцов на 22%. Положительное влияние на прочностные показатели оказывает введение микрокремнезема в количестве 20% и добавка суперпластификатора С-3 до 3% от массы вяжущего. Приводятся рецептуры и прочностные характеристики составов мелкозернистых бетонов, пригодных для изготовления стеновых блоков.

Ключевые слова: ресурсосбережение, мелкозернистый бетон, минеральная добавка, сталеплавильный шлак, микрокремнезем.

V.A. EZERSKIY¹, Doctor of Sciences (Engineering) (wiz75micz@rambler.ru);

N.V. KUZNETSOVA², Candidate of Sciences (Engineering) (nata-kus@mail.ru), A.I. DUBROVIN², Student

¹ Białystok University of Technology (95a, Wiejska Street, Białystok, 15-351, Poland)

² Tambov State Technical University (106, Sovetskaya Street, Tambov, 392000, Russian Federation)

Improvement of Fine Concrete Properties with the Help of Complex Mineral Additives

To reduce material and energy consumption of concrete products manufacturing, it is necessary to develop the formulation and introduce technologies of production of multi-component fine concretes with the use of industrial waste. The introduction of steelmaking slag and micro-silica in cement mix makes it possible to optimize the granulometric composition of fillers, and, in case of using the plasticizing additive, to improve the structure of composite material. Results of the experimental determination of compressive strength, water absorption, density of the samples of the cement composite material depending on the percentages of components are presented. In case of increasing the content of steelmaking slag in the composition of a fine filler by 0–30%, the increase in the strength of samples by 22% is observed. The introduction of 20% of micro-silica and addition of the superplasticizer C-3 to 3% by weight of the binder positively influence on the strength characteristics. Formulations and strength characteristics of fine concrete compositions suitable for the manufacture of wall blocks are presented.

Keywords: resource saving, mineral additive, steelmaking slag, micro-silica.

Бетонные и железобетонные конструкции, а также мелкозернистые изделия из минеральных сырьевых составляющих являются наиболее востребованными в Центрально-Черноземном регионе. Это обусловлено особенностями региональной базы строительных материалов, в научных исследованиях им уделяется большое внимание. Признано, что одним из перспективных направлений развития строительной индустрии региона является разработка и внедрение конкурентоспособных технологий производства бетонных изделий.

Наиболее доступными на региональном уровне путями снижения себестоимости изделий при сохранении требуемых конструктивно-технических качеств являются: применение местных эффективных заполнителей, снижение материал- и энергоемкости производства, сокращение трудозатрат [1].

Для производства бетона кроме цемента используется большое количество мелкого и крупного заполнителей. К сожалению, в Тамбовской области отсутствуют запасы каменного сырья и имеются проблемы с обеспечением строительного комплекса щебнем. Кроме того, местные пески по показателю крупности относятся к мелким и не могут использоваться без дополнительного введения крупных фракций. В связи с этим обеспечение строительной отрасли минеральным сырьем в виде заполнителей является одной из важных проблем в регионе.

При наличии подобных проблем с заполнителями важными составляющими для производства бетонных смесей становятся различного рода добавки, действие которых направлено на оптимизацию структуры це-

ментного камня и, как следствие, улучшение эксплуатационных и технологических характеристик бетонов.

Одним из рациональных решений, учитывающим возможности и особенности строительной индустрии региона, является разработка рецептур многокомпонентных мелкозернистых бетонов с заменой части мелкого заполнителя техногенными отходами. Это позволило бы одновременно с решением проблем местной строительной индустрии также решать эколого-экономические проблемы.

Такой постановке задачи способствует также известный факт, что на сталеплавильных производствах, действующих в Тамбовской и Липецкой областях, образуются многотоннажные отходы в виде шлаков, складированных в отвалы. Для их утилизации является вполне целесообразным использование сталеплавильного шлака в качестве мелкого заполнителя бетонов [2].

По химическому составу сталеплавильный шлак ОАО «НЛМК» состоит на 90–95% из оксидов (CaO, SiO₂, Al₂O₃ и отчасти MgO). В результате охлаждения металлургический шлак распадается на отдельные гранулы, приобретающие стекловидное тонкозернистое состояние [3]. Состав шлака представлен силикатами и стекловидной фазой, при определенной дисперсности частиц эти минералы обладают гидравлической активностью [4, 5].

Положительное влияние на формирование бездефектной структуры цементного камня оказывают также наполнители, обладающие реакционно-химической активностью. К ним можно отнести микрокремнезем, по-

лучаемый из природного сырья в Тамбовской области. Частицы микрокремнезема вследствие малых размеров и большой удельной поверхности способствуют появлению дополнительных центров кристаллизации, участвуют в реакциях гидратации с образованием прочных гидросиликатов, усиливают контактную зону между наполнителем и цементом [6, 7].

Однако наличие в цементной смеси частиц наполнителя с большой удельной поверхностью приводит к значительному росту водопотребности и повышенному водопоглощению. Введение добавки суперпластификатора позволяет снизить водосодержание дисперсной системы при сохранении заданной подвижности смеси. Оптимальная дозировка пластификатора выбирается с учетом его водоредуцирующего эффекта и исключения блокирующего действия на гидратационную активность цемента [8, 9].

В данном исследовании разработан состав мелкозернистого бетона с использованием измельченного стале-плавильного шлака для замены им части мелкого заполнителя в цементной смеси, с модификацией смесей с помощью наполнителя микрокремнезема и добавки в виде суперпластификатора С-3. Приводятся физико-механические характеристики образцов из этого бетона, полученные на основе лабораторных исследований.

Основными характеристиками, позволяющими определить предполагаемые области использования конструкций и изделий из мелкозернистого бетона, являются прочность при сжатии, плотность, водопоглощение. Эти показатели приняты в эксперименте в качестве целевых функций. Исследование зависимостей целевых функций от влияющих факторов, в данном случае соотношений компонентов в смеси, проводилось с использованием математических методов планирования эксперимента.

Для приготовления образцов использовались частицы измельченного шлака крупностью от 0 до 2,5 мм с модулем крупности 1,9. Гранулометрический состав заполнителя из местного мелкого кварцевого песка предполагалось улучшать более крупными частицами шлака. Количество вводимого в заполнитель шлака принималось от 15 до 30% с целью создания наиболее плотной упаковки зерен [10]. Доля содержания стале-плавильного шлака в заполнителе варьировалась от 0 до 30%. Количество вводимого микрокремнезема принималось по отношению к вяжущему в пределах от 0 до 20 мас. %. С учетом рекомендаций [8] в бетонную смесь вводилась добавка суперпластификатора С-3 в количестве от 0 до 3% от массы вяжущего.

Соотношения вяжущего и заполнителя в смеси принимались от 1/2 до 1/4 как наиболее часто используемые в практике производства бетонных изделий.

Для описанных выше факторов были введены обозначения, приняты диапазоны изменения в эксперименте и рассчитаны кодированные значения:

x_1 – доля содержания стале-плавильного шлака в заполнителе (0 (-1), 15% (0), 30% (+1));

x_2 – отношение вяжущее/заполнитель (1/2 (-1), 1/3 (0), 1/4 (+1));

x_3 – доля содержания микрокремнезема, % от вяжущего (0 (-1), 10% (0), 20% (+1));

x_4 – содержание добавки пластификатора С-3, % от вяжущего (0 (-1), 1,5% (0), 3% (+1)).

Выбор числа уровней варьирования факторов определялся с учетом криволинейного характера зависимости физико-механических характеристик композиционного строительного материала от выбранных факторов. В скобках приведены кодированные значения уровней факторов, переход к которым производился по соотношению:

$$x_i = (\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0})/I,$$

где \tilde{x}_i – натуральное значение i -го фактора; \tilde{x}_{i0} – натуральное значение i -го фактора на основном уровне, определяемое как полусумма значений верхней и нижней границ области определения фактора; I – натуральное значение полуинтервала варьирования i -го фактора, определяемое как полуразность верхней и нижней границ области определения фактора.

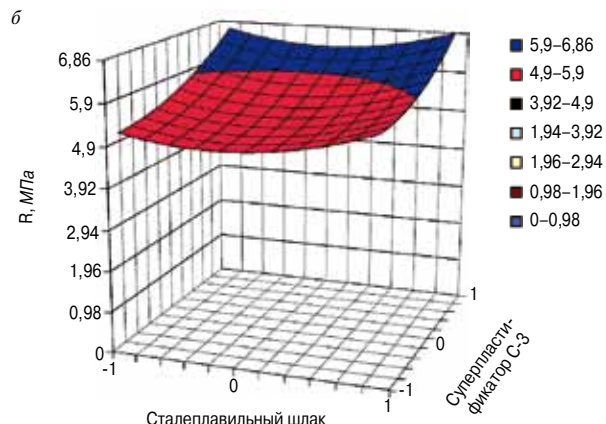
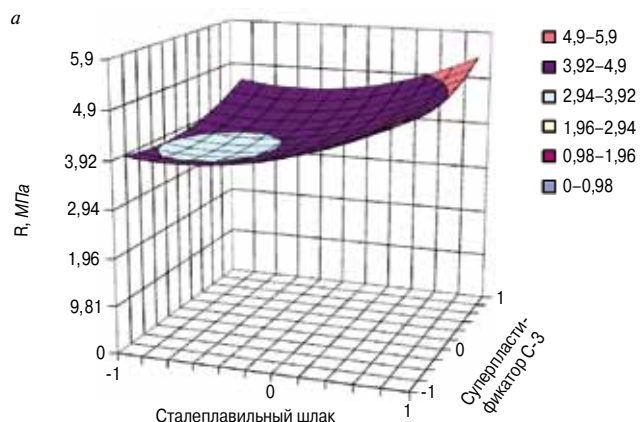
Для проведения испытаний на центральное сжатие изготавливались образцы в форме балочек 40×40×160 мм по три образца-дублера в каждой партии. Количество образцов в эксперименте составило 144 балочки. Спустя 3 сут после формирования образцы расформовывались и набор прочности протекал в нормальных условиях в течение 28 сут.

Экспериментальное определение прочности образцов при сжатии, плотности и водопоглощения образцов выполнялось согласно методикам ГОСТ 10180–90, ГОСТ 12730.1–78, ГОСТ 12730.3–78.

После первичной обработки экспериментальных данных, приведенных в табл. 1, разработаны математические модели зависимостей целевых функций от влияющих факторов в виде полиномов второго порядка.

Для интерпретации результатов исследования на основе полученных математических моделей построены графические зависимости рассматриваемых функций цели от двух факторов при фиксированных значениях третьего и четвертого.

Анализируя зависимость на рисунке а, можно отметить, что наибольшую прочность (5,32 МПа) имеют образцы с содержанием стале-плавильного шлака 30% и добавкой суперпластификатора С-3 в количестве 3% от массы вяжущего. При изменении содержания стале-плавиль-



Прочность при сжатии мелкозернистого бетона в зависимости от содержания стале-плавильного шлака (x_1) и суперпластификатора С-3 (x_4) при отношении вяжущее/заполнитель – 1/2 ($x_2 = -1$) и содержании микрокремнезема: а – 0% ($x_3 = -1$); б – 20% ($x_3 = +1$) от массы вяжущего

Таблица 1

№ опыта	x_1	x_2	x_3	x_4	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	Плотность ρ_w , кг/м ³	Водопоглощение W_M , %
1	-1	-1	-1	-1	4,24	2035	2,39
2	+1	-1	-1	-1	5,59	2116	2,4
3	-1	+1	-1	-1	1,18	1754	11,09
4	+1	+1	-1	-1	1,55	1788	9,9
5	-1	-1	+1	-1	5,32	1968	2,83
.....
21	0	0	-1	0	2,37	1988	5,74
22	0	0	+1	0	2,61	1851	5,16
23	0	0	0	-1	1,90	1799	4,526
24	0	0	0	+1	2,67	1928	2,5

ного шлака от 0 до 30% и фиксированном количестве добавки суперпластификатора С-3 1,5% от массы вяжущего наблюдается повышение прочности образцов на 22%.

Как показывают результаты эксперимента, введение микрокремнезема в количестве 20% от массы вяжущего оказывает положительное влияние на прочностные показатели материалов. Максимальное значение прочности повышается до 7 МПа при содержании сталеплавильного шлака 30% и добавки суперпластификатора С-3 в количестве 3% от массы вяжущего (рисунок б).

Заметную положительную роль выполняет добавка суперпластификатора С-3. При увеличении ее содержания в смеси от 0 до 3% прочность образцов, включающих сталеплавильный шлак в количестве 30%, возрастает на 21%.

При сравнении графиков (рисунок) видно, что при содержании сталеплавильного шлака 30% и суперпластификатора С-3 (3%) введение в смесь 20% микрокремнезема увеличивает прочность материалов на 30%. Это можно объяснить тем, что введение микрокремнезема повышает водопотребность растворной смеси и для достижения наибольших показателей прочности крайне необходимо введение суперпластификатора С-3.

При совместном введении в растворную смесь добавок сталеплавильного шлака, микрокремнезема и суперпластификатора С-3 формируется плотная мелкозернистая структура мелкозернистого бетона с близким к оптимальному гранулометрическому составом, что подтверждается экспериментальными результатами определения плотности и водопоглощения образцов. Наибольшие значения плотности – 1970–2075 кг/м³ – имеют образцы мелкозернистого бетона (заполнитель/вяжущее – 2:1) с добавками микрокремнезема (до 20%), сталеплавильного шлака (от 20 до 30%) при использовании в составе смесей суперпластификатора С-3 (от 1,5 до 3 мас. %).

Для тех же образцов были получены минимальные значения водопоглощения 2–2,6%, причем введение в смесь суперпластификатора С-3 вызывает существенное снижение водопоглощения – более чем на 30%.

Полученные данные прочности, плотности и водопоглощения мелкозернистых бетонов с минеральными добавками показывают, что наиболее эффективным способом управления физико-механическими свойствами является проектирование многокомпонентных составов цементных смесей, включающих природные и техногенные заполнители оптимального гранулометрического состава, микрозаполнители, пластификаторы.

На основе полученных математических зависимостей установлены оптимальные составы смесей для изготовления мелкоштучных бетонных изделий (стеновых блоков) с заданными свойствами (табл. 2).

После проведенного анализа физико-механических характеристик основных строительных изделий было вы-

Таблица 2

Микрокремнезем, %	Шлак, %	Заполнитель/вяжущее	Суперпластификатор, %	$R_{сж}$, МПа	Класс бетона
8	–	2,5	0	6,46	B5
8	–	3,1	0	6,45	
0	30	3,7	3	6,44	
5	15	4	0	6,64	
25	30	2,2	3	9,68	B7,5
27	30	2	3	10,32	
30	30	2	3	10,17	
25	30	2	3	9,71	

явлено, что рецептуры полученных составов композиционных материалов с использованием отходов сталеплавильных производств подойдут для изготовления стеновых блоков по ГОСТ 19010–82. В табл. 2 приведены составы и прочностные характеристики строительных композиционных материалов с использованием сталеплавильных шлаков, соответствующие данным требованиям.

Список литературы

1. Лощенко А.Л. Стратегия развития промышленности строительных материалов и индустриального домостроения на период до 2020 года как основа сбалансированного развития строительной индустрии // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 46–47.
2. 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.
3. Горшков В.С., Александров С.Е., Ивашенко С.И., Горшкова И.В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве / Под ред. В.С. Горшкова. М.: Стройиздат, 1985. 272 с.
4. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 56–55.
5. Корнеева Е.В. Исследования шлаков сталеплавильного производства с целью вторичного использования // *Строительные материалы*. 2012. № 8. С. 62–63.
6. Кошкин А.Г., Коровкин М.О., Уразова А.А., Ерошкина Н.А. Исследование эффективности добавки на основе микрокремнезема // *Современные научные исследования и инновации: научный интернет-журнал*. 2014. № 12 <http://web.snauka.ru/issues/2014/12/42177> (дата обращения 20.04.2015).

7. Коровкин М.О., Калашников В.И., Ерошкина Н.А. Эффективность суперпластификаторов и методология ее оценки. Пенза: Изд-во ФГБОУ ВПО «ПГАСУ», 2012. 144 с.
8. Калашников В.И., Гуляева Е.В., Валиев Д.М. Влияние вида супер- и гиперпластификаторов на реотехнологические свойства цементно-минеральных суспензий, порошковых бетонных смесей и прочностные свойства бетонов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2011. № 12. С. 40–45.
9. Калашников В.И., Гуляева Е.В. Влияние вида и дозировки суперпластификатора на реотехнологические свойства цементных суспензий, бетонных смесей и порошково-активированных бетонов // *Цемент и его применение*. 2012. № 2. С. 66–72.
10. Грызлов В.С. Формирование структуры шлакобетон: Монография. Череповец: ЧГУ, 2011. 274 с.

References

1. Loschenko A.L. Strategy of development of building materials industry and industrial housing construction for the period till 2020 as a basis of balanced development of the construction industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10, pp. 46–47. (In Russian).
2. Il'ichev V.A., Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N. 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).
3. Gorshkov V.S. Alexandrov S.E., Ivashchenko S.I., Gorshkov I.V. Kompleksnaya pererabotka i ispol'zovanie metallurgicheskikh shlakov v stroitel'stve [Complex processing and use of metallurgical slag in construction]. Ed. by V.S. Gorshkov. Moscow: Stroyizdat. 1985. 272 p.
4. Veshnjakova L.A., Frolova M.A., Eisenstadt A.M., Lesovik V.S., Mikhailov O.N., Macha T.A. Evaluation of energetic state of raw material for production of building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10. pp. 56–55. (In Russian).
5. Korneev E.V. Study of steelmaking slag for the purpose of secondary use. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 8, pp. 62–63. (In Russian).
6. Koshkin A.G., Korovkin M.O., Urazova A.A., Eroshkina N.A. Study the effectiveness of supplements based on microsilica. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii: scientific Internet-journal*. 2014. No. 12 <http://web.snauka.ru/issues/2014/12/42177> (date of access 20.04.2015). (In Russian).
7. Korovkin M.O., Kalashnikov V.I., Eroshkina N.A. Effektivnost' superplastifikatorov i metodologiya ee otsenki [The effectiveness of superplasticizers and methodology to assess it]. Penza: Publishing House of the VPO «PGASA». 2012. 144 p.
8. Kalashnikov V.I. Gulyaev E.V., Valiev D.M. Influence of the type of super- and hyperplasticizers on the reotechnological properties of cement-mineral suspensions, powder mixed concrete and mechanical properties of concrete. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2011. No. 12, pp. 40–45. (In Russian).
9. Kalashnikov V.I. Gulyaev E.V. Influence of the type and dosage of super-plasticizer on the properties of cement slurries reotechnologicheskies, baa-ton mixtures and powder-activated concrete. *Tsement i ego primenenie*. 2012. No. 2, pp. 66–72. (In Russian).
10. Gryzlov V.S. Formirovanie struktury shlakobeton [Cinderblock structure formation]: Monograph. Cherepovets: CSU. 2011. 274 p.

При поддержке: **APCC** Ассоциация развития стального строительства

Российский союз поставщиков металлопродукции

Организатор: **METALMAA** **EKSTO**

Международная специализированная выставка

Металло Конструкции 2016

22-25 марта 2016

Москва ЦВК «Экспоцентр»

Генеральный информационный партнер: **MC** Специализированный журнал «Металлоснабжение и сбыт»

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

www.mc-expo.ru



KNAUF



НЕМЕЦКИЙ СТАНДАРТ. ЕДИНОЕ КАЧЕСТВО ДЛЯ ВСЕХ СТРАН

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

УДК 691.542

М.В. КОРОБКОВА, инженер (marina-koro@nm.ru)

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

Испытания бетонных образцов с демпфирующими добавками на динамическую прочность

Представлены результаты экспериментов по замене части песчаного заполнителя эквивалентным объемом демпфирующих добавок с целью исследования вызываемых ими изменений свойств бетонов под действием динамических нагрузок. В качестве добавок использовались пенополистирол, пеностекло, кирпичная крошка и керамзит. Образцы-кубы подвергались воздействию различных динамических нагрузок, после чего измерялась их прочность и сравнивалась с результатами, полученными для контрольного образца. Также на вертикальном динамическом копре измерялась ударная прочность образцов полученных составов. На основе экспериментальных исследований показана возможность повышения ударной прочности бетона за счет введения в состав бетонной смеси демпфирующих компонентов. При этом отмечено некоторое снижение других характеристик полученных бетонов. Определена оптимальная добавка и ее количество для применения в бетонных смесях, подвергающихся динамическим нагрузкам.

Ключевые слова: демпфирующие добавки, маложесткие компоненты, ударная прочность, мелкозернистый бетон.

M.V. KOROBKOVA, Engineer (marina-koro@nm.ru)

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

Tests of Concrete Samples with Damping Additives on Dynamic Strength

Results of experiments on replacement of a part of the sand filler with an equivalent volume of damping additives with the purpose to study the changes in concrete properties caused under the action of dynamic loads are presented. Foam polystyrene, foam glass, crushed brick, and claydite are used as additives. Sample-cubes were subjected to the impact of different dynamic loads, after that their strength were measured and compared with results obtained for the control sample. The impact strength of samples of the compositions obtained was also tested at the vertical dynamic impact machine. On the basis of experimental studies, the possibility of increasing the impact strength of concrete due to introducing damping components in the composition of concrete mix is shown. At that, there was some reduction in other properties of concretes obtained. The optimum additive and its amount for application in concrete mixes subjected to dynamic loads have been determined.

Keywords: damping additives, low stiffness components, impact strength, fine concrete.

К настоящему времени появилось большое количество работ, посвященных исследованию влияния маложестких пористых компонентов на свойства бетонных смесей [1–8]. Считается, что такие включения (демпфирующие добавки) могут замедлять развитие трещин [2, 9–12]. По существующей теории этот эффект объясняется поглощением растущей трещины маложестким включением, которое не способно отдавать полученную энергию, затраченную на его деформирование [9, 11]. Также маложесткие дисперсные добавки используются в других целях, например для снижения звукопроницаемости бетонных ограждающих конструкций и перекрытий [1] или для повышения морозостойчивости.

Рассмотрим более подробно изменение свойств бетона при включении в смесь маложестких компонентов. Для экспериментов в качестве исследуемых добавок используем пенополистирол (фракции 0,8–5 мм), керамзитовый песок (фракции 0,63–5 мм) и пеностекло (фракции 0,63–5 мм). Керамзит и пеностекло с размером частиц менее 0,14 мм отсеивались для минимизации участия тонкодисперсных фракций в химическом взаимодействии в процессе гидратации и акцентирования именно эффекта демпфирования.

Для приготовления бетонных смесей использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н, песок речной кварцево-полевкошпатовый (модуль крупности $M_k=2,3$).

Приготовление растворов заключалось в перемешивании вручную смеси сухих компонентов с последующим добавлением воды затворения. Водоцементное отношение всех составов внутри серии сохранялось неизменным и составляло 0,5. При введении маложестких добавок часть песка замещалась таким образом, чтобы объемное соотношение цемент:заполнитель оставалось неизменным (1:3)

Эксперимент проводился по следующей схеме:

1. Изготавливались образцы-кубы (с ребром 7,07 см) по 9–12 штук для каждого состава.
2. Определялась прочность при сжатии образцов с различным содержанием добавок. Определение проводилось на трех кубах, вычислялось среднее значение и неопределенность методом среднеарифметического. При относительной неопределенности, превышающей 12%, опыты повторялись.
3. Следующая тройка образцов подвергалась динамическим нагрузкам, равным 70% от разрушающей нагрузки, определенной на предыдущем этапе. После 50 циклов нагружений для данных образцов также определялась прочность при сжатии.
4. Еще одна часть образцов подвергалась циклической ударной нагрузке на вертикальном динамическом копре. Масса груза 3,5 кг; высота падения груза 20 см; количество ударов 50 раз (величина энергии одного удара равнялась 19,6 Дж). Нагруженные таким образом кубы испытывались на прочность при сжатии.

Полученные результаты представлены на рис. 1–4. Видно, что с повышением количества добавки прочность при сжатии уменьшается. Это ожидаемый эффект, так как данные пористые заполнители обладают сильно отличающимися от цементного камня упругими свойствами. Вследствие этого повышается неоднородность бетонной смеси и создаются дефекты бетонной матрицы, что в свою очередь снижает трещиностойкость. Похожая ситуация наблюдается при использовании всех четырех типов добавок. Можно заметить, что для таких компонентов, как кирпичная крошка и керамзит, минимальные значения прочности при сжатии лежат в районе 20–25 МПа, тогда как для пенополистирола и пеностекла они меньше 5 МПа.

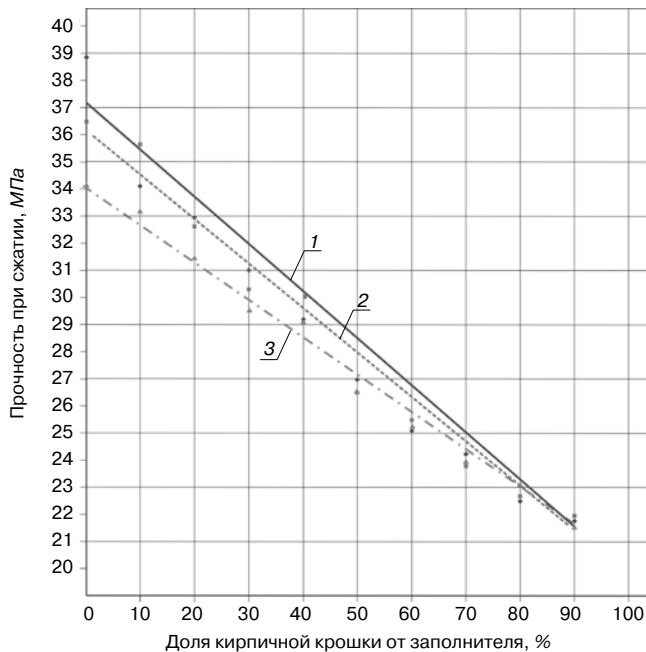


Рис. 1. График зависимости прочности при сжатии от количества кирпичной крошки для контрольного образца и образцов, подвергшихся динамическим нагрузкам: 1 – контрольный образец; 2 – после циклической ударной нагрузки; 3 – после циклической нагрузки при сжатии

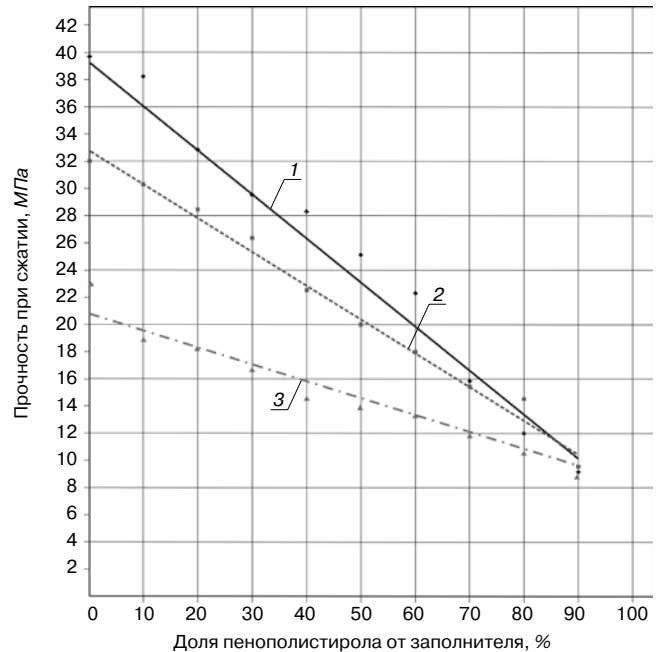


Рис. 2. График зависимости прочности при сжатии от количества пенополистирола для контрольного образца и образцов, подвергшихся динамическим нагрузкам: 1 – контрольный образец; 2 – после циклической ударной нагрузки; 3 – после циклической нагрузки при сжатии

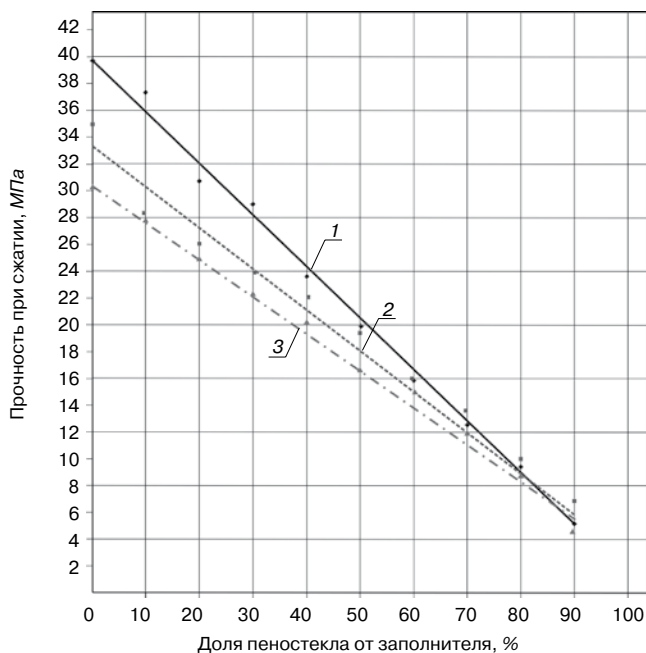


Рис. 3. График зависимости прочности при сжатии от количества пеностекла для контрольного образца и образцов, подвергшихся динамическим нагрузкам: 1 – контрольный образец; 2 – после циклической ударной нагрузки; 3 – после циклической нагрузки при сжатии

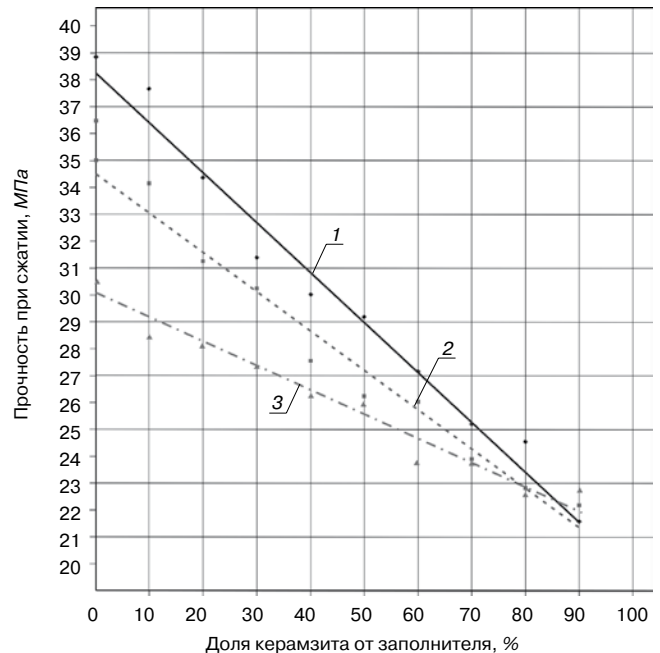


Рис. 4. График зависимости прочности при сжатии от количества керамзита для контрольного образца и образцов, подвергшихся динамическим нагрузкам: 1 – контрольный образец; 2 – после циклической ударной нагрузки; 3 – после циклической нагрузки при сжатии

По углу наклона кривых на графиках (рис. 1–4) видно: чем больше количество маложестких компонентов, тем меньше разница в прочности при сжатии между контрольным образцом и образцами, предварительно подвергшимися динамическим нагрузкам. Это указывает на то, что при высоком содержании добавок количество микродефектов структуры бетона в образцах не увеличивается или увеличивается незначительно после приложенных к ним динамических нагрузок. Данные эксперименты наглядно показывают, что эффект демпфирования действительно имеет место.

Оценим влияние данных добавок на ударную прочность. Серию кубов, идентичных описанным ранее, подвергали испытаниям на вертикальном динамическом копре при массе свободно падающего тела 5 кг с высоты 10 см. Ударная прочность оценивалась по количеству ударов до разрушения. Результаты экспериментов представлены на рис. 5.

При замене некоторого количества наполнителя маложесткими добавками происходит повышение ударной прочности образцов. Максимальные значения получены при замене около 30% наполнителя керамзитом – прирост ударной прочности на $22 \pm 3\%$. Для остальных

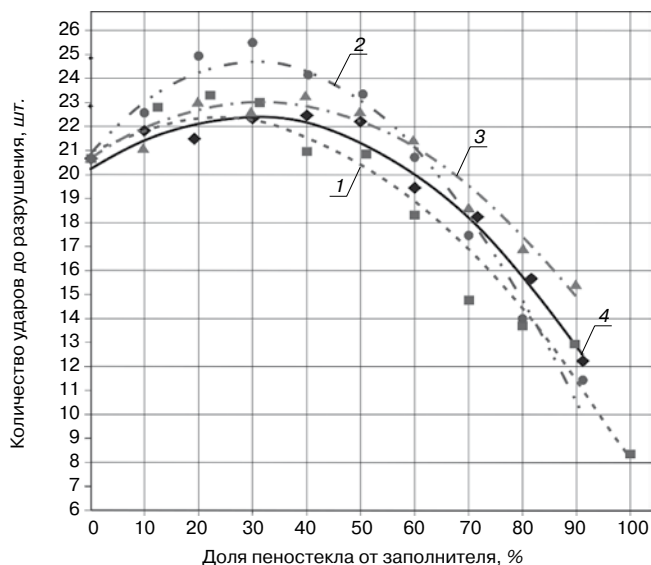


Рис. 5. График зависимости количества ударов до разрушения от количества различных добавок в бетонной смеси: 1 – пеностекло; 2 – керамзит; 3 – пенополистирол; 4 – кирпичная крошка

добавок значения примерно одинаковы; лучшие результаты получены при замене 20–40%, при этом ударная прочность увеличивается на 10–15%.

Исследованные маложесткие компоненты бетона имеют существенные отличия в физико-механических характеристиках. Это обуславливает различия в величине демпфирующего эффекта, а также степени снижения статической прочности (таблица). Очевидно, что требуется количественная оценка параметров демпфирования в зависимости от свойств маложестких компонентов и уточнение его механизма для выработки методов проектирования бетонов.

Таким образом, результатами проведенных экспериментальных исследований подтверждена возможность повышения ударной прочности бетона за счет введения

Список литературы

1. Adam G. Bowland, Richard E. Weyers, Finley A. Charney, Norman E. Dowling, Thomas M. Murray, Andrei Ramniceanu. Effect of vibration amplitude on concrete with damping additives // *Materials Journal*. 2012. Vol. 109. No. 3, pp. 371–378.
2. Yeh J. Advanced Civil, Urban and Environmental Engineering. Southampton: WIT Press, 2014. 813 p.
3. Лотошников Е.О. Физико-химические исследования микро- и макроструктуры бетонов жесткого прессования с демпфирующей добавкой зольных микросфер // Электронный научный журнал *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 4. <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2092> (дата обращения 14.02.2014).
4. Ткаченко Г.А., Ерофеев В.П., Ерофеев А.П. Бетоны повышенной трещиностойкости для изготовления дорожных изделий // *Строительные материалы*. 2010. № 10. С. 57–59.
5. Дамдинова Д.Р., Павлов В.Е., Алексеев Э.М. Пеностекло как основа для получения облицовочных материалов с регулируемой поровой структурой // *Строительные материалы*. 2012. № 1 С. 44–46.
6. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Чудакова О.А. Модифицирование мелкозернистого бетона микро- и наноразмерными частицами шунгита и диоксида титана // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2010. № 2. С. 67–70.
7. Arulraj G.P., Adin A., Kannan T.S. Granite Powder Concrete // *IRACST – Engineering Science and*

Демпфирующая добавка	Доля добавки от объема заполнителя, %	Повышение ударной прочности, %	Снижение прочности при сжатии, %		
			контрольного образца	образца после циклических ударных нагрузок	образца после цикла сжимающих нагрузений
Пенополистирол	40	13	37	36	37
Пеностекло	20	15	20	18	17
Керамзит	30	22	14	13	10
Кирпичная крошка	30	14	13	10	8

маложестких компонентов. Тем не менее эффективность использования различных добавок сильно отличается. Результаты экспериментов показывают, что самым перспективным включением является керамзит при эквивалентной замене 30% объема заполнителя. При увеличении ударной прочности до 22% падение статической прочности при сжатии составляет всего 14%. Для простоты сравнения добавок введем коэффициент, показывающий соотношение повышения ударной прочности к снижению прочности при сжатии. Для керамзита он составляет $22/14=1,57$; для кирпичной крошки – 1,07; для пеностекла – 0,75 и для пенополистирола – 0,35.

На свойства бетона влияет большое количество факторов, что затрудняет проектирование материала с заданными характеристиками на основе применения демпфирующих добавок. Для решения этой задачи следующий этап работы предполагает применение метода структурно-имитационного моделирования, позволяющего выявить основные факторы, оценить степень их влияния и выработать основные направления получения бетонов с прогнозируемыми характеристиками.

References

1. Adam G. Bowland, Richard E. Weyers, Finley A. Charney, Norman E. Dowling, Thomas M. Murray, Andrei Ramniceanu. Effect of vibration amplitude on concrete with damping additives. *Materials Journal*. 2012. Vol. 109. No. 3, pp. 371–378.
2. Yeh J. Advanced Civil, Urban and Environmental Engineering. Southampton: WIT Press, 2014. 813 p.
3. Lotoshnikova E.O. Physical and chemical researches micro and macrostructures of rigid pressing concrete with the damping additives of cindery microspheres. Electronic scientific magazine *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2013. No. 4. <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2092>. (date of access 14.02.2014).
4. Tkachenko G.A., Erofeev V.P., Erofeev A.P. Concretes of higher crack resistance for production of road articles. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 10. pp. 57–59. (In Russian).
5. Damdinova D.R., Pavlov V.E., Alekseev E.M. Foam glass as the base for facing materials with controlled porous structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 1, pp. 44–46. (In Russian).
6. Lukutcova N.P., Pykin A.A., Chudakova O.A. Modifying of fine-grained concrete by micro and nanodimensional particles of a shungit and dioxide of the titan. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2010. No. 2, pp. 67–70. (In Russian).
7. Arulraj G.P., Adin A., Kannan T.S. Granite Powder Concrete. *IRACST – Engineering Science and Technology*:



- Technology: An International Journal (ESTIJ)*. 2013. Vol. 3. No. 1, pp. 193–199.
8. Fennis S.A.A.M., Walraven J.C., Uijl J.A. Compaction-interaction packing model: regarding the effect of fillers in concrete mixture design // *Materials and Structures*. 2013. Vol. 46, Iss. 3, pp. 463–478.
 9. Бабков В.В., Мохов В.Н., Давлетшин М.Б., Парфенов А.В. и др. Модифицированные бетоны повышенной ударной выносливости // *Строительные материалы*. 2002. № 5. С. 24–27.
 10. Бспаев А.А., Джарылсасынов С.Ш. Прочность и деформативность высокопрочных бетонов при динамических нагрузках // *Международная научная конференция «Механика и строительство транспортных сооружений»*. 28–29 января 2010 г. Алма-Ата. 2010. С. 229–232.
 11. Брагов А.М., Ломунов А.К., Константинов А.Ю., Ламзин Д.А. Исследование механических свойств мелкозернистого бетона при динамическом нагружении // *Приволжский научный журнал*. № 4. 2014. С. 8–17.
 12. Balandin V., Kochetkov A., Krylov S., Sadyrin A., Feldgun V. Experimentally and theoretically investigating the processes of impact and penetration of bodies into concrete obstacles // *Proceedings Fib Symposium. Engineering a Concrete Future: Technology, Modeling and Construction*. Tel-Aviv. 22–24 April. 2013, pp. 601–604.
 13. Панталеенко В.Н. Повышение долговечности бетона конструкций для нефтегазопромыслового строительства: Монография. Ухта: УГТУ, 2001. 91 с.
- An International Journal (ESTIJ)*. 2013. Vol. 3. No. 1, pp. 193–199.
8. Fennis S.A.A.M., Walraven J.C., Uijl J.A. Compaction-interaction packing model: regarding the effect of fillers in concrete mixture design. *Materials and Structures*. 2013. Vol. 46. Iss. 3, pp. 463–478.
 9. Babkov V.V., Mohov V.N., Davletshin M.B., Parfyonov A.V., et all. Modified concrete with high impact strength. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2002. No. 5, pp. 24–27. (In Russian).
 10. Bспаев А.А., Dzharylsasynov S.Sh. Strength and deformability of high-strength cement concrete under dynamic loading. *International Scientific Conference «Mechanics and construction of transport buildings»*. Almaty. 2010, pp. 229–232. (In Russian).
 11. Bragov A.M., Lomunov A.K., Konstantinov A.Y., Lamzin D.A. Research of mechanical properties of fine-grained concrete under dynamic loading. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal*. 2014. No. 4, pp. 8–17. (In Russian).
 12. Balandin V., Kochetkov A., Krylov S., Sadyrin A., Feldgun V. Experimentally and theoretically investigating the processes of impact and penetration of bodies into concrete obstacles. *Proceedings Fib Symposium. Engineering a Concrete Future: Technology, Modeling and Construction*. Tel-Aviv. 22–24 April. 2013, pp. 601–604.
 13. Pantileenko V.N. Povyshenie dolgovechnosti betona konstruktssii dlya neftegazopromyslovogo stroitel'stva: Monografiya [Increase of durability of concrete for oil and gas construction: Monograph]. Uhta: UGTU. 2001. 91 p.



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

г. Веймар (Германия)

IBAUSIL

16–18 сентября 2015 г.

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

Основные темы конгресса

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

Официальные языки конференции – немецкий, английский

Подробности Вы найдете на сайте: www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

УДК 692.232.13

О.А. КОРОЛЬ, инженер (mrkorol.oleg@gmail.com)

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

Исследования и наукоемкие разработки в области энергоэффективного строительного производства

В практике современного строительства широко распространены энергоэффективные многослойные ограждающие конструкции, позволяющие обеспечить требуемый уровень тепловой защиты зданий и надежности наружных стен и перекрытий. Среди всех известных конструктивных решений ограждающих конструкций можно выделить стены, перекрытия и покрытия, изготавливаемые с применением долговечных теплоизоляционных бетонов. Подобные ограждающие конструкции могут выполняться в виде навесных и самонесущих стеновых панелей, кладки из многослойных блоков, монолитных наружных стен, плит перекрытий и покрытий. Особенностью ряда таких конструкций является наличие монолитной связи между конструктивными и теплоизоляционными слоями, обеспечиваемой при изготовлении конструкции в едином технологическом цикле. С целью повышения прочностных характеристик контактной зоны слоев конструкций был разработан ряд технических решений, предусматривающих усиление контактной зоны слоев путем внедрения в нее армирующих стеклосеток, дисперсного армирования стальной или стекловолоконной фиброй, введения дополнительного заполнителя в контактный слой в процессе послойного изготовления конструкции в заводских условиях.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, наружные стены, покрытия, теплоизоляционные бетоны, многослойные конструкции, энергоэффективность.

O.A. KOROL, Engineer, (mrkorol.oleg@gmail.com)

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

Studies and Science-Intensive Developments in the Field of Energy Efficient Construction

Energy efficient multi-layer enclosing structures, which make it possible to ensure the required level of heat protection of buildings and reliability of external walls and ceilings, are used widely in the practice of modern construction. Among known structural concepts of enclosing structures it is possible to select walls, ceilings, and coverings manufactured with the use of durable heat insulation concretes. Such enclosing structures can be made in the form of curtain or self-bearing wall panels, multi-layer blocks masonry, monolithic external walls, ceiling slabs and coverings. A feature of some these structures is the availability of a monolithic connection between structural and heat insulation layers provided at manufacture of the structure during the single technological cycle. To improve strength characteristics of the contact zone of layers of the structure, a number of technical solutions, providing the strengthening of the layer contact zone by introducing reinforcing glass meshes, disperse reinforcement with steel or glass fiber, introducing the additional filler into the contact layer during the process of layer-by-layer fabrication of structures at the factory, have been developed.

Keywords: enclosing structures, external walls, coverings, heat insulation concretes, multi-layer structures, energy efficiency.

Одной из основных задач строительства современных энергоэффективных жилых и общественных зданий является повышение долговечности ограждающих конструкций, в которых используются эффективные теплоизоляционные материалы со сроком службы существенно ниже конструктивных материалов. Вместе с тем использование легких бетонов низкой теплопроводности в ограждающих конструкциях зданий как альтернативного теплоизоляционного материала позволяет обеспечить сравнительно высокую долговечность наружных стен и покрытий, а также улучшить их технологические свойства [1–9].

Для повышения эксплуатационной надежности зданий и сооружений разработано и запатентовано большое количество конструктивных и технологических решений, перспективных для внедрения в проекты строящихся и реконструируемых зданий [4, 6, 10–15].

Одним из эффективных направлений с точки зрения долговечности и технологичности конструкций является разработка и совершенствование многослойных наружных стен и перекрытий, в которых в качестве теплоизоляционного слоя используется легкий бетон низкой теплопроводности, а в несущих слоях — конструктивные бетоны. При этом конструктивно-технологические решения наружных стен могут быть в виде кладки из трехслойных блоков, сборных стеновых панелей либо монолитных многослойных наружных стен, а покрытие из сборных многослойных плит

[4, 6, 9]. Специфика изготовления трехслойных ограждающих конструкций заключается в обеспечении формирования сплошного сечения с монолитной связью между бетонными слоями, что позволяет снизить потребность в поперечном армировании либо вообще исключить его необходимость. Исследованиями установлены особенности формирования монолитной связи между бетонными слоями, причем при испытаниях многослойных образцов, изготовленных со значительными временными интервалами между укладкой бетона, зона контакта слоев конструкции оказывалась наиболее слабым местом сечения [5]. Для повышения прочности связи слоев был разработан ряд наукоемких решений, предусматривающих введение в контактную зону дополнительных материалов, способных повысить ее прочность и практически незначительно влияющих на снижение теплотехнических параметров конструкции.

Разработано техническое решение, позволяющее обеспечить равномерность теплоизоляционных свойств строительной панели по всей ее площади, а также повысить физико-механические свойства контактной зоны бетонных слоев [11]. Поставленная задача достигается за счет того, что в предлагаемом способе изготовления многослойной строительной панели после укладки в опалубочную форму конструкционного слоя из мелкозернистого бетона смесь разравнивают в горизонтальной плоскости, закрывают образующую поверхность слоем стеклосетки, наращивают

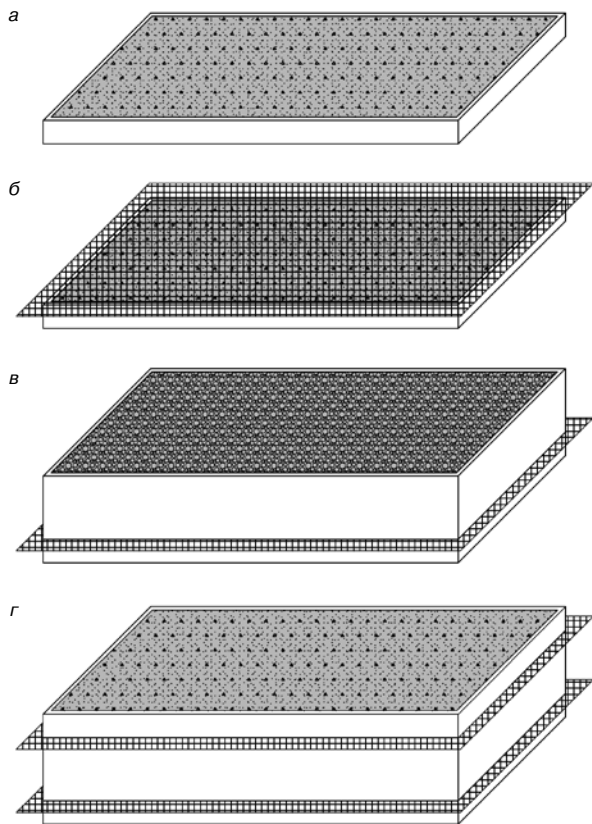


Рис. 1. Технологическая последовательность изготовления многослойной строительной панели: а – укладка и уплотнение наружного конструкционного слоя; б – укладка стеклосетки на границе слоев; в – наращивание опалубки, укладка и уплотнение теплоизоляционного слоя; г – укладка стеклосетки по поверхности теплоизоляционного слоя, наращивание опалубки, укладка и уплотнение конструкционного слоя

часть опалубки и укладывают слой из теплоизоляционного бетона постоянной толщины. Затем снова разравнивают смесь в горизонтальной плоскости, закрывают поверхность вторым слоем стеклосетки, наращивают третью часть опалубки и укладывают третий слой из мелкозернистого бетона, разравнивают смесь в горизонтальной плоскости, производят одновременное виброформование всех слоев и выдерживают до схватывания смеси (рис. 1). В конце снимают опалубку панели.

Наличие стеклосетки в зоне контакта бетонных слоев обеспечивает соблюдение постоянной толщины слоев и их параллельности, а также является дополнительным армированием для контактной зоны.

Альтернативные решения предусматривают использование дисперсного армирования для повышения прочностных свойств контактной зоны. Применение данных способов повышает прочность конструкции на границе контактных зон слоев за счет введения в ее состав дополнительного соединяющего слоя, образуемого в технологическом процессе на стадии изготовления. Данный соединяющий слой формируется путем введения в контактную зону материалов с целью улучшения ее физико-механических характеристик [13–15].

В одном из вариантов после укладки и уплотнения наружного несущего слоя панели или блока в горизонтальной форме, состоящего из конструкционного бетона, на выровненную поверхность укладывают просеянный искусственный гравелистый песок фракции 0,5–2 мм на толщину до 10 мм. Затем в форму уклады-

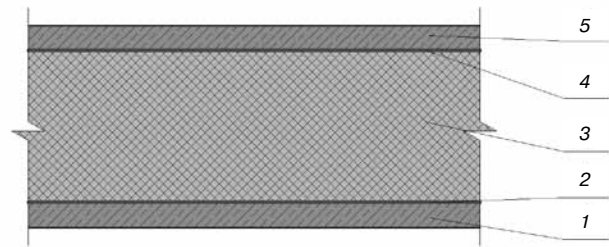


Рис. 2. Сечение конструкции: 1, 5 – наружные бетонные слои; 3 – внутренний теплоизоляционный слой; 2, 4 – слои гравелистого песка (или слои, армированные фиброй)

вают бетонную смесь теплоизоляционного слоя низкой плотности и уплотняют вибрированием. При формировании контактной зоны цементное молочко из бетонной смеси теплоизоляционного слоя проникает в слой гравелистого песка, образуя более прочную структуру. При этом процессы формирования контактной зоны должны производиться до начала схватывания наружного слоя конструкции. Аналогично происходит формирование второй контактной зоны трехслойной конструкции после укладки теплоизоляционного слоя. Отличие в данном случае будет состоять в том, что вышележащий укладываемый конструкционный слой обладает более высокой плотностью, чем теплоизоляционный, в связи с чем его укладку выполняют через 40–60 мин после начала схватывания теплоизоляционного слоя во избежание нарушения его формы (рис. 2).

Более эффективными решениями представляются способы изготовления многослойных конструкций, предусматривающие дисперсное армирование контактной зоны слоев металлической или щелочестойкой стекловолоконной фиброй. При изготовлении конструкций данным способом после укладки и выравнивания наружного несущего слоя на его поверхность производится напыление рубленого щелочестойкого стекловолокна либо стальной фибры, после чего производится укладка в форму теплоизоляционного слоя. Аналогичным образом формируется вторая контактная зона после укладки теплоизоляционного слоя.

При помощи описанных способов возможно изготовление крупногабаритных навесных и самонесущих стеновых панелей, панелей перекрытия и покрытия, а также многослойных стеновых блоков размерами 200×200×400 мм. Для блоков применение данных способов позволит отказаться от поперечного стержневого армирования, а для панелей – снизить количество поперечной арматуры.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что систематизация исследований и наукоемких разработок отечественного производства для практического применения позволит перейти на качественно новый уровень развития энергосберегающего строительного производства и эксплуатации объектов жилой недвижимости.

Список литературы

1. Давидюк А.А. Оценка влияния теплопроводных включений на приведенное сопротивление теплопередаче наружных многослойных стен на основе легких бетонов на стекловидных заполнителях // *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 24–27.



2. Ибрагимов А.М., Федосов С.В., Гнедина Л.Ю. Проблемы трехслойных ограждающих конструкций // *Жилищное строительство*. 2012. № 7. С. 9–12.
3. Ибрагимов А.М., Лавринович С.С. Физико-математическая постановка задачи о нестационарном теплопереносе через многослойное ограждение при его тепловлажностной обработке // *Жилищное строительство*. 2015. № 2. С. 31–33.
4. Король Е.А., Мостовой Д.И. Инновационные технологии и конструктивные решения для производства кровельных работ // *Естественные и технические науки*. 2014. № 11–12(78). С. 404–406.
5. Король Е.А., Пугач Е.М., Харькин Ю.А. Влияние технологических факторов на формирование связи слоев многослойной ограждающей конструкции // *Вестник МГСУ*. 2014. № 3. С. 67–75.
6. Король Е.А., Харькин Ю.А. Технология возведения многослойных наружных стен с теплоизоляционным слоем из бетона низкой теплопроводности. М.: НТО ПМУ, 2014. 126 с.
7. Умнякова Н.П. Долговечность трехслойных стен с облицовкой из кирпича с высоким уровнем теплозащиты. *Вестник МГСУ*. 2013. № 1. С. 94–100.
8. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Чеботарев А.Г. Развитие методов нормирования теплозащиты энергоэффективных зданий. *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 19–23.
9. Король Е.А., Харькин Ю.А. Технология возведения многослойных монолитных наружных стен с теплоизоляционным слоем из бетона низкой теплопроводности // *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 32–35.
10. Патент РФ 23000609. *Способ изготовления многослойного строительного блока* / Король Е.А., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И. Заявл. 15.12.2005. Опубл. 10.06.2007. Бюл. № 16.
11. Патент РФ 2307902. *Способ изготовления многослойной строительной панели* / Король Е.А., Николаев А.Е. Заявл. 15.12.2005. Опубл. 10.10.2007. Бюл. № 28.
12. Патент РФ 2307903. *Способ изготовления многослойного строительного изделия* / Король Е.А., Слесарев М.Ю., Теличенко В.И. Заявл. 15.12.2005. Опубл. 10.10.2007. Бюл. № 28.
13. Патент РФ 2430833. *Способ изготовления многослойных строительных изделий* / Король Е.А., Зенкин В.А., Пугач Е.М., Харькин Ю.А. Заявл. 15.03.2010. Опубл. 10.10.2011. Бюл. № 28.
14. Патент РФ 2434742. *Способ изготовления элементов многослойных ограждающих конструкций* / Король Е.А., Пугач Е.М., Харькин Ю.А., Зенкин В.А., Быков Е.Н. Заявл. 25.05.2010. Опубл. 27.11.2011. Бюл. № 33.
15. Патент РФ 2440892. *Способ изготовления элементов многослойных ограждающих конструкций* / Король Е.А., Пугач Е.М., Харькин Ю.А., Зенкин В.А., Быков Е.Н. Заявл. 18.08.2010. Опубл. 27.01.2012. Бюл. № 3.
2. Ibragimov A.M., Fedosov S.V., Gnedina L.Yu. Problems of three-layer enclosing structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 7, pp. 9–12. (In Russian).
3. Ibragimov A.M., Lavrinovich S.S. Physical-mathematical statement of a problem of non-stationary heat transfer through multilayer enclosing structure in the course of its heat-moisture treatment. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 2, pp. 31–33. (In Russian).
4. Korol' E.A., Mostovoi D.I. Innovative technologies and design solutions for the roofing works. *Estestvennye i tekhnicheskije nauki*. 2014. No. 11–12(78), pp. 404–406. (In Russian).
5. Korol' E.A., Pugach E.M., Khar'kin Yu.A. Influence of manufacturing factors on the formation of layer connection in the multilayer exterior wall. *Vestnik MGSU*. 2014. No. 3, pp. 67–75. (In Russian).
6. Korol' E.A., Khar'kin Yu.A. Tekhnologiya vozvedeniya mnogoslnoykh naruzhnykh sten s teploizolyatsionnym sloem iz betona nizkoi teploprovodnosti [Construction technology of multilayer external walls with heat-insulating layer made of low heat conductivity concrete]. Moscow: NTO PMU. 2014. 126 p. (In Russian).
7. Umnyakova N.P. Durability of three-layered walls with brick facing that provides high thermal protection. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 1, pp. 94–100. (In Russian).
8. Umnyakova N.P., Butovskii I.N., Chebotarev A.G. Development of the regulation methods of heat shield of energy efficient buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 7, pp. 19–23. (In Russian).
9. Korol' E.A., Khar'kin Yu.A. Construction technology of multilayer monolithic external walls with heat-insulating layer made of low heat conductivity concrete. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 7, pp. 32–35. (In Russian).
10. Patent RF 23000609. *Sposob izgotovleniya mnogoslnoygo stroitel'nogo bloka* [Manufacturing method of a multilayer construction block]. Korol' E.A., Slesarev M.Yu., Telichenko V.I. Declared 15.12.2005. Published 10.06.2007. Bulletin No. 16. (In Russian).
11. Patent RF 2307902. *Sposob izgotovleniya mnogoslnoy stroitel'noi paneli* [Manufacturing method of a multi-layer construction panel]. Korol' E.A., Nikolayev A.E. Declared 15.12.2005. Published 10.10.2007. Bulletin No. 28. (In Russian).
12. Patent RF 2307903. *Sposob izgotovleniya mnogoslnoygo stroitel'nogo izdeliya* [Manufacturing method of a multilayer construction product]. Korol' E.A., Slesarev M.Yu., Telichenko V.I. Declared 15.12.2005. Published 10.10.2007. Bulletin No. 28. (In Russian).
13. Patent RF 2430833. *Sposob izgotovleniya mnogoslnoykh stroitel'nykh izdelii* [Manufacturing method of a multilayer construction products]. Korol' E.A., Zenkin V.A., Pugach E.M., Khar'kin Yu.A. Declared 15.03.2010. Published 10.10.2011. Bulletin No. 28. (In Russian).
14. Patent RF 2434742. *Sposob izgotovleniya elementov mnogoslnoykh ograzhdayushchikh konstruktssii* [Manufacturing method of multi-layer enclosing structures components]. Korol' E.A., Pugach E.M., Khar'kin Yu.A., Zenkin V.A., Bykov E.N. Declared 25.05.2010. Published 27.11.2011. Bulletin No. 33. (In Russian).
15. Patent RF 2440892. *Sposob izgotovleniya elementov mnogoslnoykh ograzhdayushchikh konstruktssii* [Manufacturing method of multi-layer enclosing structures components]. Korol' E.A., Pugach E.M., Khar'kin Yu.A., Zenkin V.A., Bykov E.N. Declared 18.08.2010. Published 27.01.2012. Bulletin No. 3. (In Russian).

References

1. Davidyuk A.A. Assessment of influence of heat conductivity inclusions on reduced resistance to heat transfer of external multilayer walls on the basis of light concretes with vitreous fillers. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 7, pp. 24–27. (In Russian).

Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций с применением облегченных кладочных растворов

При устройстве однослойных ограждающих конструкций из эффективных мелкоштучных изделий необходимо применять «теплые» кладочные растворы. Существующие облегченные кладочные растворы имеют недостаточную марочную прочность и не всегда обеспечивают однородность ограждающей конструкции ввиду достаточно высокой средней плотности. Эффективным облегчающим наполнителем для таких растворов являются полые керамические микросферы. Разработаны облегченные кладочные растворы с полыми керамическими микросферами, подобраны оптимальные составы и определены их основные свойства. Изучено влияние процентного содержания полых керамических микросфер в составе смеси на микроструктуру кладочного раствора, его физико-механические и технологические свойства. Полученные кладочные растворы позволяют повысить энергоэффективность ограждающих конструкций.

Ключевые слова: кладочные растворы, облегченные растворы, полые керамические микросферы, сухие строительные смеси, энергоэффективность, ограждающие конструкции.

V.S. SEMENOV, Candidate of Sciences (Engineering) (science-isa@yandex.ru), T.A. ROZOVSKAYA, Engineer
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Improvement of Energy Efficiency of Enclosing Structures with the Use of Lightweight Masonry Mortars

When arranging one-layer enclosing structures made of efficient small-piece articles, it is necessary to use «warm» mortars. Existing lightweight mortars have insufficient grade strength and not always ensure the homogeneity of the enclosing structure due to the relatively high average density. The efficient reliving filler for such mortars is hollow ceramic micro-spheres. The development of lightweight masonry mortars with hollow ceramic microspheres is presented. Optimal compositions have been developed, their main properties have been determined. The influence of the percentage of hollow ceramic micro-spheres in the mix composition on the micro-structure of masonry mortar, its physical-mechanical and technological properties has been studied. Lightweight masonry mortars with hollow ceramic micro-spheres, which make it possible to improve the energy efficiency of enclosing structures, have been obtained.

Keywords: brick mortars, lightweight mortars, hollow ceramic micro-spheres, dry building mixes, energy efficiency, enclosing structures.

Вопросы энергосбережения, в том числе в области строительства и эксплуатации зданий и сооружений, в настоящее время являются актуальными во всем мире. Это связано с ограниченностью энергетических ресурсов, высокой стоимостью энергии, негативным влиянием на окружающую среду, обусловленных ее производством. По данным НИИ Строительной физики, в России до 45% всей производимой энергии потребляется зданиями [1]. К возводимым в настоящее время жилым до-

мам предъявляются высокие требования в части энергосбережения и энергетической эффективности, о чем свидетельствует Федеральный закон № 261–ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». При эксплуатации жилого дома теплопотери через наружные стены составляют от 18 до 45% от суммарных, включая потери тепловой энергии на инфильтрацию и вентиляцию [2–4].

Требования к теплозащите ограждающих конструкций зданий отражены в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003». Для их обеспечения необходимо применять эффективные строительные материалы, причем важным фактором при оценке теплозащитных свойств ограждающей конструкции является коэффициент теплопроводности однородности, учитывающий наличие в ограждающей конструкции теплопроводных включений. Наличие в огражда-

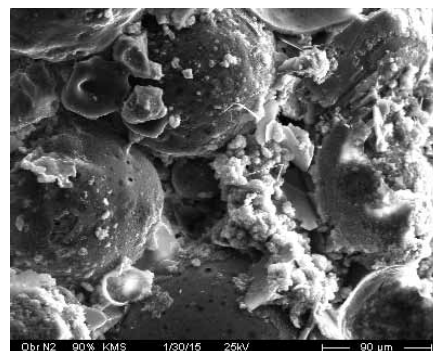
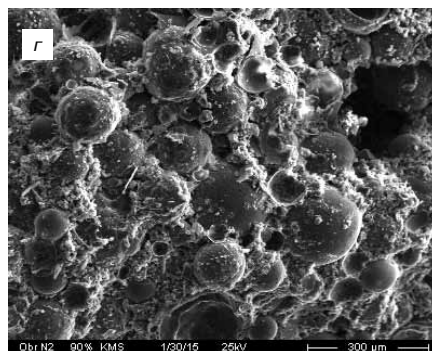
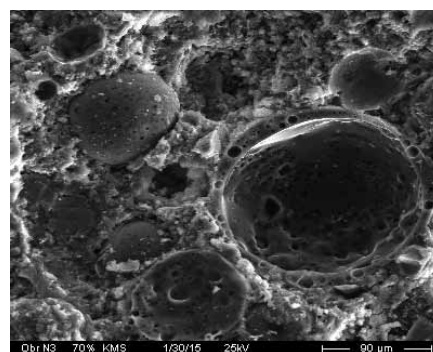
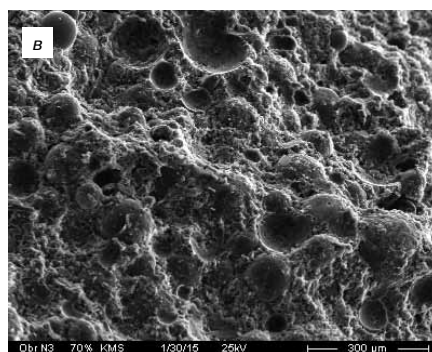
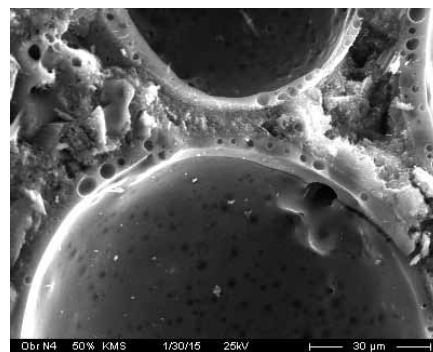
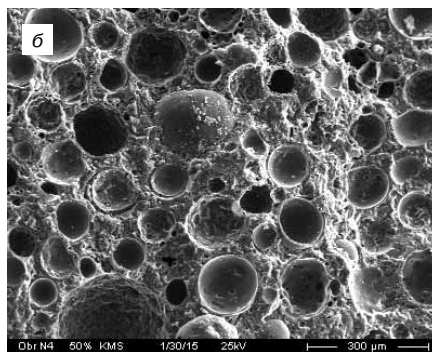
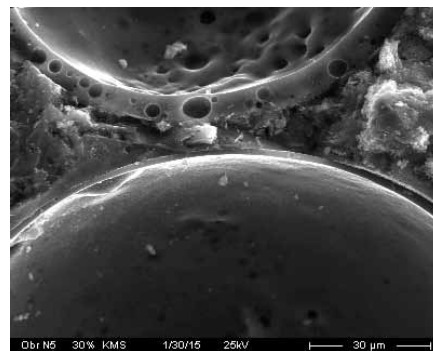
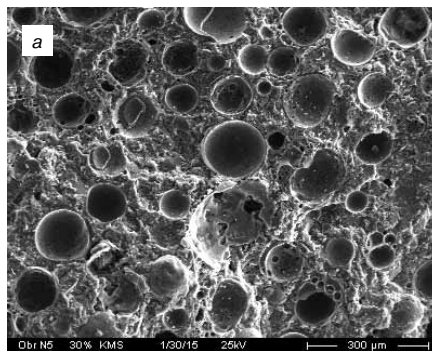
Содержание КМС, % от массы цемента	В/Ц	Средняя плотность, кг/м ³		Предел прочности в возрасте 28 сут, МПа		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
		раствора	сухого камня	при сжатии	при изгибе	
10	0,31	1728	1576	43,03	4,87	0,513
20	0,39	1535	1367	34,64	4,22	0,424
30	0,43	1360	1277	28,72	3,85	0,375
40	0,48	1231	1107	24,86	3,51	0,333
50	0,58	1159	1008	20,62	3,13	0,312
60	0,65	1102	951	17,14	2,76	0,296
70	0,74	1072	904	12,98	2,47	0,286
80	0,83	1046	873	9,68	2,18	0,275
90	0,96	1008	813	7,31	1,94	0,266
100	1,01	952	776	5,41	1,59	0,247

дающей конструкции мостиков холода приводит к увеличению теплопотерь и энергетических затрат на поддержание необходимых параметров микроклимата помещения, а также к риску образования конденсата в местах теплопроводных включений [5–8]. В связи с этим наиболее целесообразно проектирование однослойных ограждающих конструкций с высоким коэффициентом теплотехнической однородности. К материалам, используемым для возведения таких однослойных конструкций, можно отнести теплую керамику, ячеисто-бетонные блоки и т. д. [9–11]. При этом из соображений теплотехнической однородности растворы, обеспечивающие монолитность ограждающей конструкции из штучных кладочных изделий, должны обладать средней плотностью и коэффициентом теплопроводности, не превышающими указанные характеристики стенового материала.

Как правило, снижение средней плотности раствора может быть достигнуто двумя путями — вовлечением воздуха или введением облегчающих наполнителей. По мнению ряда исследователей, наиболее эффективным методом снижения средней плотности строительного раствора является введение в его состав облегчающего наполнителя [12, 13]. Полые алюмосиликатные и стеклянные микросферы являются эффективным облегчающим наполнителем для кладочных и специальных растворов [14]. Ранее авторами ряда работ были предложены кладочные растворы, содержащие полые стеклянные микросферы (ПСМС) [15–18]. Применение ПСМС в качестве облегчающего наполнителя позволяет снизить среднюю плотность раствора до 600 кг/м^3 , однако прочность при сжатии таких растворов составляет не более 2,5 МПа. Кроме того, полые стеклянные микросферы имеют высокую стоимость. Более эффективным облегчающим наполнителем являются полые керамические (алюмосиликатные) микросферы [19–23], которые позволяют получить растворы с высокой прочностью и имеют по сравнению со стеклянными микросферами более низкую стоимость.

Целью исследований явилась разработка эффективных облегченных кладочных растворов с полыми керамическими микросферами.

В исследованиях в качестве вяжущего вещества используется портландцемент ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н с 9,8% гранулированного шлака по ГОСТ 31108–2003. В качестве наполнителя использованы полые керамические (алюмосиликатные) микросферы (КМС) фракции 100–500 мкм,



Микроструктура раствора с различным содержанием наполнителя от массы портландцемента: а – 30%; б – 50%; в – 70%; г – 90%

«ИНОТЭК Сибирь Кузнецкая». Насыпная плотность микросфер $370\text{--}390 \text{ кг/м}^3$. Средняя плотность 800 кг/м^3 . Истинная плотность материала оболочки микросферы 2450 кг/м^3 . Диапазон размеров находится в пределах $5\text{--}350 \text{ мкм}$, толщина стенки микросферы $1\text{--}5 \text{ мкм}$. Коэффициент теплопроводности микросферы $0,08 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ при 20°C , температура размягчения свыше 1000°C . Минимальная прочность при гидростатическом сжатии (10% разруше-

ние) — $15\text{--}28 \text{ МПа}$. Состав газовой фазы внутри сфер представляет собой смесь $\text{CO}_2 \sim 70\%$; $\text{N}_2 \sim 30\%$. В качестве пластифицирующей добавки использован суперпластификатор Regamin SMF 10, представляющий собой порошок сульфоната меламин. Расход пластификатора составлял 0,4% от массы портландцемента.

Исследования проводились по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 5802–86 «Растворы строительные. Методы испытаний»,

ГОСТ 28013–98 «Растворы строительные. Общие технические условия», ГОСТ 31357–2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия», ГОСТ 31356–2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний».

Были исследованы составы с содержанием КМС 10–100% от массы вяжущего вещества. Предел прочности определяли в возрасте 28 сут твердения в условиях, регламентированных ГОСТ 5802–86. Составы и свойства облегченных кладочных растворов с КМС представлены в таблице.

Как видно из данных таблицы, средняя плотность растворной смеси составляет 950–1730 кг/м³ в зависимости от расхода микросфер; средняя плотность раствора в высушенном состоянии 780–1580 кг/м³. Предел прочности раствора при сжатии находится в интервале 5,4–43 МПа, на растяжение при изгибе – 1,6–4,9 МПа. С увеличением расхода микросфер средняя плотность и прочность раствора снижаются. Разработанные составы отвечают требованиям ГОСТа. Жизнеспособность растворных смесей достаточна для ведения кладочных работ и составляет не менее 3 ч, водоудерживающая способность растворных смесей всех составов выше 95%.

Приведенные в таблице свойства кладочных растворов определяют область их применения – возведение стен из эффективных керамических материалов. Средняя плотность таких изделий составляет 800–1200 кг/м³, марка не менее М75. Кладочный раствор с обозначенными характеристиками можно получить введением об-

легчающего наполнителя (КМС) в количестве 35–80% от массы вяжущего. Растворы на традиционных облегчающих наполнителях (вспученный перлитовый и вермикулитовый пески, пенополистирол и др.) с такой средней плотностью имеют марку по прочности М75–М100, характеризуются близкими к указанным в таблице значениями коэффициента теплопроводности, но высокой открытой пористостью, определяющей низкую морозостойкость и долговечность раствора. Марка по морозостойкости растворов с КМС 50–75 циклов.

Важным показателем стенового материала является его сорбционная способность, от которой также зависит изменение коэффициента теплопроводности материала при изменении влажности воздуха. Кладочные растворы на традиционных облегчающих наполнителях характеризуются высокой сорбционной влажностью в силу развитой открытой пористости. В работе [24] показано, что цементные материалы с микросферами характеризуются низкой сорбционной способностью. Сорбционная влажность раствора с КМС средней плотностью 900 кг/м³ составила 9,3%, водопоглощение по массе – 23,6%.

На рисунке представлена микроструктура образцов кладочного раствора с содержанием наполнителя 30; 50; 70; 90% от массы портландцемента.

Как видно из рисунка, с изменением объемной доли наполнителя в растворе изменяется не только его структура, но и характер разрушения. При содержании наполнителя до 50% включительно от массы вяжущего структура камня отличается высокой

плотностью, разрушение происходит по стенкам микросфер.

При содержании 70% КМС от массы портландцемента разрушение идет как по контактной зоне микросфера – цементная матрица, так и по наименее прочным стенкам микросфер. Растворы, содержащие 90% КМС от массы вяжущего, характеризуются достаточно рыхлой структурой цементной матрицы, в особенности на контакте с микросферами вследствие высокого водоцементного отношения. Низкая прочность контактной зоны подтверждается отсутствием на фотографиях микроструктуры разрушенных микросфер.

Таким образом, использование полых керамических микросфер в качестве наполнителя для кладочных растворов позволяет получить растворы со средней плотностью 900–1400 кг/м³, маркой М100–М350 при расходе КМС 20–70% от массы вяжущего, предназначенные для кладки эффективных керамических изделий. Разработанные на основе проведенных исследований сухие кладочные смеси для эффективных мелкоштучных изделий позволяют обеспечить высокую термическую однородность ограждающей конструкции, выполнять кладочные швы толщиной 4–5 мм. Установлено, что растворы, полученные из таких смесей, обладают необходимой средней плотностью, водоудерживающей способностью более 95%, однородностью, высокими физико-механическими показателями. Применение предлагаемых смесей дает возможность снизить материальные затраты при строительстве, повысить энергоэффективность ограждающих конструкций.

Список литературы

1. Матросов Ю.А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения. М.: НИИСФ, 2008. 496 с.
2. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А. Эффективность ячеистых бетонов в ограждающих конструкциях. В кн.: Ячеистые бетоны в строительстве. СПб.: ООО «Стройбетон». 2008. С. 35–37.
3. Ливчак В.И. Еще один довод в пользу повышения теплозащиты зданий // *Энергосбережение*. 2012. № 6. С. 14–20.
4. Бакунин Е.И. Анализ способов энергосбережения и повышения энергоэффективности жилых зданий // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2011. № 1. С. 41–46.
5. Овсянников С.Н., Вязова Т.О. Теплозащитные характеристики наружных стеновых конструкций с теплопроводными включениями // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 24–27.
6. Шеина С.Г., Миненко А.Н. Анализ и расчет «мостиков холода» с целью повышения энергетической эффективности жилых зданий // *Инженерный вестник Дона*. 2012. Т. 22. № 4–1. С. 131–135.
7. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России // *Вестник МГСУ*. 2011. Т. 1. № 3. С. 192–200.

References

1. Matrosov Yu.A. Energoberezhnie v zdaniyakh. Problema i puti ee resheniya [Energy saving in buildings. The problem and its solutions]. Moscow: NIISF. 2008. 496 p.
2. Vylegzhanin V.P., Pinsker V.A. The efficiency of walling cellular concrete materials. In book: *Yacheistye betony v stroitel'stve* [Cellular concretes in construction]. Saint-Petersburg: ООО «Stroi-beton». 2008. pp. 35–37.
3. Livchak V.I. Another argument in favor of increasing thermal performance of buildings. *Energoberezhnie*. 2012. No. 6, pp. 14–20. (In Russian).
4. Bakunin E.I. Analysis methods of energy conservation and energy efficiency of residential buildings. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle*. 2011. No. 1, pp. 41–46. (In Russian).
5. Ovsyannikov S.N., Vyazova T.O. Heat characteristics of exterior wall constructions with heat-conducting inclusions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 24–27. (In Russian).
6. Sheina S.G., Minenko A.N. Analysis and calculation of «cold bridges» in order to increase the energy efficiency of residential buildings. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2012. No. 4–1, pp. 131. (In Russian).
7. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Prospects for increasing the energy efficiency of residential buildings in Russia. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3(1), pp. 192–200. (In Russian).

8. Горшков А.С., Гладких А.А. Влияние растворных швов кладки на параметры теплотехнической однородности стен из газобетона // *Инженерно-строительный журнал*. 2010. № 3. С. 39–42.
9. Сиразин М.Г. Теплая керамика – перспективный материал для жилищного строительства в России // *Строительные материалы*. 2006. № 4. С. 18–19.
10. Гудков Ю.В., Ахундов А.А. Стеновые материалы на основе ячеистых бетонов // *Строительные материалы*. 2014. № 1. С. 9–10.
11. Кацынель Р.Б. Ячеистый бетон и энергоэффективное строительство // *Жилищное строительство*. 2013. № 4. С. 24–26.
12. Тихонов Ю.М., Коломиец В.И. Подбор составов, свойства и применение легких сухих строительных смесей на основе вспученных перлита и вермикулита // *Вестник гражданских инженеров*. 2006. № 3. С. 83–88.
13. Удодов С.А., Черных В.Ф. Штукатурные составы для ячеистых бетонов // *Строительные материалы*. 2006. № 6. С. 31–33.
14. Семенов В.С., Розовская Т.А. Сухие кладочные смеси с полыми керамическими микросферами // *Научное обозрение*. 2013. № 9. С. 195–199.
15. Орешкин Д.В., Беляев К.В., Семенов В.С. Высококачественные строительные и тампонажные растворы с полыми стеклянными микросферами // *Промышленное и гражданское строительство*. 2010. № 10. С. 56–58.
16. Семенов В.С., Орешкин Д.В., Розовская Т.А. Свойства облегченных кладочных растворов с полыми стеклянными микросферами и противоморозными добавками // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 3. С. 9–11.
17. Клочков А.В., Павленко Н.В., Строкова В.В., Беленцов Ю.А. К вопросу об использовании стеклянных полых микросфер для теплоизоляционно-конструкционных кладочных растворов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2012. № 3. С. 64–66.
18. Орешкин Д.В., Беляев К.В., Семенов В.С. Теплофизические свойства, пористость и паропроницаемость облегченных цементных растворов // *Строительные материалы*. 2010. № 8. С. 51–54.
19. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Полые микросферы – эффективный наполнитель для высокопрочных легких бетонов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 10. С. 80–83.
20. Korolev E.V., Inozemtsev A.S. Preparation and research of the high-strength lightweight concrete based on hollow microspheres // *Advanced Materials Research*. 2013. No. 746, pp. 285–288.
21. Blanco F., Garcia P., Mateos P., Ayala J. Characteristics and properties of lightweight concrete manufactured with cenospheres // *Cement and Concrete Research*. 2012. No. 30, pp. 1715–1722.
22. Данилин Л.Д., Дрожжин В.С., Куваев М.Д., Куликов С.А., Максимова Н.В., Малинов В.И., Пикунин И.В., Редюшев С.А., Ховрин А.Н. Полые микросферы из зол-уноса – многофункциональный наполнитель композиционных материалов // *Цемент и его применение*. 2012. № 4. С. 100–105.
23. Тeryaeva T.N., Kostenko O.V., Ismagilov Z.R., Shikina N.V., Rudina N.A., Antipova V.A. Физико-химические свойства аллюмосиликатных полых микросфер // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2013. № 5. С. 86–90.
24. Сапелин А.Н. Сорбционные свойства стеновых материалов с применением микросфер // *Academia. Архитектура и строительство*. 2013. № 3. С. 101–103.
8. Gorshkov A.S., Gladkikh A.A. Influence of masonry mortar joints on the parameters of heat engineering homogeneity walls of aerated concrete. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2010. No. 3, pp. 39–42. (In Russian).
9. Sirazin M.G. Warm ceramic - a promising material for housing construction in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 4, pp. 18–19. (In Russian).
10. Gudkov Yu.V., Akhundov A.A. Building materials based on cellular concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1, pp. 9–10. (In Russian).
11. Katsynel' R.B. Cellular concrete and energy-efficient construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 4, pp. 24–26. (In Russian).
12. Tikhonov Yu.M., Kolomiets V.I. Selection of compositions, properties and applications of light dry building mixtures based on expanded perlite and vermiculite. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2006. No. 3, pp. 83–88. (In Russian).
13. Udodov S.A., Chernykh V.F. Plaster compositions for cellular concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 6, pp. 31–33. (In Russian).
14. Semenov V.S., Rozovskaya T.A. Dry masonry mixture with hollow ceramic microspheres. *Nauchnoe obozrenie*. 2013. No. 9, pp. 195–199. (In Russian).
15. Oreshkin D.V., Belyaev K.V., Semenov V.S. High quality construction and grouting mortars with hollow glass microspheres. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2010. No. 10, pp. 56–58. (In Russian).
16. Semenov V.S., Oreshkin D.V., Rozovskaya T.A. The properties of lightweight mortars with hollow glass microspheres and antifreeze additives. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 3, pp. 9–11. (In Russian).
17. Klochkov A.V., Pavlenko N.V., Strokova V.V., Belentsov Yu.A. On the question about the use of hollow glass microspheres for thermal-structural masonry mortars. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2012. No. 3, pp. 64–66. (In Russian).
18. Oreshkin D.V., Belyaev K.V., Semenov V.S. Thermophysical properties, porosity and vapour permeability of light-weight cement mortars. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 8, pp. 51–54. (In Russian).
19. Inozemtsev A.C., Korolev E.V. Hollow microspheres - an effective filler for high-strength lightweight concrete. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 10, pp. 80–83. (In Russian).
20. Korolev E.V., Inozemtsev A.S. Preparation and research of the high-strength lightweight concrete based on hollow microspheres. *Advanced Materials Research*. 2013. No. 746, pp. 285–288.
21. Blanco F., Garcia P., Mateos P., Ayala J. Characteristics and properties of lightweight concrete manufactured with cenospheres. *Cement and Concrete Research*. 2012. No. 30, pp. 1715–1722.
22. Danilin L.D., Drozhzhin V.S., Kuvaev M.D., Kulikov S.A., Maksimova N.V., Malinov V.I., Pikulin I.V., Redyushev S.A., Khovrin A.N. Hollow microspheres of evils ash – a multifunctional filler composite materials. *Tsement i ego primeneniye*. 2012. No. 4, pp. 100–105. (In Russian).
23. Teryaeva T.N., Kostenko O.V., Ismagilov Z.R., Shikina N.V., Rudina N.A., Antipova V.A. Physico-chemical properties of aluminosilicate hollow microspheres. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013. No. 5, pp. 86–90. (In Russian).
24. Sapelin A.N. The sorption properties of wall materials with microspheres. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2013. No. 3, pp. 101–103. (In Russian).

Равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов и ее полимолекулярно-адсорбированная и капиллярно-конденсированная составляющие

Равновесная сорбционная влажность строительных материалов в значительной мере определяет ход процессов тепло- и влагопереноса через наружные ограждающие конструкции зданий, а следовательно, и термическое сопротивление этих конструкций в реальных условиях эксплуатации. Поэтому при расчете термического сопротивления конструкций необходима информация о равновесной сорбционной влажности материалов конструкций и ее составляющих при положительной и отрицательной температуре. Исследование процесса сорбционного увлажнения проведено на примере ячеистых бетонов. Увлажнение ячеистых бетонов парообразной влагой при температуре от +35°C до -10°C происходит в основном за счет явления полимолекулярной адсорбции. Явление капиллярной конденсации играет заметную роль в этом процессе только при значениях относительной влажности воздуха, близких к 1 (100%).

Ключевые слова: ячеистые бетоны, равновесная сорбционная влажность, полимолекулярно-адсорбированная составляющая, капиллярно-конденсированная составляющая.

I.Ya. KISELYOV, Doctor of Sciences (ikiselyov@bk.ru)

Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyi Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Equilibrium Sorption Humidity of Cellular Concretes and Its Polymolecular-Adsorbed and Capillary-Condensed Components

Equilibrium sorption humidity of building materials largely determines the progress of processes of heat- and moisture transfer through external enclosing structures of buildings and, consequently, the thermal resistance of these structures under the real conditions of operation. Therefore, when calculating the thermal resistance of structures, the information about the equilibrium sorption humidity of structures and its components at positive and negative temperatures is needed. The study of the sorption humidity process is conducted on the example of cellular concretes. The humidification of cellular concretes with vaporous moisture at temperatures from +35°C up to -10°C takes place mainly due to the phenomenon of polymolecular adsorption. The phenomenon of capillary condensation plays a prominent role in this process only at the values of relative air humidity close to 1 (100%).

Keywords: cellular concretes, equilibrium sorption humidity, polymolecular-adsorbed component, capillary-condensed component.

Сорбционная влажность строительных материалов в значительной мере определяет ход процессов тепло- и влагопереноса через наружные ограждающие конструкции зданий [1–4].

Метод расчета зависимости равновесной сорбционной влажности w_p строительных материалов от относительной влажности воздуха и температуры в диапазоне изменения относительной влажности воздуха φ от 0,2 (20%) до 0,99 (99%) и температуры T от 262,75 К (-10,4°C) до 308,15 К (+35°C) описан в работе [5]:

$$w_p(\varphi, T) = w_m \left[\frac{a}{RT(-\ln \varphi)} \right]^{\frac{1}{r}}, \quad (1)$$

где w_p – равновесная сорбционная влажность материала, кг/кг; φ – относительная влажность воздуха, Па/Па; T – абсолютная температура, К; w_m – емкость монослоя паров воды, кг/кг; a – эмпирическая константа, Дж/кмоль; r – эмпирическая константа; $R = 8,314 \cdot 10^3$ Дж/(кмоль·К) – универсальная газовая постоянная.

Этот метод применен при расчете зависимостей от относительной влажности воздуха и температуры полимолекулярно-адсорбированной w_a и капиллярно-конденсированной w_{cc} составляющих равновесной сорбционной влажности ячеистых бетонов.

В работах [6–8] показано, что модифицированное уравнение Брунауэра–Эммета–Тейлора (БЭТ) описывает явление полимолекулярной адсорбции при изменении относительной влажности воздуха φ от 0,05 до 0,99. Также показано, что если численные значения емкости монослоя w_m и константы c уравнения БЭТ определены по участку изотермы сорбции, соответствующему изменению φ от 0,05 до 0,5, то отличие эксперимен-

тально полученных значений равновесной сорбционной влажности w_p при больших значениях относительной влажности воздуха φ от значений, вычисленных по модифицированному уравнению, объясняется тем, что при этих значениях φ в исследуемом материале имеет место капиллярная конденсация паров воды.

На основании вышеизложенного запишем:

$$w_{cc}(\varphi, T) = w_p(\varphi, T) - w_a(\varphi, T); \quad (2)$$

$$w_a(\varphi, T) = w_m(T) \frac{c(T)\varphi}{1 + [c(T) - 1]\varphi} N(\varphi, T), \quad (3)$$

где w_{cc} – капиллярно-конденсированная составляющая равновесной сорбционной влажности w_p материала, кг/кг; w_a – полимолекулярно-адсорбированная составляющая равновесной сорбционной влажности w_p материала, кг/кг; c – константа уравнения БЭТ, –; $N(\varphi, T) = N$ функция [8].

Вышеупомянутый метод [5] и соотношения (1), (2) и (3) позволяют вычислить значения равновесной сорбционной влажности материала w_p и обеих ее составляющих w_a и w_{cc} в диапазоне изменения температуры от -10,4 до +35°C при изменении относительной влажности воздуха φ от 0,2 (20%) до φ_f – значения, при котором заканчивается капиллярная конденсация паров воды в порах исследуемого материала.

Расчеты зависимостей равновесной сорбционной влажности ячеистых бетонов и обеих ее составляющих w_a и w_{cc} от относительной влажности воздуха и температуры проведены на примере [4] пенобетона (750 кг/м³), газобетона (400 кг/м³) и газобетона (700 кг/м³). В таблице представлены результаты расчета этих зависимостей

Материал, плотность	Температура, К (°С)	Равновесная сорбционная влажность w_p , ее составляющие w_a и w_{cc}	Значения равновесной сорбционной влажности и ее составляющие w_a, w_{cc} при относительной влажности воздуха $\varphi, \%$					
			20	40	60	80	90	97
Пенобетон, 750 кг/м ³	308,15 (+35)	w_p	1,3	1,9	2,7	4,6	7,4	15
		w_a	1,3	1,9	2,7	3,4	4,8	5,2
		w_{cc}	0	0	0	1,2	2,6	9,8
		w_a/w_{cc}	–	–	–	2,8	1,8	0,53
	293,15 (+20)	w_p	1,7	2,4	3,2	5,1	7,7	16
		w_a	1,7	2,4	3,2	3,8	5,2	5,4
		w_{cc}	0	0	0	1,3	2,5	11
		w_a/w_{cc}	–	–	–	3	2	0,49
	274,35 (+1,2)	w_p	2,2	2,9	4	6,1	9	17
		w_a	2,2	2,9	3,8	4,8	6,1	6,1
		w_{cc}	0	0	0,2	1,3	2,9	11
		w_a/w_{cc}	–	–	19	3,7	2,1	0,55
	262,75 (-10,4)	w_p	2,4	3,2	4,3	6,6	9,6	19
		w_a	2,4	3,2	4,2	5,2	6,5	6,6
		w_{cc}	0	0	0,1	1,4	3,1	12
		w_a/w_{cc}	–	–	42	3,7	2,1	0,55
Газобетон, 400 кг/м ³	308,15(+35)	w_p	1,3	1,7	2,3	3,6	5,4	9,4
		w_a	1,3	1,7	2,3	2,9	4,2	4,3
		w_{cc}	0	0	0	0,7	1,2	5,1
		w_a/w_{cc}	–	–	–	4,1	3,5	0,85
	293,15 (+20)	w_p	1,6	2	2,6	3,8	5,4	9,6
		w_a	1,6	2	2,5	3,3	4,3	4,6
		w_{cc}	0	0	0,1	0,5	1,1	5
		w_a/w_{cc}	–	–	25	6,6	3,9	0,92
	274,35 (+1,2)	w_p	2	2,5	3,3	4,6	6,3	11
		w_a	2	2,5	3	4,1	5,4	5,5
		w_{cc}	0	0	0,3	0,5	0,9	5,5
		w_a/w_{cc}	–	–	10	7,5	6	1
	262,75 (-10,4)	w_p	2,3	2,8	3,6	5	6,7	11
		w_a	2,3	2,8	3,3	4,6	6	6
		w_{cc}	0	0	0,3	0,4	0,7	6
		w_a/w_{cc}	–	–	11	12	8,6	1
Газобетон, 700 кг/м ³	308,15(+35)	w_p	1,9	2,6	3,7	6,2	9,8	21
		w_a	1,9	2,6	3,7	4,3	5,4	5,6
		w_{cc}	0	0	0	1,9	4,4	15
		w_a/w_{cc}	–	–	–	2,3	1,2	0,37
	293,15(+20)	w_p	2,2	3,1	4,3	7	11	23
		w_a	2,2	3,1	4,3	5	6,3	6,4
		w_{cc}	0	0	0	2	4,7	17
		w_a/w_{cc}	–	–	–	2,5	1,3	0,38
	274,35(+1,2)	w_p	2,7	3,7	5,1	8,1	12	24
		w_a	2,7	3,7	3,9	6	7,5	7,7
		w_{cc}	0	0	1,2	2,1	4,5	16
		w_a/w_{cc}	–	–	3,3	2,9	1,7	0,48
	262,75 (-10,4)	w_p	3,1	4,1	5,7	8,8	13	25
		w_a	3,1	4,1	4,4	6,7	8,5	8,7
		w_{cc}	0	0	1,3	2,1	4,5	16
		w_a/w_{cc}	–	–	3,4	3,2	1,9	0,54

от относительной влажности воздуха при четырех значениях температуры: $-10,4$; $+1,2$; $+20$ и $+35^{\circ}\text{C}$.

Из данных, приведенных в таблице, следует, что для исследованных материалов во всем температурном диапазоне от $-10,4$ до $+35^{\circ}\text{C}$:

1. При значениях относительной влажности воздуха $\varphi \leq 0,4$ (40%) капиллярной конденсации паров воды в пенобетоне (750 кг/м^3) и газобетонах (400 кг/м^3 и 700 кг/м^3) не происходит и поэтому капиллярно-конденсированная составляющая w_{cc} равновесной сорбционной влажности w_p этих материалов равна нулю.

2. При значениях относительной влажности воздуха $\varphi \leq 0,9$ (90%) величина полимолекулярно-адсорбированной составляющей w_a равновесной сорбционной влажности w_p исследованных материалов значительно превосходит величину ее капиллярно-конденсированной составляющей w_{cc} .

3. Только при относительной влажности воздуха φ , близкой к 1 (100%), значения капиллярно-конденсированной составляющей w_{cc} равновесной сорбционной влажности w_p в пенобетоне (750 кг/м^3) и газобетонах (400 кг/м^3 и 700 кг/м^3) резко увеличиваются, но даже при $\varphi=0,97$ (97%) капиллярно-конденсированная составляющая w_{cc} равновесной сорбционной влажности w_p пенобетона (750 кг/м^3) и газобетона (700 кг/м^3) примерно в два раза превышает ее полимолекулярно-адсорбированную составляющую w_a .

4. Капиллярно-конденсированная составляющая w_{cc} равновесной сорбционной влажности w_p газобетона (400 кг/м^3) даже при $\varphi=0,97$ (97%) не превышает ее полимолекулярно-адсорбированную составляющую w_a .

Из вышеизложенного следует, что для всех исследованных ячеистых бетонов в исследованном температурном диапазоне от $-10,4$ до $+35^{\circ}\text{C}$ увлажнение материалов парообразной влагой происходит в основном за счет явления полимолекулярной адсорбции; явление капиллярной конденсации играет заметную роль в этом процессе только при значениях относительной влажности воздуха φ , близких к 1 (100%).

Список литературы

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 4–12.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. Т. 1. С. 192–200.
3. Умнякова Н.П. Сорбция водяного пара минераловатного утеплителя в эксплуатируемых вентфасадах // *Жилищное строительство*. 2013. № 3. С. 50–52.
4. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Чеботарев А.Г. Развитие методов нормирования теплозащиты энергоэффективных зданий // *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 19–23.
5. Киселев И.Я. Метод расчета равновесной сорбционной влажности строительных материалов при положительных и отрицательных температурах // *Academia. Архитектура и строительство*. 2011. № 3. С. 101–104.
6. Брунауэр С. Адсорбция паров и газов. Т. 1. Физическая адсорбция. М.: ГИИЛ, 1948. 784 с.
7. Грег С., Синг Л. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984. 306 с.
8. Гагарин В.Г. О модификации t-метода для определения удельной поверхности макро- и мезопористых адсорбентов // *Журнал физической химии*. 1985. Т. 59. № 5. С. 1838–1839.

References

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Theoretical preconditions for calculation of reduced resistance to heat transfer of enclosing structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 12, pp. 4–12. (In Russian).
2. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Prospects for increasing the energy efficiency of residential buildings in Russia. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3. Vol. 1, pp. 192–200. (In Russian).
3. Umnyakova N.P. Sorption of water steam of mineral wool heat insulation in operating ventilated facades. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 3, pp. 50–52. (In Russian).
4. Umnyakova N.P., Butovskiy I.N., Chebotarev A.G. Development of the regulation methods of heat shield of energy efficient buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 7, pp. 19–23. (In Russian).
5. Kiselyov I.Ya. The method of calculation of the equilibrium sorption humidity of building materials for positive and negative temperatures. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2011. No. 3, pp. 101–104. (In Russian).
6. Brunauer C. Adsorbция паров и газов. Т. 1. Физическая адсорбция [Adsorption of gases and vapors. Part. 1. Physical adsorption]. Moscow: GIIL. 1948. 784 p.
7. Greg S., Sing L. Adsorbция, удельная поверхность, пористость [Adsorption specific surface area, porosity]. Moscow: MIR. 1984. 527 p.
8. Gagarin V.G. About modification of t-method for the determination of the specific surface area of macro and mesoporous adsorbents. *Zhurnal fizicheskoi khimii*. 1985. Vol. 59. No. 5, pp. 1838–1839. (In Russian).



Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий

Ю.З. Балахшин, В.А. Терехов

Справочное пособие
М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
2012. 276 с.

Авторы многие годы отдали работе в промышленности строительных материалов и накопили значительный объем знаний и техниче-

ских документов производстве стеновых материалов не только из опыта работы промышленности в СССР и России, но и многих предприятий Европы, Америки и Азии.

В книге описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Описаны сырьевые материалы для производства цементнопесчаных изделий. Сформулированы специфические требования к сырьевым материалам, а также рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования.

Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу.

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

Некоторые проблемы определения влажности материалов ограждающих конструкций зданий

Рассмотрены некоторые проблемы экспериментального определения влажности материалов ограждающих конструкций неразрушающим диэлектрическим методом как в процессе изготовления строительной продукции, так и в процессе эксплуатации зданий с помощью емкостных датчиков поверхностного типа. Представлена схема проведения испытаний влагомером типа ИВТП-12-1. Показан один из способов сведения к минимуму погрешности измерений, связанной с качеством поверхности контролируемой конструкции.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, диэлектрический метод, влажность.

V.S.ROYFE, Doctor of Sciences (Engineering) (roife@mail.ru)

Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Some Problems of Determining the Moisture Content of Enclosing Structures Materials of Buildings

Some problems of the experimental determination of moisture content of enclosing structures materials by non-destructive dielkometric method both in the process of building products fabrication and in the process of operation of buildings with the help of capacitance sensors of a surface type are considered. The scheme of test conducting with a moisture meter of IFTP-12-1 type is presented. One of the ways to minimize measurements errors, which depend on the surface quality of the controlled structure, is shown.

Keywords: enclosing structures, non-destructive methods of control, dielkometric method, moisture meter.

Определение влажности капиллярно-пористых строительных материалов ограждающих конструкций зданий, в частности жилых, является одной из важных проблем, связанных с установлением ее влияния на показатели энергоэффективности проводимых энергосберегающих мероприятий [1]. Влажность материалов в конструкции может быть эксплуатационной, технологической, послойной, поверхностной, сорбционной, массовой, объемной и др. При этом любую влажность можно определить количественно как расчетным, так и экспериментальным путем.

Существующие методы теплофизических расчетов, как правило, оказываются неточными в силу большого числа допущений и упрощений, принимаемых исследователями в условиях отсутствия или недостаточных экспериментальных данных о фактическом состоянии конструкций уже эксплуатируемых аналогичных строительных объектов, и требуют экспериментального подтверждения [2]. Как правило, это замечание относится к расчетам температурно-влажностного режима многослойных конструкций. Удачным исключением из этого правила является пример расчета распределения влаги в многослойной ограждающей конструкции (послойной влажности) с использованием разных типов эффективных утеплителей [3]. Как в расчетах, так и в экспериментах полученный результат не свободен от погрешностей.

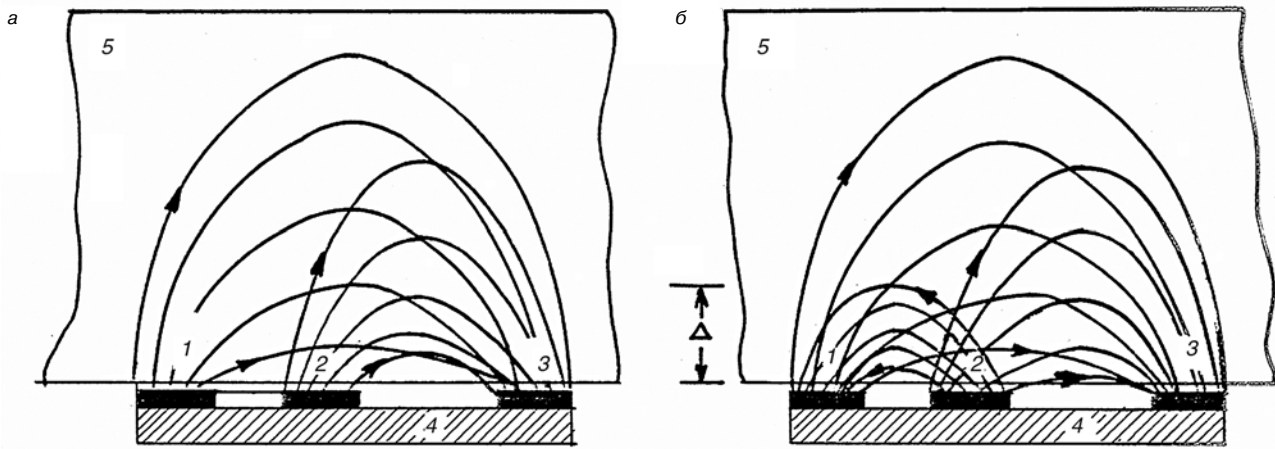
В работе рассматривается проблема экспериментального определения влажности строительных материалов как в процессе изготовления конструкций (технологическая влажность), так и в процессе эксплуатации зданий (эксплуатационная влажность). При изготовлении бетонных и железобетонных изделий параметры качества исходного сырья и технологических режимов варьируются в определенных пределах, что вызывает необходимость контроля отдельных параметров качества готовых изделий. В случае, когда такой контроль является оперативным и систематическим, появляется возможность следить не только за определенными пара-

метрами качества изделий, но и за ходом самого производственного процесса.

При статистическом контроле оценка качества выполняется выборочно по установленной системе, полученные в ходе проверки данные равнозначны сплошному контролю и дают наглядную информацию о ходе процесса, стабильности режимов и качества продукции. Такой контроль особенно эффективен в условиях поставки сырья и материалов с неустойчивым качеством (цемент, заполнители).

Действующие государственные стандарты устанавливают предельные допустимые значения отпускной влажности готовых строительных изделий. Например, ГОСТ 11024 «Панели стеновые наружные бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий», а также ГОСТ 13015.0 «Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные» устанавливают для легких бетонов предельные значения отпускной влажности менее 13% для жилых и менее 15% для общественных зданий. Этими же нормативными документами регламентирован метод определения влажности по ГОСТ 12730.2, который предусматривает термогравиметрический (весовой) способ. При этом влажность каждого фрагмента конструкции оценивается по двум пробам, что явно недостаточно, поскольку разброс влажности, например по наружным стеновым керамзитобетонным панелям, доходит до 3–4% при среднем значении влажности от 10 до 18%.

Учитывая такой разброс показателей, для повышения эффективности контроля отпускной влажности строительной продукции были введены нормативные документы, регламентирующие использование неразрушающих электрических методов и средств измерения влажности строительных материалов (ГОСТ 21718–76 «Материалы строительные. Диэлектрический метод измерения влажности», пересмотренный в 1984 г. и действующий в настоящее время). Благодаря быстрдействию и существенно меньшей трудоемкости неразрушающий метод



Распределение силовых линий трехэлектродного емкостного датчика: а – с эквипотенциальной защитой; б – со встречным полем; 1, 2 – основной и дополнительный высокопотенциальные электроды; 3 – низкопотенциальный (нулевой) электрод; 4 – основание датчика (диэлектрик); 5 – материал; Δ – толщина поверхностного слоя материала

обес-печивает бóльшую статистическую достоверность контроля и позволяет проверить все изделия из партии. Количество контролируемых участков на поверхности и количество измерений на каждом участке выбирают в соответствии с технологическими требованиями. Общая длительность измерения средней влажности одного изделия современными электрическими влагомерами составляет несколько минут, что позволяет осуществить неразрушающий контроль большого количества изделий, результаты которого выявляют некоторые общие закономерности, характерные для данного технологического процесса. Так, например, по результатам статистического контроля отпускной влажности керамзитобетонных стеновых панелей на одном из заводов ЖБИ г. Москвы было установлено, что требованиям ГОСТ 11024 по отпускной влажности соответствует менее 30% выпускаемой продукции. Эти данные вместе с предложениями технологического и эксплуатационного характера, сделанными лабораторией, послужили основанием для реконструкции прокатных станков на заводе. Повторный статистический контроль после реконструкции показал, что практически все проконтролированные панели соответствуют нормативным требованиям.

Контроль влажности строительных материалов по ГОСТ 21718–84 ранее проводили с помощью влагомеров типа ВСКМ-12, разработанных НИИСФ и выпускаемых серийно до 2005 г. В настоящее время разработаны приборы типа ИВТП-12-1. Они [4] внесены в Госреестр средств измерений РФ и являются рабочими средствами измерений по ГОСТ Р 8.621–2006. Однако НИИСФ изготавливает их слишком мало для того, чтобы считать это внедрение в строительной отрасли массовым.

В комплект диэлькометрических влагомеров входит емкостной датчик с копланарными (расположенными в одной плоскости) электродами. Особенностью емкостных датчиков такой конструкции является неравномерность электрического поля, создаваемого в контролируемом объеме. При этом поверхностный слой материала оказывает преобладающее влияние на суммарную измеряемую емкость датчика. Применительно к промышленным изделиям из легких бетонов, имеющим, как правило, наружный отделочный или декоративный слой, это означает, что информация о свойствах бетона зависит от различия свойств поверхностного слоя и основной массы изделия. Кроме того, качество поверхности изделия (шерохова-

тость, раковины, выступы и т. п.) также вносит дополнительную погрешность в результаты измерений. Это обстоятельство в какой-то мере сдерживает широкое внедрение диэлькометрических влагомеров с датчиками поверхностного типа в практику натурных обследований влажностного режима ограждающих конструкций.

Существуют приемы уменьшения этих дополнительных погрешностей, позволяющие повысить метрологические характеристики поверхностных емкостных датчиков. Одним из наиболее простых в методическом плане и достаточно эффективных является использование датчиков с дополнительным электродом эквипотенциальной защиты, расположенным между высоко- и низкопотенциальными электродами датчика. Наличие на дополнительном электроде такого же потенциала, как на основном, ослабляет влияние поверхностного слоя, так как часть силовых линий поля, проходящих через этот слой, замыкается на дополнительный электрод и в снимаемом с датчика сигнале доля поверхностного слоя уменьшена.

Рассмотрим способ, позволяющий практически полностью исключить влияние на результаты поверхностного слоя материала переменной толщины. Суть его измерений заключается в том, что система копланарных электродов емкостного датчика создает в материале одновременно два электрических поля одной и той же частоты – основное и дополнительное, причем силовые линии дополнительного поля направлены встречно силовым линиям основного. При этом происходит компенсация полей в поверхностном слое материала определенной толщины, т. е. этот слой не влияет на измеряемую емкость датчика. Сущность предложенного компенсационного способа измерений поясняется рисунком. Основное поле, создаваемое между электродами 1 и 3 под действием разности потенциалов $\Delta\varphi_1 = \varphi_1 - \varphi_3$, имеет сравнительно большую глубинность. Дополнительное поле, создаваемое между электродами 1 и 2, под действием разности потенциалов $\Delta\varphi_2 = \varphi_2 - \varphi_1$, имеет сравнительно малую глубинность. Если $\varphi_2 > \varphi_1$, то силовые линии дополнительного поля направлены навстречу силовым линиям основного поля. Поэтому в поверхностном слое материала, толщина которого определяется глубинностью дополнительного электрода, из-за суперпозиции полей происходит их взаимная компенсация. Регулируя значение потенциала φ_2 на электроде 2, изменяют напряженность дополнительного поля, а следовательно,

и его глубинность, что позволяет компенсировать основное поле в поверхностном слое переменной толщины. Это значит, что результаты измерений емкости между электродами 1 и 3 не зависят от свойств поверхностного слоя толщиной Δ .

Регулируя напряжение на электроде 2, можно добиться почти полного устранения влияния поверхностного слоя материала заданной толщины и таким образом получить результаты измерения влажности материала, не зависящие от вида отделочного слоя и качества его поверхности. Следовательно, применение неразрушающего способа измерений влажности с созданием встречного электрического поля в поверхностном слое материала позволяет ослабить влияние последнего на результаты измерений, что расширяет возможности диэлькометрического метода измерения влажности строительных изделий и конструкций.

Другим, не менее важным направлением внедрения неразрушающего метода и средств контроля влажности в строительной отрасли является оперативный контроль влажности ограждающих конструкций перед сдачей жилых зданий в эксплуатацию. Завершающим этапом строительства зданий этого назначения являются отделочные работы, к которым относятся: штукатурные работы, окраска стен и перегородок, наклейка обоев, настилка деревянных полов или линолеума и др. Качество этих работ в значительной степени зависит от влажностного состояния поверхностного слоя отделяемых ограждающих конструкций. Действующие строительные нормы и правила устанавливают максимальные допустимые значения влажности ограждающих конструкций перед отделочными работами. Эти значения находятся в интервале 3–8% в зависимости от материала конструкции и вида отделочных работ. Не секрет, что при отсутствии средств оперативного неразрушающего контроля поверхностной влажности материала конструкции зачастую отделочные работы начинают при влажности значительно больше допустимой, вследствие чего качество отделки оказывается неудовлетворительным, что вызывает справедливые жалобы жильцов. Использование диэлькометрического метода измерения влажности и влагомеров типа ИВТП-12-1 в построчных условиях позволяет получить оперативную информацию, на основе которой может быть достигнуто высокое качество отделочных работ. Контроль поверхностной влажности ограждающих конструкций с помощью влагомера типа ИВТП-12-1 осуществляется непосредственно на объекте строительства в период

отделочных работ. Измерения поверхностной влажности ограждающих конструкций (стен, цементной стяжки под полы и др.) проводят аналогично контролю отпускной влажности бетона в изделиях на нескольких участках. Допустимый предел поверхностной влажности стены перед отделкой составляет, например, для керамзитобетона 6%. Для достижения такого значения влажности в условиях естественной сушки в летний период требуется несколько месяцев (при начальной влажности 12–15%). Такая длительная выдержка конструкций перед отделкой неприемлема при современных методах и темпах индустриального строительства. Поэтому в большинстве случаев прибегают к искусственной сушке стен перед отделкой (особенно в зимний период строительства). Сушка производится с помощью различного оборудования (инфракрасное облучение, огневые, паровые или электрические калориферы, мощные электролампы и др.). Однако эффективность просушивания может быть высокой лишь при одновременном контроле процесса сушки конструкции и фиксации момента достижения допустимой влажности. Например, периодический контроль влажности внутренних поверхностей стен в процессе их искусственной сушки с помощью мощных электроламп, проведенный в 12-этажном жилом доме, монтаж которого осуществлялся весной, показал, что искусственную сушку внутренней поверхности стен при использовании данных сушильных устройств необходимо производить непрерывно в течение примерно трех суток. До применения влагомера для контроля поверхностной влажности стен указанную сушку вели в течение 7–8 сут, что привело не только к перерасходу электроэнергии, но и к пересушке поверхности стен, в результате чего штукатурка трескалась и местами отваливалась. Аналогичный периодический контроль влажности цементной стяжки под полы в этом же доме показал, что нормативная влажность стяжки достигается не ранее чем через 8–10 ч после того, как стяжка затвердеет. В тех местах, где полы были настелены ранее этого срока, через несколько месяцев после начала эксплуатации пришлось их перестилать.

В заключение следует еще раз подчеркнуть важность именно массового, а не локального внедрения современных неразрушающих методов контроля влажностного состояния ограждающих конструкций в процессе их производства, эксплуатации и ремонта, а для этого усилий одних энтузиастов недостаточно.

Список литературы

1. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 7–9.
2. Ройфе В.С. Экспериментальные исследования влажностного состояния строительных конструкций // *Вестник МГСУ*. 2011. Т. 3. № 2. С. 104–108.
3. Пастушков П.П., Лушин К.И., Павленко Н.В. Отсутствие проблемы выпадения конденсата на внутренней поверхности стен со скрепленной теплоизоляцией // *Жилищное строительство*. 2014. № 6. С. 42–44.
4. Патент РФ № 82311. *Комплект экспресс-измерителя влажности и теплопроводности твердых материалов* / Ройфе В.С. Заявл. 05.04.2011. Опубл. 16.07.2012.

References

1. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Quantitative assessment of energy efficiency of energy saving measures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 7–9. (In Russian).
2. Rojfe V.S. Pilot studies of a moist condition of construction designs. *Vestnik MGSU*. 2011. Vol. 3. No. 2, pp. 104–108. (In Russian).
3. Pastushkov P.P., Lushin K.I., Pavlenko N.V. Absence of problem of condensate formation on the inner surface of walls with fastened heat insulation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 42–44. (In Russian).
4. Patent RF № 82311 *Komplekt ekspress-izmeritelya vlazhnosti i teploprovodnosti tverdykh materialov* [Package express moisture meter and the thermal conductivity of solid materials] / Royfe V.S. Declared 05.04.2011. Published 16.07.2012.

С.А. ТИХОМИРОВ, канд. техн. наук (sergtihomirov@yandex.ru),
А.Л. ТИХОМИРОВ, канд. техн. наук, С.Г. ШЕИНА, д-р техн. наук

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

Тепловой неразрушающий метод контроля состояния строительных конструкций подземных теплопроводов

Рассмотрены нормативные методы технической диагностики строительных и в том числе теплоизоляционных конструкций подземных теплопроводов. Предложен тепловой неразрушающий метод диагностики бесканальных теплопроводов, приведен алгоритм реализации предложенного метода на практике. Описаны пути решения задач основных этапов проведения контроля, таких как измерение фактических температур поверхности грунта (покрытия) над прокладкой с использованием тепловизионной техники и математического моделирования температурных полей теплопроводов для различных состояний строительных конструкций и технологических режимов. Дано математическое описание процесса теплопереноса в системе теплопровод–грунт. Проведено сравнение фактических термограмм, полученных в результате экспериментальной апробации предложенного метода, с результатами численного моделирования.

Ключевые слова: диагностика, теплопровод, тепловизор, температурное поле.

S.A. TИХОМИРОВ, Candidate of Sciences (Engineering) (sergtihomirov@yandex.ru),
A.L.TИХОМИРОВ, Candidate of Sciences (Engineering), S.G.SHEINA, Doctor of Sciences (Engineering)
Rostov State Building University (162, Socialisticheskaya Street, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation)

Thermal Non-Destructive Method for Control over Conditions of Building Structures of Underground Heating Mains

Normative methods for the technical diagnostic of building, including heat insulating, structures of underground heating mains are considered. The thermal non-destructive method for diagnostics of trenchless heat lines is proposed, an algorithm of implementing the proposed method in practice is given. Ways of the solution of problems at the main stages of control conducting, such as the measurement of factual temperatures of soil surface (covering) over the laying with the use of thermal imaging equipment and the mathematical simulation of temperature fields of heating mains for different conditions of building structures and technological regimes, are described. The mathematical description of the heat transfer process in the «heating line – soil» system is given. The comparison of factual thermograms, obtained as a result of experimental approbation of the proposed method, with the results of numerical simulation is made.

Keywords: diagnostics, heating main, thermal imager, temperature field.

В настоящее время с целью снижения капитальных затрат преимущественно ведется строительство бесканальных теплопроводов [1].

Характерной особенностью бесканальной конструкции является непосредственный контакт изолированных теплопроводов с влажным грунтом, что определяет специфические, весьма тяжелые в отношении тепловлажностных воздействий условия эксплуатации трубопроводов и теплоизоляции. Теплоизоляционные конструкции подземных тепловых сетей эксплуатируются в условиях переменного температурно-влажностного режима, обусловленного сезонными и суточными изменениями температуры теплоносителя и изменениями влажности окружающей среды.

Правилами технической эксплуатации тепловых энергоустановок предписано для контроля состояния подземных теплопроводов, теплоизоляционных и строительных конструкций, производить шурфовки (местные вскрытия) на тепловых сетях.

Регламентируемое указанным документом количество шурфов (1 шурф на 1 км трассы) при многочисленных пересечениях с водостоками, канализацией, водопроводом, в разнообразных грунтовых и гидрологических условиях является явно недостаточным.

В настоящее время при строительстве бесканальных тепловых сетей нормативными документами предписано использовать стальные трубы с индустриальной тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке, оснащенных проводниками системы оперативного дистанционного контроля (ОДК) увлажнения или нарушения тепловой изоляции. Однако на значительном количестве бесканальных трубопроводов, проложенных без системы ОДК, не может быть применена данная прогрессивная технология.

В работах [2–5] приведены применяемые в настоящее время методы диагностики тепловых сетей.

При решении задачи оперативной диагностики необходимо выполнить следующие требования: контроль должен осуществляться неразрушающим методом; не должны налагаться ограничения на длину исследуемого участка с целью локализации конкретных, неблагоприятных с точки зрения состояния тепловой изоляции и трубопроводов мест; проведение контроля не должно нарушать тепловое и гидравлическое режима работы сети, т. е. нормального теплоснабжения абонентов.

Подземные трубопроводы тепловых сетей являются мощными источниками тепла и в процессе работы создают в грунте температурное поле, отличное от собственного температурного поля земли. Любое нарушение состояния строительной или теплоизоляционной конструкции теплопровода, а также режима его работы, приводит к изменению температурного поля, в том числе к изменению температуры в поверхностном слое грунта. Нестабильность тепловой характеристики поверхности грунта над прокладкой свидетельствует, как правило, о нарушении изоляции либо о негерметичности трубопроводов. Однако в случае увлажнения тепловой изоляции или ее полного разрушения на участке значительной протяженности, на поверхности грунта возникает повышенный, но равномерный температурный фон. Аналогичный по своей величине температурный фон может возникнуть в ряде случаев, не связанных с какими-либо нарушениями, к примеру при сравнительно небольшой глубине заложения теплопровода, при повышении температуры теплоносителя, вызванном технологическими требованиями и т. д. Иными словами, влияние различных факторов может привести в конечном итоге к одному и тому же распределению температур в поверхностном слое грунта. В таких случаях

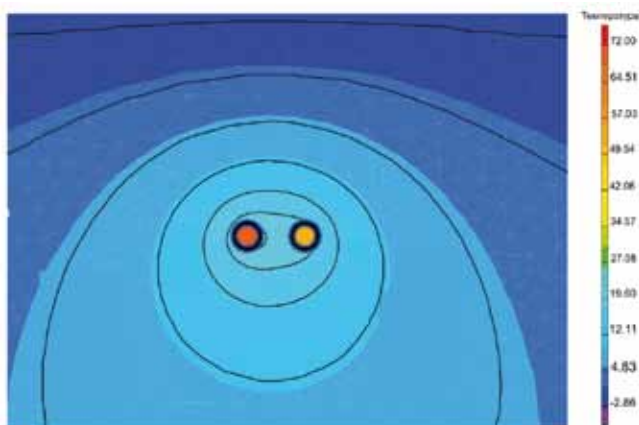


Рис. 1. Результаты математического моделирования теплопереноса участка бесканальной теплотрассы

требуется количественная оценка поверхностной температуры, а также глубокий анализ структуры температурного поля, создаваемого трубопроводом в грунте, с учетом всех природных и эксплуатационных факторов, влияющих на его формирование.

Таким образом, располагая данными фактической поверхностной температуры грунта над прокладкой и проводя математическое моделирование возможных вариантов температурных полей в грунте вокруг подземного теплопровода с использованием данных технологических параметров работы сети и метеорологических факторов в зоне обследования, можно сделать вывод о состоянии тепловой изоляции подземного теплопровода и о состоянии прокладки в целом.

Предлагаемый метод теплового неразрушающего контроля строительных конструкций подземных теплотрасс предполагает следующий алгоритм проведения диагностики.

I. Подготовительный этап

1. Выбор участка теплотрассы
2. Изучение проектной и исполнительной документации исследуемой прокладки
3. Разработка плана обследования участка

II. Этап натурных исследований

1. Измерение температуры поверхности грунта (покрытия) над прокладкой
2. Измерение скорости ветра
3. Измерение температуры воздуха
4. Измерение температуры теплоносителя
5. Обработка результатов измерений и оценка погрешностей

III. Расчет температурных полей

1. Расчет температурного поля исследуемого участка для условий нормального состояния прокладки
2. Математическое моделирование различного состояния прокладки

IV. Построение термопрофилей, полученных расчетным и экспериментальным путем

V. Сравнение результатов и заключение о состоянии прокладки

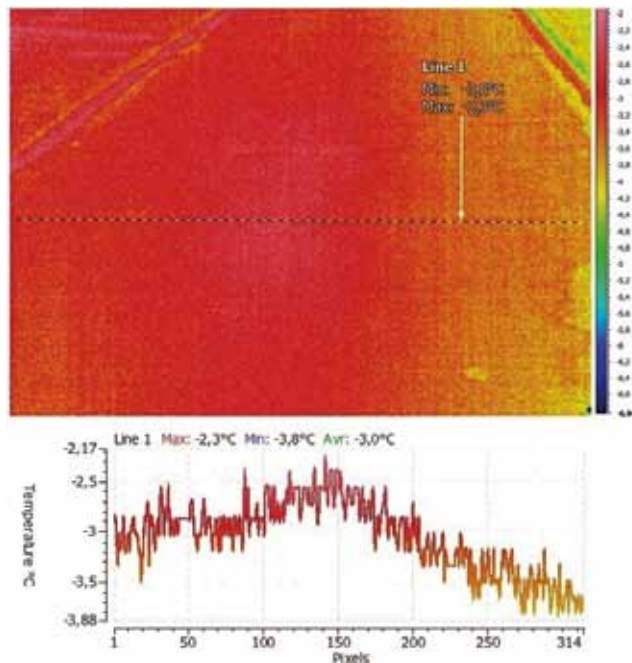


Рис. 2. Результаты экспериментального обследования участка бесканальной теплотрассы

Более подробно остановимся на основных элементах представленной блок-схемы.

Измерение температуры.

Анализ существующих методов измерения температуры поверхности показал, что для практического применения предлагаемого метода диагностики наиболее эффективным представляется метод термографии.

Теоретические основы и методика использования метода термографии – визуализации с помощью тепловизора распределения температуры на поверхности исследуемого объекта с целью обнаружения и анализа источников потерь тепла и дефектов строительных конструкций подробно изложены в [6].

Не меньший интерес представляет использование термографии в энергетических системах, в частности в системах транспорта теплоносителя [7, 8].

Для устранения систематической инструментальной погрешности прибора предлагается измерять не абсолютные значения температуры поверхности грунта (покрытия) над прокладкой, а разность между максимальной зафиксированной над прокладкой температурой и температурой грунта в термически ненарушенном состоянии, т. е. вне зоны теплового воздействия теплопровода. Обозначим этот перепад температуры через $\Delta\theta$ и условимся называть его в дальнейшем определяющей разностью. Вследствие того что измерения в указанных точках производятся одной и той же инфракрасной системой, при определении величины $\Delta\theta$ систематическая инструментальная погрешность устраняется.

Принципиально важным вопросом проводимых измерений является оценка и устранение погрешности, вызванной неверным определением коэффициента теплового излучения исследуемой поверхности. Для получения объективной величины, определяющей разности температуры $\Delta\theta$, излучательная способность поверхности грунта (покрытия) над прокладкой и излучательная способность поверхности грунта в термически ненарушенном состоянии, т. е. вне зоны теплового воздействия теплопровода, должны быть одинаковыми.

Математическое моделирование температурных полей.

Для решения задачи определения температурного поля вокруг подземных теплопроводов необходим учет многих факторов и условий, в том числе:

- наличие естественного температурного поля земли, возникающего вследствие воздействия природных факторов;
- необходимость задания граничных условий, соответствующих реальному теплообмену в системе теплопровод – грунт – атмосфера;
- несимметричность задачи при двух- и многотрубной прокладке теплопроводов;
- наличие тепловой изоляции на трубах;
- расположение в зоне прокладки инженерных сооружений, термически влияющих на температурное поле теплопроводов.

Рассматривается задача о стационарном температурном поле в грунте вокруг бесканального двухтрубного теплопровода диаметром D . Тепловая изоляция теплопроводов характеризуется размером δ . Вследствие того, что в теплопроводах тепловых сетей имеет место развитое турбулентное течение с большим коэффициентом теплоотдачи от горячей воды к внутренней поверхности, температура этой поверхности принимается равной температуре теплоносителя. Глубина заложения теплопровода – h , межцентровое расстояние между осями труб – L . Коэффициенты теплопроводности грунта и тепловой изоляции составляют $\lambda_{гр}$ и $\lambda_{из}$, коэффициент теплоотдачи от поверхности грунта в атмосферу – α . Температуры теплоносителя в подающей и обратной линиях соответственно равны τ_1 и τ_2 . Учитывая, что при работе теплопроводов сечений температур вдоль оси теплопровода значительно меньше, чем в радиальном направлении, исходная задача теплопроводности рассматривается как двумерная.

Математическое описание процесса теплопереноса в системе теплопровод–грунт включает уравнение Лапласа для областей «грунт» и «тепловая изоляция»

$$\nabla^2 t_{гр} = 0, (1) \quad \nabla^2 t_{из} = 0, (1)$$

где ∇^2 – оператор Лапласа и соответствующие краевые условия.

Список литературы

1. Ковалевский В.Б. Энергоэффективность тепловых сетей бесканальной прокладки // *Новости теплоснабжения*. 2014. № 5. С. 45–48.
2. Исаев В.В., Рондель А.Н., Шаповалов Н.Н. Опыт инструментального диагностирования подземных теплопроводов тепловых сетей для оценки их технического состояния при определении мер по обеспечению надежности систем теплоснабжения. // *Новости теплоснабжения*. 2013. № 4. С. 31–34.
3. Писчасов С.А. Методы диагностики тепловых сетей. // *Новости теплоснабжения*. 2014. № 5. С. 38–44.
4. Лукьяненко В.А. Применение метода акустической эмиссии при диагностировании теплопроводов тепловых сетей. // *Новости теплоснабжения*. 2014. № 3. С. 32–35.
5. Карлов К.Р., Байбаков С.А. Использование оптоволоконной техники для мониторинга состояния подземных тепловых сетей. // *Новости теплоснабжения*. 2012. № 8. С. 23–28.
6. Основы современной строительной термографии / Под ред. д.т.н. И.Л. Шубина. М.: НИИСФ РААСН. 2012. 176 с.
7. Феткуллов М.Р. О замене гидравлических испытаний тепловых сетей методами неразрушающего контроля. // *Новости теплоснабжения*. 2013. № 11. С. 32–35.
8. Самойлов Е.В. Место акустической томографии в комплексном подходе к техническому диагностированию теплопроводов тепловых сетей. // *Новости теплоснабжения*. 2013. № 10. С. 46–48.

На границах Γ_1 и Γ_3 (наружная поверхность труб) приняты граничные условия I рода:

$$t_{из \Gamma_1} = \tau_1, (2); \quad t_{из \Gamma_3} = \tau_2, (3).$$

На границах Γ_2 и Γ_4 (поверхность изоляции-грунт) заданы условия сопряжения

$$\lambda_{из} \frac{\partial t_{из}}{\partial n} \Gamma_2 = \lambda_{гр} \frac{\partial t_{гр}}{\partial n} \Gamma_2, \\ t_{из \Gamma_2} = t_{гр \Gamma_2}; (4)$$

$$\lambda_{из} \frac{\partial t_{из}}{\partial n} \Gamma_4 = \lambda_{гр} \frac{\partial t_{гр}}{\partial n} \Gamma_4; \\ t_{из \Gamma_4} = t_{гр \Gamma_4}. (5)$$

На границе «поверхность грунта – атмосфера» используется граничное условие III рода:

$$\lambda_{гр} \frac{\partial t_{гр}}{\partial y} = \alpha(t_{гр} - t_b); y = 0, (6)$$

где t_b – температура наружного воздуха.

В основу алгоритма решения задачи положена разностная аппроксимация дифференциальных уравнений в частных производных и краевых условий на неравномерной сетке.

На рис. 1, 2 приведены результаты математического моделирования и экспериментального обследования участка бесканальной теплопроводности с заведомо известными техническими и теплофизическими характеристиками. Сравнение термограмм, полученных математическим и экспериментальным путем, показывает хорошее сходжение результатов и подтверждает нормальное технологическое состояние теплопровода.

References

1. Kovalevsky V.B. Energy Efficiency ductless heat networks strip. *Novosti teplosnabzheniya*. 2014. No. 5, pp. 45–48. (In Russian)
2. Isaev V.V., Rondelle, A.N., Shapovalov N.N. The experience of instrumental diagnostics of underground pipelines of thermal networks to assess their technical condition in determining measures to ensure the reliability of heat supply systems. *Novosti teplosnabzheniya*. 2013. No. 4, pp. 31–34. (In Russian)
3. Pinchasov S.A. Methods of diagnostics of thermal networks. *Novosti teplosnabzheniya*. 2014. No. 5, pp. 38–44. (In Russian)
4. Lukyanenko V.A. The acoustic emission method in the diagnosis of heat pipelines. *Novosti teplosnabzheniya*. 2014. No. 3, pp. 32–35. (In Russian)
5. Charles K.R., Baibakov S.A. the Use of fiber-optic techniques for condition monitoring of underground thermal systems. *Novosti teplosnabzheniya*. 2012. No. 8, pp. 23–28. (In Russian)
6. Osnovy sovremennoi stroitel'noi termografii [The foundations of modern building thermography]. Under the General editorship of D. I. L. Shubin. M.: NIISF RAASN, 2012. 176 p.
7. Fedulov M.R. About replacing hydraulic tests of thermal networks by NDT methods. *Novosti teplosnabzheniya*. 2013. No. 11, pp. 32–35. (In Russian)
8. Samoilov E.V. Place acoustic tomography in a comprehensive approach to the technical diagnostics of pipelines of thermal networks. *Novosti teplosnabzheniya*. 2013. No. 10, pp. 46–48.

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СКБ СТРОЙПРИБОР
ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



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

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

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

автоматическая обработка измерений
 диапазон 3...100 МПа



УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С
 ультразвуковой

поверхностное и сквозное прозвучивание
 частота 60...70 кГц
 диапазон 10...2000 мкс



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

отрыв со скалыванием и скалывание ребра
 предельное усилие 60 кН
 диапазон 5...100 МПа



ПОС-2МГ4 П

испытание прочности ячеистых бетонов



предельное усилие вырыва 2,5 кН

ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКИЕ

ПДУ-МГ4 "Удар" и ПДУ-МГ4 "Импульс"

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



Прессы испытательные малогабаритные

ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4 / ПГМ-1000МГ4



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

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

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

ПСО-10МГ4 КЛ

испытание прочности сцепления в каменной кладке



предельное усилие отрыва 15 кН

АДГЕЗИМЕТРЫ

ПСО-МГ4

испытание прочности сцепления покрытия с основанием



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

ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"

стационарный и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ

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



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

ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01
 термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ИТП-МГ4.03 "Поток"

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



диапазон 10...999 Вт/м²
 -40...+70 °С

ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

ВЛАГОМЕР-МГ4

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



ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

ИПА-МГ4

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



ТЕРМОМЕТРЫ

ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01

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



ДИНАМОМЕТРЫ

ДМС-МГ4 / ДМР-МГ4
 эталонные



сжатия / растяжения
 предельная нагрузка 1...1000 кН

ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

ДО-40 / 60 / 80МГ4

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых усилий 2...120 кН



диаметр арматуры 3...12 мм

ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ

ЭИН-МГ4

частотный метод

диаметр арматуры 3...32 мм



диапазон 100...1800 МПа

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

Реклама

Влагостойкие решения для стен и потолков

При разработке очередного строительного проекта, будь то реконструкция ранее возведенного здания или создание принципиально нового объекта, естественное желание любого профессионала – сохранить результат своего труда на максимально длительный период времени. Но в условиях повышенной влажности в помещении это не всегда возможно.



Влагостойкие системы облицовок и перегородок

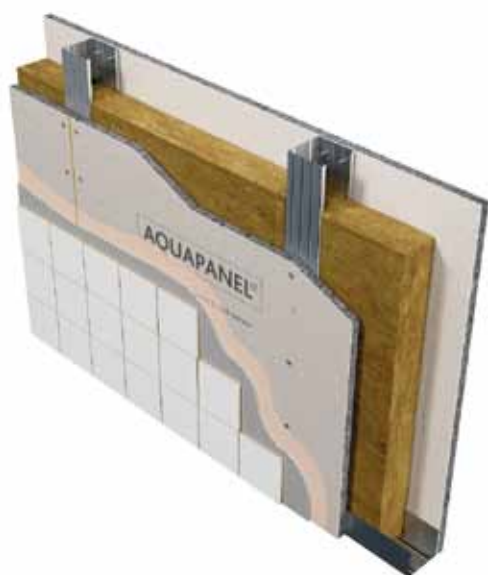
Существует высокий риск разрушения финишного покрытия стен, основы под отделку вследствие воздействия влаги и высокой температуры в таких «мокрых» помещениях, как ванные комнаты, душевые, кухни, сауны, бассейны, спа-центры. Часто влага скапливается на плитке и проникает сквозь плиточные швы и места примыкания стен, разрушая строительные конструкции, которые начинают разбухать и крошиться, что далее приводит к потере эстетической привлекательности и влияет на долговечность всей конструкции стены.

Компания КНАУФ разработала специальное решение для применения во влажных и мокрых помещениях: строительные системы облицовок и перегородок Влагостойкие решения КНАУФ с АКВАПАНЕЛЬ® Внутренняя. В основе решения – цементная плита АКВАПАНЕЛЬ® Внутренняя, образующая прочное и надежное основание под различную финишную отделку – плитку, обои, декоративную штукатурку, краску. Плита имеет прямоугольную форму и состоит из сердечника на основе портландцемента и легкого минерального заполнителя, поверхности которой (тыльная и лицевая) армированы стеклосеткой. Благодаря армирующей стеклосетке АКВАПАНЕЛЬ® Цементная плита гнется в сухом виде без предварительного увлажнения с радиусом кривизны до 1 м, что позволяет применять материал для создания криволинейных поверхностей. Плита на 100% влагостойка и устойчива к появлению плесени и грибка.



Уникальные особенности строительной системы

- 100%-я влагостойкость. Система подходит для применения в агрессивных хлорсодержащих влажных средах, имеет стойкость к химическим реагентам.
- Выдерживает высокую температуру.



Влагостойкие решения КНАУФ с АКВАПАНЕЛЬ® Внутренняя, конструкция перегородки



- Устойчива к поражению грибком и плесенью.
- Не требует герметизации поверхности при отсутствии прямого попадания влаги более 6 ч.
- Достаточно одного слоя обшивки плитой АКВАПАНЕЛЬ® Внутренняя для облицовки керамической плиткой.
- Выдерживает нагрузку из плитки с клеем до 50 кг/м².
- Высокая ударопрочность и пожарно-технические характеристики.
- Исключаются трудоемкие процессы обработки поверхностей.
- Простой и быстрый монтаж, не требуется применения специального инструмента.
- Впечатляющие возможности дизайна – создание криволинейных поверхностей, радиус сгиба плиты до 1 м.

Влагостойкие решения КНАУФ с АКВАПАНЕЛЬ® Внутренняя – это комплексная система со специально подобранными компонентами: шпаклевкой, профилями, теплоизоляцией, шурупами, клеем, грунтовкой. Все элементы комплектной системы производятся по современным технологиям, проходят строгий контроль качества, функционально ориентированы и обеспечивают надежность всей конструкции в процессе длительной эксплуатации.

В помещениях с умеренной влажностью применение плит АКВАПАНЕЛЬ® показано в случае, когда поверхность стен по санитарно-гигиеническим требованиям должна регулярно подвергаться влажной уборке и чистке дезинфицирующими средствами, например на предприятиях пищевой промышленности, общественно-го питания, в спортивно-оздоровительных и медицинских учреждениях и других.

Другая область применения АКВАПАНЕЛЬ® Внутренняя – общественные помещения. Отличные характеристики этого материала по ударостойкости, звукоизоляции и огнестойкости делают его незаменимым при строительстве коридоров и вестибюлей школ, больниц, спортивных сооружений и других общественных зданий, где конструкции постоянно подвергаются повышенным механическим нагрузкам.

Влагостойкие решения для потолков

Для устройства подвесных потолков во влажных помещениях существует специальная строительная система – Потолочные решения КНАУФ с АКВАПАНЕЛЬ® Скайлайт. Это конструкции внутренних и наружных потолков на базе цементной плиты АКВАПАНЕЛЬ®.

Характеристики строительной системы

- Малая масса конструкции при неизменных параметрах прочности и долговечности
- Пригодна для внутреннего и наружного применения.
- Очень высокая влагостойкость: предотвращает разрушение конструкций при воздействии влаги, обеспечивая защиту от погодных условий.
- Устойчивость к образованию плесени.
- Выдерживает высокие ветровые нагрузки.
- Простой и быстрый монтаж благодаря малой массе плиты АКВАПАНЕЛЬ® (10,5 кг/м²).

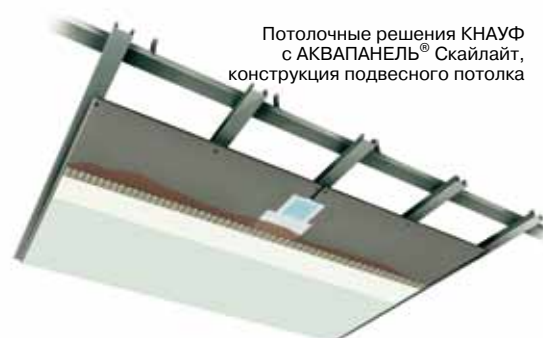
• Деформационные швы устраиваются не чаще чем через 15 м, что позволяет получить монолитные бесшовные поверхности до 225 м² без видимых стыков.

• Возможен широкий диапазон уровней качества отделки от базового до высокоэстетического.

• Впечатляющие возможности дизайна – создание криволинейных поверхностей.

АКВАПАНЕЛЬ® Скайлайт применяется при создании конструкций подвесных потолков в помещениях с влажным и мокрым режимом эксплуатации в зданиях различного назначения, как при реконструкции, так и в новом строительстве, особенно в зонах вокруг бассейнов, в паровых саунах, в душевых, а также в неотопляемых помещениях.

Кроме этого, система подвесного потолка используется при строительстве наружных потолков, обеспечивая всестороннюю защиту конструкций от атмосферных воздействий и влажности. Снаружи конструкции потолков применяются в полукрытых пассажах, галереях, при облицовке софитов и балконов, а также в наружных потолочных конструкциях высотой до 25 м.



Потолочные решения КНАУФ с АКВАПАНЕЛЬ® Скайлайт, конструкция подвесного потолка



▶ www.knauf.ru

▶ www.aquapanel.ru

УДК 624.13

С.И. ЕВТУШЕНКО, д-р техн. наук, профессор, Т.А. КРАХМАЛЬНЫЙ, канд. техн. наук, М.П. КРАХМАЛЬНАЯ, канд. техн. наук, А.С. ЕВТУШЕНКО, канд. техн. наук

Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова (346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132)

Система мониторинга состояния малых железобетонных мостовых сооружений как фактор повышения их долговечности

Отражены вопросы нынешнего состояния малых железобетонных автодорожных мостовых сооружений, а также недостатки существующих методов содержания и контроля мостовых переездов. Приведено описание разработанной авторами системы мониторинга состояния мостовых сооружений, позволяющей в реальном масштабе времени проводить измерения и автоматизировать процесс передачи данных посредством беспроводной связи. Представлена структурная блок-схема системы.

Ключевые слова: мостовое сооружение, эксплуатационная служба, мониторинг технического состояния, долговечность и эксплуатационная надежность, измерительная система.

S.I. EVTUSHENKO, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, T.A. KRAKHMAL'NY, Candidate of Sciences (Engineering), M.P. KRAKHMAL'NAYA, Candidate of Sciences (Engineering), A.S. EVTUSHENKO, Candidate of Sciences (Engineering) Platov South Russian State Polytechnic University (Novocherkassk Polytechnic Institute) (132, Prosvescheniya Street, 346428, Novocherkassk, Rostov Region, Russian Federation)

Monitoring System of Small Reinforced Concrete Bridgeworks as a Factor of Increasing Their Durability

Problems of the present condition of small reinforced concrete highway bridgeworks as well as disadvantages of existing methods for maintenance and control of bridge crossings are reflected. The description of the monitoring system of conditions of bridgeworks developed by authors, which make it possible, in real scale of time, to conduct measurements and automate the process of data transmission by wireless communication, is presented. The structural block-scheme of the system is also presented.

Keywords: bridgework, operational service, monitoring of technical condition, durability and operational reliability, measuring system.

Состояние автодорожных мостов в России, как наиболее сложных и ответственных гидротехнических сооружений, является актуальным вопросом (рис. 1).

Со временем система автомобильных мостов в целом постепенно стареет как в моральном, так и в физическом отношении. По мере развития сельских поселков, увеличения грузоподъемности автомобильного транспорта и увеличения интенсивности движения большинство малых железобетонных мостовых сооружений перестает соответствовать современным эксплуатационным требованиям. Многие мосты к настоящему времени не могут обеспечить требуемых грузоподъемности и условий проезда транспорта.

Если учесть, что протяженность автодорог федерального значения составляет менее 10% от длины дорог общего пользования (около 470 тыс. км) и 6% от полной длины дорог с твердым покрытием (750 тыс. км), в целом по стране находится в эксплуатации примерно 80–90 тыс. мостов и мостовых переездов. При этом на содержание мостов территориальных и городских дорог отпускается существенно меньше средств, чем федеральных. Следует также отметить, что в первую очередь из выделенных средств ремонтируются большепролетные мосты, а на ремонт малых мостовых сооружений длиной до 18–24 м финансирования не хватает.

Для мостового хозяйства России сохраняется общая негативная оценка состояния, характерная и для сети автомобильных дорог в целом, что было отражено в «Государственной концепции создания и развития сети автомобильных дорог в Российской Федерации».

Параметры долговечности и эксплуатационной надежности мостовых переездов через водопроводящие каналы зависят от воздействия сложного комплекса факторов. Результатом воз-

действия этих факторов является напряженно-деформированное состояние (НДС) мостовой конструкции, которое формируется на стадии строительства мостового переезда и изменяется в стадии эксплуатации под влиянием растущих повреждений конструкций. Существующие методы содержания и контроля мостовых переездов (рис. 2) недостаточно учитывают параметры НДС и динамику повреждений [1].

Состояние каждого длительно эксплуатируемого мостового переезда формируется во времени индивидуально, поэтому планирование и выполнение ремонтных работ на основе нормируемых межремонтных сроков не позволяет улучшить состояние мостового парка в целом. Обеспечение эксплуатационной надежности и долговечности мостовых переездов требует постоянного наблюдения за появлением и развитием повреждений элементов и прогнозирования последствий подобных изменений. Такая работа в существующей системе практически не ведется [2].

Выход из сложившейся ситуации авторы видят в создании системы дистанционного мониторинга длительных эксплуатируемых железобетонных малых мостовых



Рис. 1. Аварийные мостовые сооружения на региональных дорогах



Рис. 2. Схема процесса эксплуатации мостового сооружения

сооружений, позволяющей повысить эффективность процесса эксплуатации и продлить их жизненный цикл.

Следует отметить, что мониторинг строительных объектов весьма затратное мероприятие, для которого применяется специальное оборудование и программное обеспечение. Поэтому научные исследования в этой области направлены на обеспечение безопасности и получение максимальной информации о состоянии объекта при минимальных финансовых затратах [3].

Мониторинг малых железобетонных мостов ведется в редких, исключительных случаях. В то же время разрушение железобетонных мостов на дорогах в регионе может вызвать не меньший экономический ущерб для государства ввиду их многочисленности [4].

Разработанная авторами система мониторинга относится к информационным системам сбора, передачи, хранения и обработки данных и предназначена для непрерывного наблюдения за геометрическими характеристиками, а также имеющимися дефектами и повреждениями мостовых сооружений (рис. 3). Система содержит центр обработки информации на основе ЭВМ и как минимум одну систему сбора и передачи информации, содержащую контроллер и датчики, причем датчики соединены с контроллером линией связи. В центре обработки информации введено устройство широкополосного доступа к сети Интернет, соединенное с ЭВМ. В систему сбора и передачи информации введено устройство для доступа к сети Интернет по радиоканалу GSM, соединенное с контроллером. В качестве канала связи между системой сбора и передачи информации и центром обработки информации используется сеть Интернет. Контроллер производит опрос датчиков и передает собранную информацию в центр обработки

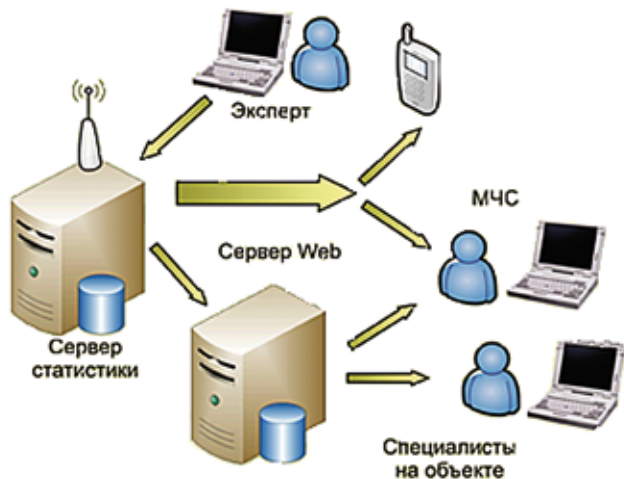


Рис. 4. Структура системы мониторинга малых железобетонных мостов

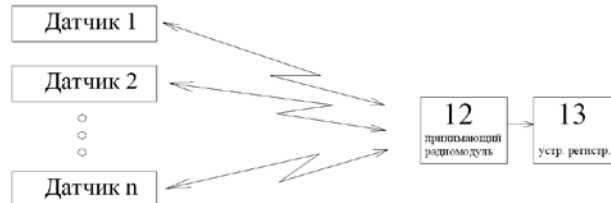


Рис. 3. Система мониторинга малых железобетонных мостов информации. ЭВМ, входящая в состав центра, накапливает и обрабатывает собранную информацию (рис. 4).

Система мониторинга состояния строительных конструкций мостовых сооружений позволяет в реальном масштабе времени проводить измерения и автоматизировать процесс передачи данных посредством беспроводной связи. В центре обработки информации данные о контролируемом объекте проходят анализ и обработку (рис. 5). Блок «Главное меню», являясь управляющим центра обработки информации, позволяет произвести переход к работе с реестром мостовых сооружений, блоком статистики и блоком мониторинга. Блок «Реестр мостовых сооружений» включает работу с архивом мостовых сооружений, блоком регистрации нового мостового сооружения, блоком редактирования информации о мостовом сооружении и блоком регистрации результатов мониторинга (рис. 6). При выборе «Регистрации нового мостового сооружения» последовательно вводятся общие данные о сооружении, место расположения, технические сведения, информация о проектной и эксплуатирующей организации, габаритные размеры моста, параметры опор, параметры всех строительных конструкций, дорожного покрытия, ограждения и тротуаров и иная конкретизирующая информация. После введения всех данных информация передается в архив, а пользователь возвращается в «Реестр мостовых сооружений».

Результаты выполненного регулярного осмотра мостовых сооружений заносятся в блок «Регистрация результатов осмотра». В данном блоке находит отражение информация о выявленных повреждениях подмостового русла, железобетонных стенок лотков, железобетонных опор, мостовых балок, дорожного покрытия, тротуара и ограждения. Блок заканчивается вводом дополнительной информации и анализом технического состояния строительных конструкций, каждой конструкции программа присваивает категорию технического состояния (рис. 7). Используя коэффициенты значимости, программа вычисляет категорию технического состояния



Рис. 5. Блок-схема анализа информации в центре обработки

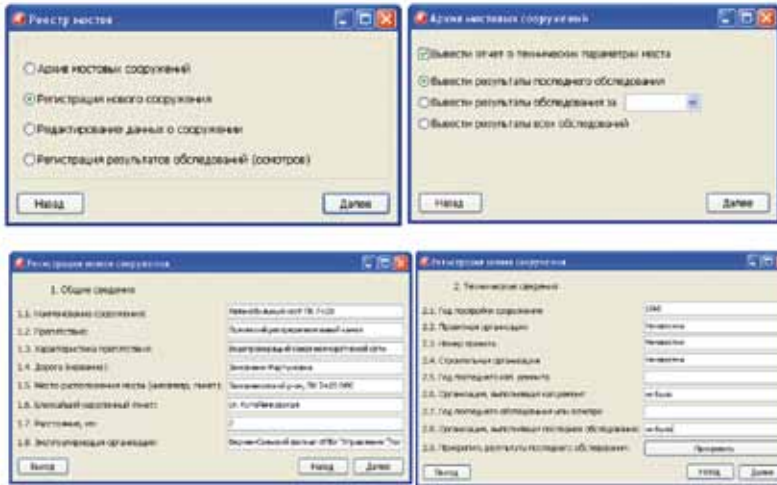


Рис. 6. Окна реестра, архива и регистрации нового моста всего сооружения и остаточный срок службы моста.

В разделе «Статистика» возможно получить данные обо всех мостах из реестра, аварийных мостах, неработоспособных, ограниченно работоспособных, требующих капитального ремонта, текущего ремонта, по самой ранней дате обследования, по самой поздней дате обследования, по наименьшему остаточному ресурсу.

Специальные формы актов осмотра мостовых сооружений, представленные в системе, содержат характерные дефекты и повреждения для каждого элемента (в системе представлено более 200 видов дефектов и повреждений). На основании введенных параметров выявленных дефектов система присваивает категорию технического состояния каждому элементу конструкции, а в заключении выводит общее техническое состояние моста и выполняет расчет остаточного ресурса сооружения.

Кроме того, система в автоматическом режиме производит напоминание о необходимости выполнения обследования мостовых сооружений при приближении срока

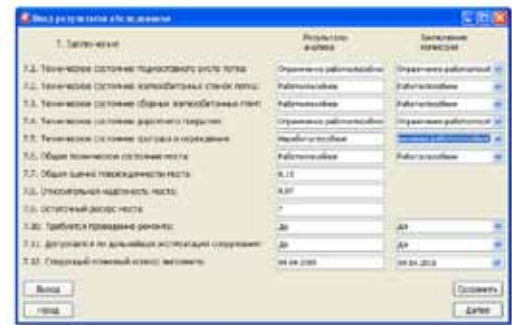


Рис. 7. Окно анализа и заключения комиссии

следующего планового осмотра сооружения. Программа может составить график проведения обследований мостов на текущий месяц, квартал, полугодие и год.

В настоящее время на данную систему мониторинга и входящих в ее состав датчиков получены два патента на изобретение, патент на полезную модель и свидетельство об отраслевой регистрации программы для ЭВМ (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014617460. Учет и систематизация характеристик железобетонных мостовых сооружений через водопроводящие каналы Ростовской области / Крахмальная М.П., Крахмальный Т.А., Евтушенко С.И. Заявл. 29.05.2014. Оpubл. 22.07.2014.; Патент на полезную модель РФ 62724. Автоматизированная система мониторинга геометрических характеристик зданий и сооружений / А.С. Евтушенко, С.И. Евтушенко, Н.В. Рудов. Заявл. 26.06.2006. Оpubл. 27.04.2007) [5, 6].

Применение данной системы, по мнению авторов, приведет к повышению безопасности и долговечности эксплуатации малых железобетонных мостовых сооружений за счет обеспечения непрерывного мониторинга и централизованного контроля их геометрических характеристик и состояния имеющихся дефектов и повреждений.

Список литературы

1. Бандурин М.А. Проблемы оценки остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений // *Инженерный вестник Дона*. 2012. № 3. С. 29–34.
2. Волосухин В.А., Крахмальный Т.А., Евтушенко С.И., Крахмальная М.П. Дефекты и повреждения строительных конструкций мостов на мелиоративных каналах Ростовской области. Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова. 2013. 126 с.
3. Маилан Л.Р., Скибин Г.М., Шутова М.Н. Остаточный ресурс типовых объектов горнорудной и угольной промышленности и методы его определения. Ростов н/Д: Ростовский государственный строительный университет. 2010. 150 с.
4. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Особенности применения моделирования аварийных мостовых переходов через водопроводящие каналы при проведении эксплуатационного мониторинга // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки*. 2012. № 5. С. 82–86.
5. Патент РФ 2448225. Система мониторинга состояния трещин и стыков зданий и сооружений / Крахмальная М.П., Крахмальный Т.А., Евтушенко С.И. Заявл. 01.10.2010. Оpubл. 20.04.2012. Бюл. № 4.
6. Патент РФ 2344369. Датчик угла наклона одноплоскостной / М.В. Зотов, С.Г. Тищенко, С.И. Евтушенко, Н.В. Рудов. Заявл. 09.10.2006. Оpubл. 20.01.2009.

References

1. Bandurin M.A. Problems of residual life assessment is long maintained water spending constructions. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2012. No. 3, pp. 29-34. (In Russian).
2. Volosukhin V.A., Krakhmal'nyi T.A., Evtushenko S.I., Krakhmal'naya M.P. Defekty i povrezhdeniya stroitel'nykh konstrukttsii mostov na meliorativnykh kanalakh Rostovskoi oblasti [Defects and damage to the building of bridges in the drainage canals of the Rostov region]. Novocherkassk: Yuzhno-Rossiiskii gosudarstvennyi politekhnicheskii universitet imeni M.I. Platova. 2013. 126 p.
3. Mailan L.R., Skibin G.M., Shutova M.N. Ostatochnyi resurs tipovykh ob"ektov gornorudnoi i ugol'noi promyshlennosti i metody ego opredeleniya [Residual resource objects typical mining and coal industry and methods of its determination]. Rostov-na-Donu: Rostovskii gosudarstvennyi stroitel'nyi universitet. 2010. 150 p.
4. Volosukhin V.A., Bandurin M.A. Features of the application of simulation of emergency bridge crossings through carrying water during operational monitoring. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*. 2012. No. 5, pp. 82-86. (In Russian).
5. Patent RF 2448225. Sistema monitoringa sostoyaniya treshchin i stykov zdaniy i sooruzhenii [The system of monitoring the state of cracks and joints of buildings and structures]. Krakhmal'naya M.P., Krakhmal'nyi T.A., Evtushenko S.I. Declared 01.10.2010. Published 20.04.2012. Bulletin No. 4. (In Russian).
6. Patent RF 2344369. Datchik ugla naklona odnoploskostnoi [Inclination sensor coplanar]. Zotov M.V., Tishchenko S.G., Evtushenko S.I., Rudov N.V. Declared 09.10.2006. Published 20.01.2009. (In Russian).

УДК 628. 517.2

В.П. ГУСЕВ, д-р техн. наук (gusev-43@mail.ru), А.В. СИДОРИНА, инженер

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

Акустические характеристики покрытий на воздуховоды и технологические трубы

Дана характеристика воздуховодов систем вентиляции, кондиционирования воздуха и технологических трубопроводов систем холодоснабжения как источников повышенного шума, излучаемого ими в окружающее пространство. Для защиты от него используются различные звукоизолирующие покрытия, эффективность которых зависит от многих параметров. Рассматриваются физико-математическая модель их типовых конструкций и новые экспериментальные данные, касающиеся влияния положительной и отрицательной температуры на эффективность комбинированных покрытий из эластомерных материалов.

Ключевые слова: вентиляция, холодоснабжение, защита от шума, воздуховоды, технологические трубы.

V.P. GUSEV, Doctor of Sciences (Engineering)(gusev-43@mail.ru), A.V. SIDORINA, engineer
Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Acoustic Characteristics of Coatings for Ducts and Process Pipes

The characteristic of the duct of the air supply systems, air conditioning and process piping of refrigeration systems as sources of increased noise radiated into the surrounding space are represented. For protection it uses different zvukoizoliruyuschie coating, the effectiveness of which depends on many parameters. Discusses the physical and mathematical model of their standard designs and new experimental data concerning the influence of positive and negative temperature on the efficiency of combined coatings of elastomeric materials.

Keywords: ventilation, cooling systems, noise protection, ducts, process pipe

Современные общественные и жилые здания невозможно представить без систем вентиляции (СВ) и кондиционирования воздуха (СКВ), использующих системы холодоснабжения (СХ). Они применяются для создания нормативного микроклимата в помещениях, т. е. участвуют в жизнеобеспечении человека, вместе с тем при работе негативно воздействуют на среду его обитания и здоровье — излучают повышенный шум [1].

К основным источникам повышенного шума СВ и СКВ относятся воздуховоды с их фасонными элементами, а СХ — технологические трубопроводы. Шум каждого из них имеет несколько составляющих, обусловленных разными причинами. Во-первых, это аэродинамический шум, генерируемый вентиляторами, дросселирующими устройствами, насосами, компрессорами холодильных машин и др., распространяющийся внутри воздуховодов и труб и проникающий через их стенки в окружающее пространство. Во-вторых, вибрация, распространяющаяся, как и аэродинамический шум, от названных источников, а также вибрация, возникающая в результате турбулентности потоков внутри сетей трубопроводов. Пульсации давления потоков среды возбуждают вибрацию поверхностей труб, излучающих звуковые волны в окружающее пространство. Интенсивность и частотный спектр такого шума зависят от параметров потока среды, поперечных размеров, толщины стенок, конструкции трубопровода и др. [2–4].

Многолетняя практика борьбы с шумом, включающая предшествующее акустическое обследование объектов разного назначения, показала, что снижение шума воздуховодов СВ, СКВ и трубопроводов СХ — весьма актуальная научно-техническая задача, обусловленная объективными предпосылками.

Во-первых, уровни шума транзитных воздуховодов в помещениях, через которые они проходят, нередко превышают нормативные значения на 15–20 дБ, в за-

висимости от назначения помещений. Превышение уровней шума трубопроводов, и в первую очередь, трасс холодоснабжения в зданиях и на территориях застройки, часто достигает 20–25 дБ. Эксплуатация такого оборудования, как в подобных, так и в других, более благоприятных случаях невозможна без осуществления строительно-акустических мероприятий.

Во-вторых, названные источники шума и средства его снижения недостаточно исследованы не только в нашей стране, но и за рубежом. По количественным и качественным характеристикам шума воздуховодов и трубопроводов существуют единичные материалы, а по средствам снижения шума имеется ряд работ, но с весьма ограниченной информацией. Оптимальными признаны пассивные методы, реализуемые путем установки звукоизолирующих покрытий (кожухов).

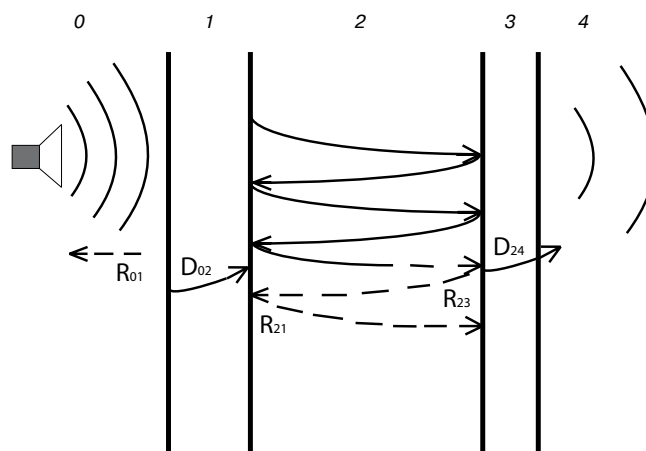


Рис. 1. Схема системы «труба с покрытием» и физический механизм прохождения через нее звуковой энергии: 1 — стенка трубопровода; 2 — звукопоглощающий материал (ЗПМ); 3 — плотность трубы; 4 — окружающее пространство

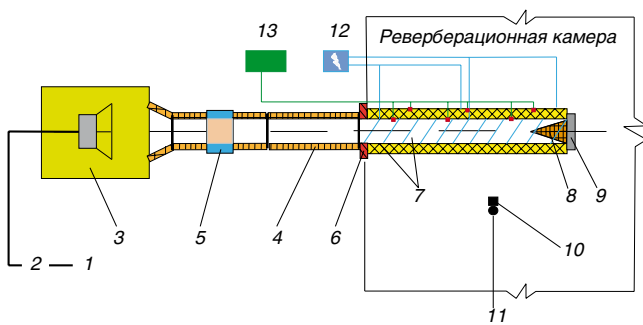


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – генератор «белого» шума; 2 – усилитель мощности; 3 – источник звука; 4 – соединительный воздуховод со звукоизолирующим покрытием; 5 – гибкая вставка, уменьшающая передачу вибрации; 6 – упругий сальник; 7 – испытательная труба (с испытываемым покрытием и без него); 8 – звукопоглощающий клин; 9 – звукоизолирующая заглушка; 10 – микрофон; 11 – шумомер-анализатор спектра «Октава 110А»; 12 – трансформатор; 13 – термометр и термопары

В последние годы в институте выполнен большой объем исследований в данной области. Получены обширные экспериментальные данные, касающиеся эффективности однослойных, многослойных звукоизолирующих покрытий с использованием различных волокнистых, эластомерных материалов и пеностекла [5–7]. Они пригодны для акустического проектирования оптимальной с точки зрения акустики и экономики защиты от шума воздуховодов систем вентиляции и холодоснабжения в помещениях зданий различного назначения.

Теоретические основы звукоизолирующих (виброизолирующих) покрытий на излучающие звук поверхности, в том числе на трубы, заложены в 70–80-х гг. годах прошлого века известными учеными Б.Д. Тартаковским, И.И. Боголеповым, Степановым В.Б. Практическое применение они нашли при разработке средств снижения шума на компрессорных станциях магистральных газопроводов [8].

Физическую модель обобщенной системы «труба с покрытием» на основе представления указанных авторов иллюстрирует рис. 1. Модель реализована в широко используемых в вентиляции гибких воздуховодах, а также при звукоизоляции газопроводов ТЭЦ посредством кожухов из волокнистого звукопоглощающего материала и металлического листа.

Как видно, это многослойная конструкция, включающая полость трубы, ее стенку, полость между трубой и металлическим кожухом-оболочкой, сам кожух и окружающее пространство. Звуковая энергия, распро-

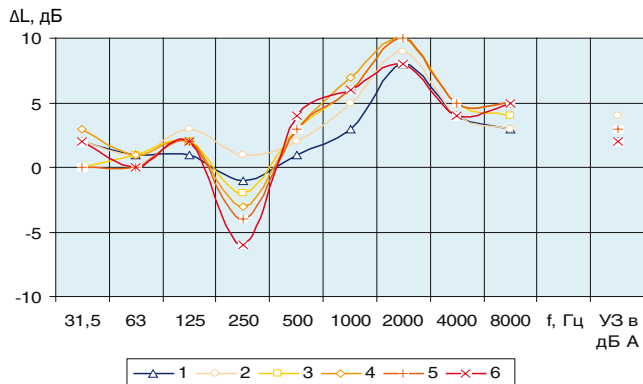


Рис. 4. Изменение звукоизолирующей способности трубы с покрытием при изменении температуры материалов: 1 – 27/22°C; 2 – 40/24°C; 3 – 72/27°C; 4 – 98/32°C; 5 – 100/40°C; 6 – 121/60°C

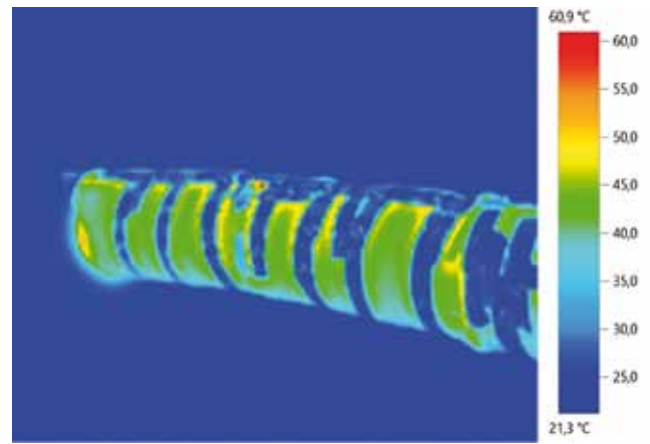


Рис. 3. Тепловизионная съемка на этапе нагрева

страняющаяся внутри трубы (в полости θ , проникает через её тонкую стенку 1 в область 2 , которая может быть заполнена звукопоглощающим материалом (ЗПМ), где она многократно отражаясь, частично затухает. Другая ее часть проникает через тонкую стенку кожуха 3 в окружающее пространство 4 .

Величина собственной звукоизоляции стенки трубы ($R_{тр}$) и эффективность применения звукоизолирующего покрытия ($\Delta L_{п}$) может быть определена по формулам [8]:

$$R_{тр} = 10 \lg D_{04} e^{-2\pi\eta_1};$$

$$\Delta L_{п} = 10 \lg D_{02} D_{24} e^{-\gamma_2 h^2} e^{-2\pi(\eta_1' + \eta_3) / D_{04}(1-R_{21} R_{23} e^{-2\gamma_2 h})} e^{-2\pi\eta_1};$$

где D и R – локальные коэффициенты прохождения звуковой энергии через стенки 1 и 3 и отражения на их границах; h – толщина слоя; η' , γ – коэффициенты потерь в стенке трубопровода и защитного кожуха при наличии на них вибропоглощающего покрытия; η – коэффициент потерь в стенке трубопровода без покрытия.

Как видно, звукоизолирующие свойства конструкции в целом зависят от суммарного снижения уровня шума в каждом элементе конструкции, точнее от суммарного коэффициента потерь, который определяется в основном коэффициентом потерь материала, размещенного в области 2 , как правило, ЗПМ. Сам коэффициент потерь, в свою очередь, определяется состоянием или свойствами упомянутого материала, которые зависят от его нагрева или охлаждения. Это явилось предпосылкой для постановки задачи очередных экспериментальных исследований.

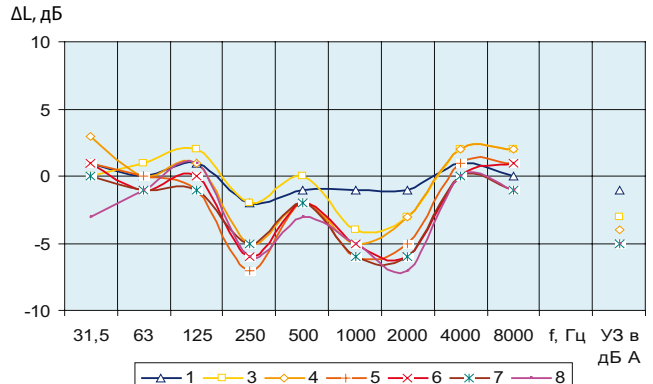


Рис. 5. Изменение звукоизолирующей способности трубы с покрытием при изменении температуры материалов: 1 – 31/30°C; 2 – 43/38°C; 3 – 58/38°C; 4 – 75/45°C; 5 – 99/57°C; 6 – 100/81°C; 7 – 113/90°C; 8 – 116/100°C

Влияние температуры материала на звукоизолирующие качества покрытия определялось, как в предыдущих случаях, по результатам измерений на аэроакустическом стенде института. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

Испытывалось покрытие на трубу диаметром 160 мм из эластомерного материала K-FONIK ST GK 072 производства ООО «К-ФЛЕКС». Это двухслойный материал, состоящий из высокоплотного эластомерного слоя GK толщиной 2 мм и плотностью 1470 кг/м³ и теплоизоляционного вспененного слоя ST толщиной 10 мм и плотностью 45 кг/м³.

Перед установкой покрытия на трубу витками на носился греющий электрический кабель во фторопластовой оболочке с шагом в 10 см, обеспечивающий плавный разогрев материала покрытия путем изменения напряжения в цепи. Температура измерялась термопарами хромель-алюмель на трех участках с шагом 1,4 м.

Для чистоты эксперимента предварительно оценивалось влияние температуры на звукоизолирующую способность испытательной трубы. Было установлено, что при изменении температуры от 25 до 50°C уровень излучаемого трубой шума не изменяется, т. е. звукоизолирующая способность ее стенки не зависит от температуры в указанных пределах.

Для обеспечения максимального нагрева и ограничения теплового потока в окружающую среду указанное звукоизолирующее покрытие непосредственно на трубу устанавливалось высокоплотным GK, а теплоизолирующим вспененным слоем ST вверх (наружу).

Начальная температура покрытия составляла 21,6°C. При нагревании слоя GK она достигала 121°C, а наружного вспененного слоя ST - 60°C. Равномерность прогрева контролировалась с помощью тепловизора. На рис. 3 в качестве примера показано одно из промежуточных состояний покрытия, закрепленного с помощью опоясывающей фольгированной самоклеющейся монтажной ленты (при температуре около 45°C).

Результаты измерения звукоизолирующих свойств покрытия при повышении температуры материалов до указанных пределов, представлены на рис. 4 (первой приведена температура слоя GK, второй слоя ST).

Как видно на рис. 4, при установке покрытия непосредственно на трубу и повышении температуры наблюдается разнонаправленное изменение звукоизоляции покрытия. На низких частотах, например в октавной полосе со среднегеометрической частотой 250 Гц снижение звукоизоляции составляет 5 дБ, а на высоких частотах её повышение достигает 10 дБ.

На третьем этапе покрытие укладывалось на отnose от поверхности трубы, на опоясывающих элементах высотой 10 мм и шириной 32 мм, расположенных с шагом 40 мм. Нагрев слоя GK достигал 116°C, наружный вспененный слой ST при этом прогревался до 100°C.

Результаты измерения звукоизолирующей способности покрытия, установленного на отnose от испытательной трубы, при повышении температуры материалов до указанных пределов представлены на рис. 5.

Видно, что при размещении звукоизолирующего покрытия на отnose и повышении температуры нагрева материалов эффект установки снизился, в основном на 5 дБ.

Изменение звукоизолирующей способности покрытий из эластомерных материалов при изменении отрицательной температуры подробно описано в работе [6]. Результаты испытаний одного из многослойных (ком-

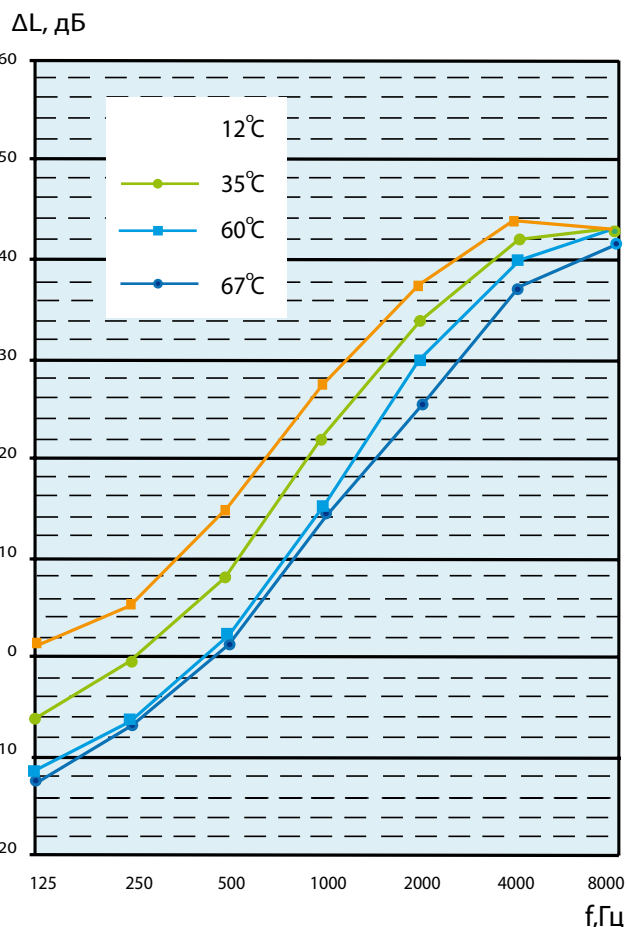


Рис. 6. Эффективность многослойного покрытия на трубу диаметром 200 мм при понижении температуры

бинированных) покрытий из материалов на основе модифицированного синтетического каучука демонстрирует рис. 6. Покрытие включает: «K-Flex ST» (25 мм), 2 слоя «K-FONIK240» (25+25мм), 3 слоя «K-FONIK GK» (2+2+2 мм), «K-Flex ST» (25 мм), «K-FONIK GK» (2 мм), 2 слоя покрытия «K-Flex INCLAD». Температура комбинированного слоя понижалась с +12°C до -60°C.

Как видно на рис. 6, звукоизолирующие свойства комбинированного покрытия на трубу диаметром 200 мм с увеличением частоты снижаются в широком диапазоне частот.

В заключение уместно подчеркнуть, что изменение акустической эффективности эластомерного покрытия при изменении температуры – весьма сложный процесс, зависящий от разных деформационных изменений и состояний эластомера, определяемых температурой. При нагревании релаксационные изменения резко возрастают и суммарная деформация зависит как от упругих, так и релаксационных свойств. В процессе охлаждения деформации сокращаются или вовсе отсутствуют. В этом случае релаксационные изменения определяются только упругостью.

Акустические характеристики покрытий на основе эластомеров зависят от скорости распространения в них продольных звуковых волн, которые в свою очередь определяются упругими свойствами материалов: плотностью, вязкостью, пластичностью, структурной неоднородностью. Звуковая энергия при распространении звуковых волн в изолирующих слоях покрытия расходуется на механические потери.



Список литературы

1. Гусев В.П., Леденев В.И., Лешко М.Ю. Расчет и проектирование шумоглушения систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления // *Справочное пособие под редакцией И.Л. Шубина*. М. НИИСФ РААСН, 2013. 80 с.
2. Гусев В.П. Из опыта борьбы с шумом оборудования инженерных систем // *АВОК*. 2012. № 2. С. 38–42; № 3. С. 38–43.
3. Гусев В.П., Леденев В.И. Оценка шумового воздействия на окружающую среду вентиляционного оборудования, установленного на открытых площадках // *АВОК*. 2014. № 3. С. 70–74.
4. Гусев В.П. Оценка звуковой мощности оборудования в вентиляционных камерах // *АВОК*. 2009. № 3. С. 32–39.
5. Гусев В.П., Сидорина А.В. Расчет и проектирование защиты от шума транзитных воздуховодов систем ОВК // *АВОК*. 2013. № 2. С. 94–100.
6. Гусев В.П., Сидорина А.В. Изоляция шума воздуховодов систем вентиляции покрытиями с использованием эластомерных и волокнистых материалов // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 37–39.
7. Гусев В.П., Лешко М.Ю., Сидорина А.В. Защита от воздушного шума элементов систем вентиляции и кондиционирования воздуха // *Труды конференции – IV академических чтений «Актуальные вопросы строительной физики: энергосбережение, надежность, экологическая безопасность», посвященных памяти Г.Л. Осипова* (г. Москва, МГСУ, 3–5 июля, 2012г.).
8. Терехов А.Л. Исследование и снижение шума на компрессорных станциях магистральных газопроводов. М.: ИРЦ Газпром. 2002. 305 с.

References

1. Gusev V.P., Ledenev V.I. M.J. Leshko Calculation and design of sound air seply ,conditioning and air heating systems. *Reference book edited by I. L. Shubin*. M: NIISF RAASN, 2013, 80 p.
2. Gusev, V.P. From the experience of noise control engineering systems equipment. *AVOK*, 2012. No. 2, pp. 38–42, No. 3, pp. 38–43. (In Russian).
3. Gusev, V.P., Ledenyov V. I. Assessment of noise impact on the environment ventilation equipment installed in outdoor areas. *AVOK*. 2014. No. 3, pp. 70–74. (In Russian).
4. Gusev V.P. Evaluation of the sound power of equipment in plenums. *AVOK*. 2009. No. 3, pp. 32–39. (In Russian).
5. Gusev, V.P., Sidorina A.V. The Calculation and design of noise protection transit air ducts of HVAC systems. *AVOK*. 2013. No. 2, pp. 94–100. (In Russian).
6. Gusev, V.P., Sidorin A.V. Noise Insulation of air ducts of ventilation systems coatings using elastomeric and fibrous materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2013. No. 6, pp. 37–39.
7. Gusev, V.P., Leshko M.J., Sidorina A.V. Protection from aircraft noise elements of ventilation systems and air conditioning. *Proceedings of the conference - IV academic readings "Topical issues of building physics: energy saving, reliability, environmental safety" dedicated to the memory of G.L. Osipov*. Moscow, MGSU, July 3–5 2012.
8. Terekhov, A.L., Study and reduction of noise at compressor stations of main gas pipelines. M. "IRC Gazprom". 2002 305 p.

НОВОСТИ

Новый ГОСТ на силикатные изделия вводится в действие

В соответствии с приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) №246-СТ от 9.04.2015 г. «О введении в действие межгосударственного стандарта» с 1 октября 2015 г. вводится в действие ГОСТ 379–2015 «Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия» взамен ГОСТ 379–95. На этом завершился один из первых, но очень значимых этапов кропотливой и упорной работы НП «Ассоциация производителей силикатных изделий» (АПСИ) по разработке новых нормативных документов для производства и применения силикатных изделий.

ГОСТ 379–95 «Кирпич и камни силикатные» уже давно не отражал изменений, произошедших в силикатной отрасли. За рамками его компетенции оставался широкий спектр материалов, которые выпускались многими предприятиями по ТУ.

19 мая в Нижнем Новгороде состоялась презентация нового ГОСТа, для участия в которой собрались представители заводов силикатного кирпича из различных регионов России – Нижегородской, Тюменской, Свердловской, Пензенской областей, Краснодарского края, Твери и др. По сути, подчеркнул председатель правления НП АПСИ Н.В. Сомов, это новый документ,

соответствующий текущему уровню технологии производства силикатных изделий. Новый ГОСТ учитывает существующую тенденцию к расширению номенклатурного ряда изделий, их типоразмеров, прочностных характеристик и долговечности. В стандарте отражены основные требования к кладочным материалам актуализированных редакций СП 15.13330.2012 СНиП II-22–81 «Каменные и армокаменные конструкции», СП 70.13330 2012 СНиП 3.01–85 «Несущие и ограждающие конструкции. Правила производства работ». Участники технической группы АПСИ по разработке нового стандарта – канд. техн. наук М.В. Корнев (ООО «Силикатстрой», Нижегородская обл.) и канд. техн. наук И.Г. Иванов (ОАО «Павловский завод», Ленинградская обл.) подробно прокомментировали все изменения, внесенные в обновленную версию, и ответили на вопросы.



УДК 534.2

А.И. АНТОНОВ¹, канд. техн. наук, В.И. ЛЕДЕНЕВ¹, д-р техн. наук, Е.О. СОЛОМАТИН¹, инженер (blacwit@inbox.ru), И.Л. ШУБИН², д-р техн. наук (niisf@niisf.ru)

¹Тамбовский государственный технический университет (392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106)

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

Расчет шума при проектировании звукоизолирующих кожухов технологического оборудования

Рассмотрены принципы расчета прямого звука от звукоизолирующих кожухов технологического оборудования гражданских и промышленных зданий. Показаны особенности звукоизолирующих кожухов как вторичных объемных источников шума, влияющие на распространение от них излучаемой звуковой энергии. Предложена методика расчета прямого звука от звукоизолирующих кожухов, более точно учитывающая особенности излучения звуковой энергии кожухом. Кожухи в методике рассматриваются как крупногабаритные источники с неравномерным излучением звука с их поверхностей.

Ключевые слова: звукоизолирующий кожух, шум, расчет шума, уровень прямого звука.

A.I. ANTONOV¹, Candidate of Sciences (Engineering), V.I. LEDENEV¹, Doctor of Sciences (Engineering), E.O. SOLOMATIN¹, engineer (blacwit@inbox.ru), I.L. SHUBIN², Doctor of Sciences (Engineering) (niisf@niisf.ru)

¹Tambov State Technical University (109 Sovetskaja Street, Tambov, 392000, Russian Federation)

²Scientific and Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivny Passage, 127238, Moscow, Russian Federation)

The Calculation of Noise When Designing Soundproofed Compartment Technological Equipment

The principles of calculating the direct sound from the soundproofed compartment technological equipment civil and industrial buildings. Shows the features soundproofed compartment as the secondary volume of noise sources affecting the spread of the sound energy emitted by them. The method of calculation of the direct sound from the soundproofed compartment, more accurately takes into account features of the radiation of sound energy housing. The housings in the method are regarded as sources with large uneven their sound radiation surfaces.

Keywords: soundproofed compartment, the noise, the calculation of the noise, level of the direct sound

На промышленных предприятиях, а в последнее время и в гражданских зданиях имеется большое количество шумного технологического и другого оборудования, требующего с целью ограничения распространения от него шума устройства звукоизолирующих кожухов. В гражданских зданиях к ним, в частности, относятся узлы и агрегаты систем ОВК (отопления, вентиляции и кондиционирования), вентиляционные и холодильные установки и т. д. [1, 2].

Звукоизолирующие кожухи являются наиболее эффективными средствами защиты от шума технологического оборудования. Снижение шума происходит за счет ограждения источника шума конструкциями с высокой звукоизоляцией, образующими замкнутый объем. При этом часть звуковой энергии проникает через звукоизолирующие ограждения кожуха, различные неплотности, воздухопроводы и т. п. и излучается в окружающее его воздушное пространство. Таким образом кожух сам становится источником шума.

Исходя из необходимости ограничения габаритов кожуха, его ограждающие конструкции должны иметь малую толщину и при этом обладать высокой звукоизолирующей способностью. К таким конструкциям, например, относятся легкие слоистые светопрозрачные и непрозрачные конструкции [3–5]. Выбор и проектирование кожухов должны основываться на надежных методах оценки распространения шума от кожухов как от вторичных источников шума [6, 7]. В статье приведена методика расчета уровней прямого звука, излучаемого кожухом, учитывающая его особенности, влияющие на распространение звуковой энергии в окружающей среде.

Как источник шума кожух имеет ряд особенностей. Размеры кожуха больше размеров защищаемого оборудования, поэтому его часто следует рассматривать как крупногабаритный источник шума. Геометрическая форма кожуха проще формы оборудования и, как правило, представляет параллелепипеды или их комбинацию.

Кожух частично сглаживает пространственную неоднородность излучения шума оборудованием. Фактор направленности излучения звука кожухом более предсказуем по сравнению с реальными источниками шума.

Методика расчета уровней звукового давления в ближнем поле крупногабаритных источников шума в настоящее время разработана недостаточно. Отсутствие подробных исследований объясняется сложностью описания энергетических параметров реальных источников шума (частотная, пространственная и временная нестабильность) и, как следствие, использованием в расчетах упрощенных представлений. Например, фактор направленности в большинстве случаев не учитывается, и источники шума рассчитывают как ненаправленные [8].

Элементы ограждения кожуха как источники шума в окружающее пространство.

Небольшой, часто соразмерный внутренний объем кожуха предполагает образование в нем диффузного звукового поля. В этом случае интенсивность падающей изнутри на элементы кожуха звуковой энергии равна:

$$J = \frac{P}{S_k} + \frac{P(1-\alpha)}{\alpha S}, \quad (1)$$

где P – акустическая мощность оборудования, размещаемого в кожухе; S_k – площадь ограждающих конструкций кожуха; S , α – общая площадь и средний коэффициент звукопоглощения внутренних поверхностей кожуха, включая поверхности источника шума (оборудования) и пола.

Кожухи имеют ограждающие элементы с различной звукоизоляцией R_i (двери, окна для наблюдения за процессами, отверстия и т. п.) и соответственно акустическая мощность каждого отдельного i -го элемента кожуха площадью S_i и составляет:

$$P_i = JS_i \cdot 10^{-0,1R_i}. \quad (2)$$

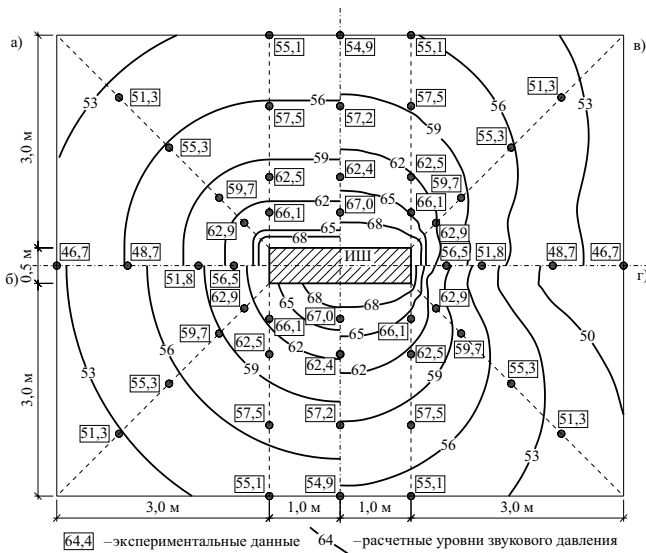


Рис. 1. Результаты эксперимента и расчета уровней прямого звука: а) методом эквивалентных поверхностей; б) методом точечного источника; в) методом интегрирования по поверхности с учетом дифракции; г) методом интегрирования по поверхности без учета дифракции

Расчет уровней прямого звука от кожуха.

В настоящее время расчет прямого звука от кожухов выполняют по упрощенной методике, используя среднее значение звукоизоляции ограждений кожуха:

$$R_{kcp} = 10 \lg \left(\frac{\sum S_i}{\sum S_i 10^{-0.1R_i}} \right) \quad (3)$$

Уровень акустической мощности кожуха в этом случае составляет:

$$L_{pk} = L_p - R_{kcp} + 10 \lg \left(1 + \frac{S_k(1-\alpha)}{\alpha S} \right) \quad (4)$$

где L_p – уровень акустической мощности оборудования, размещенного внутри кожуха.

Дальнейший расчет шума от кожуха осуществляется как от обычного объемного источника с равномерным излучением звуковой энергии методом эквивалентных поверхностей [8]. Значения энергии в ближнем звуковом поле предполагаются одинаковыми на геометрических поверхностях, повторяющих форму кожуха как ненаправленного источника шума. Уровни звукового давления при этом определяются по формуле:

$$L_{np} = L_{pk} + 10 \lg(1/S_n) \quad (5)$$

где S_n – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, проходящей через точку наблюдения на расстоянии r от источника и упрощенно повторяющей его форму. Например, для источника в виде прямоугольного параллелепипеда со сторонами l , b и h эта поверхность S_n будет иметь вид параллелепипеда со скругленными углами и ребрами [8]:

$$S_n = lb + 2(l+b)h + \pi r(l+b+2h) + 2\pi r^2 \quad (6)$$

С увеличением степени несоразмерности кожухов точность расчетов прямого звука на основе выражений (5) и (6) снижается. Метод практически неприменим для кожухов сложной формы, для которых невозможно построить поверхности равных уровней в виде простых геометрических форм. Следует отметить, что в формуле (5) не учитывается характерная для кожухов неоднородность излучения звуковой энергии с его поверхностей.

Простая форма, стабильность и предсказуемость факторов излучения шума элементами ограждения кожуха позволяют применить более точные методы расчета уровней прямого звука его ближнего поля.

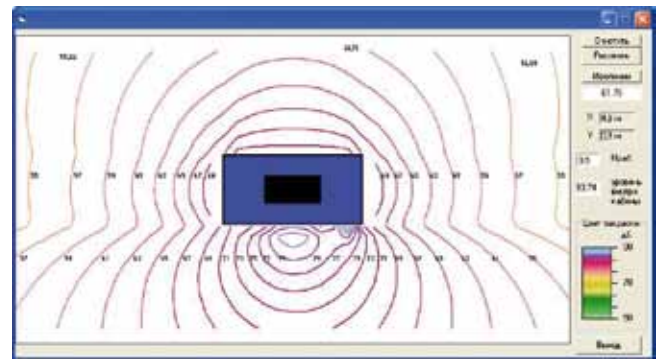


Рис. 2. Рассчитанные уровни прямого звука в ближнем поле кожуха при наличии участка ограждения с низкой звукоизоляцией и открытого проема

Расчет прямого звука от кожуха возможен на основе интегрального выражения, описывающего величину плотности звуковой энергии прямого звука в расчетной точке от объемного источника как результат суммирования вкладов от каждого участка dS поверхности кожуха:

$$\epsilon_{np} = \int_{S_k} \frac{10^{-0.1R} J \Phi dS}{2\pi r^2 c} \quad (7)$$

где r – расстояние от элемента участка источника до расчетной точки; 2π – пространственный угол излучения. При излучении энергии элементом поверхности по закону Ламберта фактор направленности следует принять $\Phi = 2 \cos \theta$, где θ – угол между r и нормалью к элементу dS , c – скорость звука в воздухе.

С учетом выражения $dS = \frac{r^2 \sin \varphi d\varphi d\theta}{\cos \theta}$, представляя

поверхность кожуха из набора N элементов с соответствующей излучающей способностью, можно записать:

$$\epsilon_{np} = \sum_{i=1}^N \frac{10^{-0.1R_i} J_i \Theta_i}{\pi c} \quad (8)$$

и определять уровни прямого звука как:

$$L'_{np} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^N \frac{10^{-0.1R_i} J_i \Theta_i}{\pi c} / J_0 \right) \quad (9)$$

где $J_0 = 10^{-12}$ Вт/м² – интенсивность на пороге слышимости; Θ_i – телесный угол, стягивающий поверхность S_i кожуха. В сферических координатах θ (фи), Θ определяется как:

$$\Theta_i = \int_{S_i} \sin \varphi d\varphi d\theta \quad (10)$$

Величину телесного угла элемента излучающей шум поверхности ограждения удобно вычислить через трехгранные углы по теореме Люилье через его плоские углы $\gamma_a, \gamma_b, \gamma_c$ при вершине:

$$\Theta_i = 4 \arctg \left(\sqrt{tg \frac{\gamma_s}{2} tg \frac{\gamma_s - \gamma_a}{2} tg \frac{\gamma_s - \gamma_b}{2} tg \frac{\gamma_s - \gamma_c}{2}} \right) \quad (11)$$

где $\gamma_s = 0.5(\gamma_a + \gamma_b + \gamma_c)$ – полупериметр.

Для повышения точности расчета прямого звука от кожухов оборудования, размещаемого на открытом пространстве, предлагается учитывать дифракционные процессы, благодаря которым звук от излучающих поверхностей кожуха попадает в зоны акустической тени и постепенно приводит к точечной модели расчета прямого звука.

На рис. 1 показаны результаты сравнения экспериментальных данных с различными методами расчета

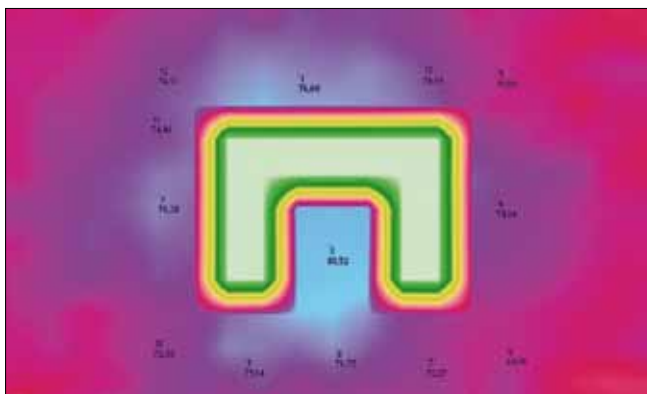


Рис. 3. Поле прямого звука кожуха в форме каре

прямого звука кожуха в форме прямоугольного параллелепипеда. Видно, что использование интегрального уравнения с учетом дифракции звука обеспечивает наиболее высокую точность расчета.

На рис. 2 показаны результаты расчета уровней прямого звука кожуха с размерами $4 \times 2 \times 2$ м и со звукоизоляцией основных элементов ограждений $R=20$ дБ. На одной грани кожуха имеется элемент с более низкой звукоизоляцией, равной $R=5$ дБ, и открытое технологическое отверстие с размером $0,2 \times 0,2$ м. Видно, что против этого элемента на расстоянии 1 м от кожуха уровень шума на 20 дБ выше, чем в других точках помещения на таком же расстоянии от кожуха. Очевидно, что метод эквивалентных поверхностей из-за значительных погрешностей расчета в подобной ситуации использоваться не может.

Уровни прямого звука от кожуха сложной формы можно рассчитывать как и уровни прямого звука от кожуха простой формы по тем же зависимостям, используя выражения (7) и (9). При этом интеграл (7) рекомендуется вычислять численными методами. Однако программирование такой задачи представляется достаточно сложным процессом. Шум от кожухов сложной формы

удобнее рассчитывать методом прослеживания лучей, используя следующий подход.

Источник шума, находящийся в кожке, излучает в изолированное внутреннее пространство кожуха совокупность большого числа звуковых лучей, которые отражаются от внутренних поверхностей ограждений, теряют энергию пропорционально коэффициентам звукопоглощения внутренних поверхностей кожуха и оборудования. С вероятностью обратно пропорциональной звукоизолирующим свойствам элементов ограждений лучи покидают внутреннее пространство кожуха и образуют вокруг него поле прямого звука. На рис. 3 показана шумовая карта ближнего поля кожуха П-образной в плане формы. Видно, что в полузамкнутом пространстве вблизи кожуха (т. 3 на рис. 3) уровень прямого звука на 4–5 дБ выше, чем в других точках на таком же расстоянии от кожуха.

Предложенные методы расчета позволяют более точно рассчитывать уровни прямого звука от звукоизолирующих кожухов практически любых форм. Это особенно актуально для источников, располагаемых на открытом пространстве. Внутри помещений прямой звук от кожухов может перекрываться отраженным звуком, в том числе и от незащищенных источников шума; в результате использование трудоемких точных методов расчета прямого шума не всегда оправданно. Это прежде всего относится к учету дифракции. При незначительном различии в звукоизолирующих свойствах ограждений и соразмерной форме источника шума для расчета звука ближнего поля можно использовать метод эквивалентных поверхностей. В остальных случаях следует выполнять расчет прямого звука на основе представленных в статье интегрального метода и метода прослеживания лучей. Для решения задач данными методами в настоящее время нами разработаны компьютерные программы, позволяющие производить расчеты шума и проектировать звукоизолирующие кожухи разной формы и различной звукоизолирующей способности ограждений.

Список литературы

1. Гусев В.П., Сидорина А.В. Защита от шума систем водоотведения жилых и общественных зданий // *Жилищное строительство*. 2014. № 11. С. 12–15.
2. Гусев В.П. Из опыта борьбы с шумом оборудования инженерных систем // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2012. № 2. С. 38–45.
3. Кочкин А.А. Звукоизоляция слоистых вибродемпфированных элементов светопрозрачных ограждающих конструкций // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 40.
4. Кочкин А.А. Проектирование звукоизоляции слоистых вибродемпфированных панелей на основе гипсоволокнистых листов // *Вестник МГСУ*. 2011. № 1–3. С. 93–96.
5. Гребнев П.А., Монич Д.В. Исследование звукоизолирующих свойств многослойных ограждений с жестким наполнителем // *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 50–51.
6. Гусев В.П. Повышение точности акустических расчетов инженерных систем – прямой путь к оптимизации их шумоглушения. Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сб. докладов III Всерос. научно-практической конференции с международным участием. СПб. 2014. С. 692–698.
7. Гусев В.П., Матвеева И.В., Соломатин Е.О. Компьютерное моделирование распространения шума от различных источников в городской застройке // *Жилищное строительство*. 2014. № 8. С. 25–28.
8. Осипов Г.Л., Юдин Е.Я. Снижение шума в зданиях и жилых районах. М.: Стройиздат, 1987. 558 с.

References

1. Gusev V.P., Sidorina A.V. Protection against noise sewage systems in residential and public buildings. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 11, pp. 12–15. (In Russian).
2. Gusev V.P. From the experience of noise control equipment engineering systems. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2012. No. 2, pp. 38–45. (In Russian).
3. Kochkin A.A. Soundproofing of vibrodampening elements layered translucent walling. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 6, pp. 40. (In Russian).
4. Kochkin A.A. Designing acoustic laminated vibrodampening panels based on gypsum sheets. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3–1, pp. 93–96. (In Russian).
5. Grebnev P.A., Monich D.V. Investigation of properties of multilayer soundproof enclosures with rigid filler. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 6, pp. 50–51. (In Russian).
6. Gusev V.P. Increasing the accuracy of calculations of acoustic engineering systems – direct way to optimize their attenuation. Protecting the public from high noise exposure: *Proceedings of the III All-Russian Scientific-practical conference with international participation*. St. Petersburg. 2014, pp. 692–698. (In Russian).
7. Gusev V.P., Matveeva I.V., Solomatina E.O. Computer modeling of noise from various sources in the urban environment. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. No. 8, pp. 25–28. (In Russian).
8. Osipov G.L., Judin E. Ja. Snizhenie shuma v zdaniyah i zhilyh rajonah [Decrease in noise in buildings and residential areas]. Moscow: Stroizdat. 1987. 558 p.

А.А. ЗАЙЦЕВА, инженер (zaytseva.a@polyplastic.ru), Е.И. ЗАЙЦЕВА, канд. техн. наук,
В.Ф. КОРОВЯКОВ, д-р техн. наук

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

Повышение энергоэффективности за счет тепловой изоляции трубопроводов

Одним из наиболее перспективных путей решения проблемы рационального использования энергоресурсов является создание эффективных материалов для тепловой изоляции трубопроводов при их прокладке в неотапливаемых помещениях зданий. В качестве такого материала предлагается использовать эффективный газобетон на основе жидкого стекла, модифицирующих добавок, дробленого и молотого стеклобоя, алюминиевой пудры, гидроксида натрия и кремнефтористого натрия. Данная теплоизоляция отвечает требованиям пожарной безопасности, долговечности, эксплуатационной надежности. Ее применение позволит повысить энергоэффективность трубопроводов и получить стойкий экологический и экономический эффект за счет применения твердых бытовых отходов.

Ключевые слова: энергоэффективность, стеклобой, газобетон, трубопроводы.

A.A. ZAYTSEVA, engineer (zaytseva.a@polyplastic.ru), E.I. ZAYTSEVA, Candidate of Sciences (Engineering), V.F. KOROVYAKOV, Doctor of Sciences (Engineering).
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Improving the Energy Efficiency Due To Heat Insulation of Pipelines

One of the most prospective ways to solve the problem of rational using energy resources is the creation of materials for heat insulation of pipeline when they are laid in unheated premises of the building. Effective gas concrete on the basis of liquid glass, modifying additives, crushed and ground broken glass, aluminum powder, sodium hydroxide, and sodium fluoro-silicate is proposed to be used as such a material. This heat insulation meets the requirements of fire safety, durability, operation reliability. Its use makes it possible to improve the energy efficiency of pipelines and have a stable ecological and economic effect due to the use of solid domestic waste.

Keywords: energy efficiency, broken glass, gas concrete, pipelines.

Являясь одной из ведущих держав мира по производству энергии, Россия значительно уступает экономически развитым странам в вопросах рационального использования энергоресурсов. Анализ опыта различных стран в решении проблемы энергосбережения показывает, что одним из наиболее перспективных путей ее решения является создание эффективных материалов для тепловой изоляции трубопроводов при их прокладке в неотапливаемых помещениях зданий. Данные материалы должны обладать достаточной прочностью и морозостойкостью, высокими теплозащитными свойствами, высокой огнестойкостью и долговечностью, экологической безопасностью как с точки зрения безопасности людей, так и с точки зрения безопасности материалов для окружающей среды [1].

В настоящее время для тепловой изоляции трубопроводов систем инженерного оборудования и теплоснабжения зданий применяются полносборные или комплектные конструкции, а также трубы с тепловой изоляцией полной заводской готовности [2]. В качестве теплоизоляционных материалов для изоляции трубопроводов различного назначения, сооружаемых, в частности, в Москве следует применять материалы с теплопроводностью в сухом состоянии не выше $0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ (при 20°C).

При прокладке теплоизолированных труб для распределительных сетей горячего водоснабжения и отопления на чердаках и в подвалах жилых и общественных зданий необходимо учитывать требования пожарной безопасности по показателям горючести. Использование теплоизоляционных конструкций из горючих материалов с теплоизоляционным слоем из пенополиэтилена, пенополипропилена, пенокаучука, пенополиуретана и др. не допускается применять для трубопроводов, расположенных в зданиях, что регламентировано нормативными документами.

Применение волокнистых утеплителей для данных целей не всегда себя оправдывает и имеет ряд существенных недостатков, в частности невозможность пол-

ной защиты от коррозии металлических средонесущих труб, требует дополнительной гидроизоляции и т. п.

Использование в качестве тепловой изоляции трубопроводов бетонов на искусственных пористых заполнителях и ячеистых бетонах неэффективно, так как их коэффициент теплопроводности колеблется в пределах $0,11-0,92 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, а значит, и вес получается значительным. У других неорганических теплоизоляционных материалов (пеностекло, газостекло и др.) очень высокая стоимость, и это, несмотря на их положительные характеристики, часто является решающим фактором при отказе от их применения [3].

Было высказано предположение, что приемлемым техническим решением вопросов прокладки трубопроводов ГВС и отопления в подвальных и чердачных помещениях станет конструкция трубопроводов, состоящая из основной средопроводящей трубы на основе высокотемпературного полимера с теплоизоляцией из неорганических материалов ячеистой структуры пониженной плотности. Такие трубы не поддаются воздействию коррозии, не требуют водоподготовки, а неорганические материалы теплоизоляции негорючи, термостойки, имеют низкий коэффициент теплопроводности, высокую долговечность и сравнительно невысокую стоимость. В качестве такого материала предлагается использовать эффективный газобетон на основе жидкого стекла, модифицирующих добавок, дробленого и молотого стеклобоя, алюминиевой пудры, гидроксида натрия и кремнефтористого натрия.

Использование несортированного боя технических стекол дополнительно позволит утилизировать неразлагающийся техногенный отход и понизить стоимость готового продукта. Известно, что вовлечение отходов промышленности и твердых бытовых отходов (ТБО) позволяет на 10–30% снизить затраты на изготовление строительных материалов и конструкций по сравнению с производством их из природного сырья [4].

Ранее предложенные технологии, разработанные в МГСУ, позволяли получать эффективные пенобетоны на основе жидкого стекла и стеклобоя. Однако эти тех-

Таблица 1

Технические характеристики материала

Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³	150–400
Предел прочности при сжатии, МПа	0,08–2
Предел прочности при изгибе, МПа	0,04–0,4
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,06–0,11
Диапазон рабочей температуры, °С	от -60 до +800 °С

Таблица 2

Основные эксплуатационные характеристики труб

Рабочая температура	до 115°С	до 95°С
Рабочее давление	до 1,25 МПа	до 1,25 МПа
Диаметры	50–160 мм	

нологии были сложны и предполагали наличие многоступенчатой тепловой обработки [5].

Был произведен ряд экспериментов и выработана определенная технология производства эффективного газобетона. На первом этапе подготавливают сырьевую смесь из твердых компонентов, а именно дробленого и молотого стеклобоя, гидроксида натрия и специальных добавок. На втором этапе полученную смесь перемешивают с жидким стеклом и водой. В качестве пенообразователя используют алюминиевую пудру. Через некоторое время (1–2 мин) начинается саморазогрев смеси до температуры не менее 80°С, сопровождаемый интенсивным газообразованием и паровыделением, которые обеспечивают вспучивание и отверждение массы. Процесс заканчивается через 10–20 мин. Продолжительность вспучивания и отверждения можно регулировать. В зависимости от состава кратность вспучивания составляет шесть и более раз. Полученный материал не требует дополнительной сушки. Вспучивание материала происходит благодаря выделению водорода в результате взаимодействия алюминиевой пудры с жидким стеклом и гидратом окиси натрия. Гидрат окиси натрия является ускорителем газообразования и отверждения материала, а экзотермия реакции способствует дополнительному вспучиванию за счет образования паров воды и снижению влажности материала, тем самым исключая сушку из процесса производства [6]. Характеристики полученного материала представлены в табл. 1.

Рентгенограмма полученного материала показывает, что он состоит более, чем на 90% из аморфной фазы.

Список литературы

- Ухова Т.А. Перспективы развития производства и применения ячеистых бетонов // *Строительные материалы*. 2005. № 1. С. 18–21.
- Сахаров Г.П. Ячеистые бетоны в посткризисный период // Научно-практический интернет-журнал «Наука. Строительство. Образование». 2011. № 1. <http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2011/01/8.pdf> (дата обращения 25.05.2015).
- Григорова Ю.А. Вторичное использование стеклобоя в производстве теплоизоляционных материалов // *Современные научные исследования и инновации*. 2014. № 8. <http://web.snauka.ru/issues/2014/08/37026> (25.05.2015)
- Никулин Ф.Е. Утилизация и очистка промышленных отходов. Л.: Судостроение. 2004. 232 с.
- Зайцева Е.И. Поризованный теплоизоляционный материал на основе стеклобоя. Дис. канд. техн. наук. М.: 1998. 165 с.
- Патент РФ 2263085. Сырьевая смесь для изготовления теплоизоляционного материала /Геворкян В.А., Коровяков В.Ф., Даллакян Д.В. Заявл. 17.07.2003. Оpubл. 27.10.2005.

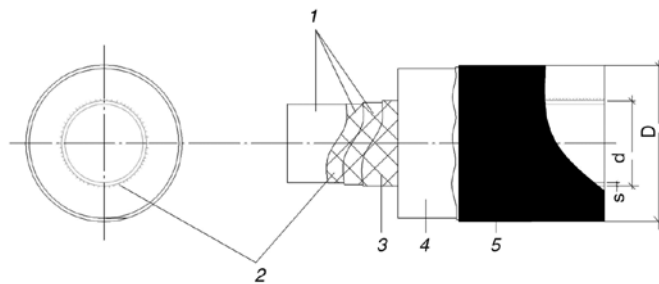


Рис. 1. Конструкция трубопровода с использованием газобетона.

1 – последовательность слоев высокотемпературных полимеров; 2 – армировка из высокомодульного волокна; 3 – кислородно-защитный слой; 4 – теплоизоляция из газобетона; 5 – оцинкованная защитная оболочка

Известно, что теплопроводность стеклообразных материалов почти на порядок ниже, чем кристаллических, однако с повышением температуры их теплопроводность возрастает.

При теплоизоляции полимерных трубопроводов предлагается использовать полученный материал в качестве самовспучивающейся смеси, заливаемой в съемную или несъемную опалубку. Конструкции для тепло- и гидроизоляции должны проектироваться в соответствии с действующими нормативными документами и с учетом особенностей газобетона:

- СП 61.13330.2010 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов». Актуализированная редакция СНиП 41-03–2003;
- СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003;
- СП 124.13330.2012 «Тепловые сети». Актуализированная редакция СНиП 41-02–2003;
- СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». Актуализированная редакция СНиП 23-01–99*.

При выборе конструкции следует учесть, что предлагаемая теплоизоляция в затвердевшем состоянии является жесткой.

В качестве основной средопроводящей трубы можно применить трубы типа ИЗОПРОФЛЕКС со следующими характеристиками (табл. 2)

В целом проведенные опытные исследования по утилизации несортированного боя искусственных стекол при создании негорючей эффективной тепловой изоляции позволяют не только повысить энергоэффективность трубопроводов за счет сокращения потерь тепла, но и получить стойкий экологический и экономический эффект.

References

- Uhova T.A. Prospects for the development of production and application of cellular concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005.No 1, pp. 18–21. (In Russian)
- G.P. Sakharov. Foamed concretes in post-crisis period. *Nauchno-prakticheskij Internet-zhurnal «Наука. Строительное образование»*. 2011. № 1. <http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2011/01/8.pdf> (date use the site 25.05.2015)
- Grigорова Ju.A. Recycling of a cullet in production of heat-insulating materials. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. 2014.No 8. <http://web.snauka.ru/issues/2014/08/37026> (date use the site 25.05.2015)
- Nikulin F.E. Utilization and cleaning of industrial wastes. L.: Sudostroenie. 2004 , 232 p.
- Zaytseva E.I., Porous insulation material on the basis of cullet. *Cand. Diss. (Engineering)*. Moskva. 1998, 165p. (In Russian)
- Patent RF 2263085. Syr'evaja smes' dlja izgotovlenija teploizoljacionnogo materiala [Raw mix for production of heat-insulating material] Gevorkyan V.A., Korovyakov V.F., Dallakyan D.V., Declared 17.07.2003. Published 27.10.2005. (In Russian).

Первый в России
по новому ГОСТу



С 2015 года компания КНАУФ первой перешла на производство КНАУФ-листов по новому ГОСТу. Теперь известное качество полностью соответствует европейскому стандарту.

Делайте свой выбор в пользу новых технологий!

► www.knauf.ru

KNAUF
Немецкий стандарт

УДК 666.972:666.972.16

Л.А. УРХАНОВА¹, д-р техн. наук (urkhanova@mail.ru),
 С.А. ЛХАСАРАНОВ¹, канд. техн. наук (solbon230187@mail.ru);
 В.Е. РОЗИНА², инженер (vikt.rozina@yandex.ru); С.Л. БУЯНТУЕВ¹, д-р техн. наук

¹ Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
 (670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В)

² Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83)

Мелкозернистый базальтофибробетон с нанокремнеземом

Рассмотрены вопросы дисперсного армирования цемента и бетона тонким базальтовым волокном, полученным центробежно-дутьевым способом. Проведена оценка коррозионной стойкости базальтового волокна в составе цементной матрицы. Для повышения коррозионной стойкости базальтового волокна в составе фиброцементных композитов был использован нанодисперсный кремнезем, полученный на ускорителе электронов. Определены показатели тепловыделения цементных паст с различным содержанием нанокремнезема. Получен фибробетон с применением базальтового волокна и нанодисперсного кремнезема, с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: дисперсное армирование, фибробетон, портландцемент, базальтовое волокно, нанокремнезем, тепловыделение при гидратации.

L.A. URKHANOVA¹, Doctor of Sciences (Engineering) (urkhanova@mail.ru),

S.A. LKHASARANOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (solbon230187@mail.ru);

V.E. ROZINA², Engineer (vikt.rozina@yandex.ru); S.L. BUYANTUEV¹, Doctor of Sciences (Engineering)

¹ East Siberia State University of Technology and Management (40V, Klyuchevskaya Street, Ulan-Ude, 670013, Republic of Buryatia, Russian Federation)

² National Research Irkutsk State Technical University (83, Lermontova Street, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

Fine Basalt-Fibrous-Concrete with Nano-Silica

Issues of the disperse reinforcement of cement and concrete with thin basalt fiber produced by the centrifugal-blown method are considered. The assessment of corrosion resistance of basalt fiber in the composition of the cement matrix is made. To improve the corrosion resistance of basalt fiber in the composition of fibrous-cement composites, the nano-silica obtained with the help of the electron accelerator is used. Indexes of heat emission of cement pastes with various content of nano-silica have been defined. Fibrous concrete with improved physical-mechanical and operational characteristics has been obtained with the use of basalt fiber and nano-disperse silica.

Keywords: disperse reinforcement, fibrous concrete, Portland-cement, basal fiber, nano-silica, heat emission during hydration.

Современное развитие строительного материаловедения связано с разработкой и внедрением модифицированных дисперсно-армированных бетонов с улучшенными характеристиками. Опыт применения фибробетонов в зарубежной и отечественной практике показывает, что рациональными областями использования таких бетонов является широкая номенклатура монолитных и сборных бетонных конструкций [1, 2]. Обладая значительными преимуществами, фибробетоны пока не нашли широкого применения в строительстве. Вместе с тем задача их внедрения при обеспечении оптимальных показателей материалоемкости и себестоимости является актуальной. Ее успешная реализация позволит в полном объеме раскрыть потенциал дисперсно-армированных бетонов.

В качестве армирующего компонента фибробетонов используются различные металлические и неметаллические волокна [1–6]. Среди неметаллических волокон стоит отметить базальтовое волокно (БВ), обладающее рядом преимущественных характеристик для дисперсного армирования (высокая прочность, малое относительное удлинение при разрыве). Эффективное улучшение физико-механических, деформационных и эксплуатационных свойств базальтофибробетона возможно при использовании волокна, обладающего стабильными свойствами: однородным диаметром волокон, химическим составом, коррозионной стойкостью, отсутствием «корольков». Наиболее эффективным для дисперсного армирования бетона является использование базальтового ровинга и тонкого штапельного волокна [3, 4].

Байкальский регион богат различными минеральными сырьевыми ресурсами, в том числе месторождениями базальтов: Селендумское, Судунтуйское и др. Малотоннажное производство минерального волокна с использованием местных сырьевых ресурсов может

обеспечивать собственные нужды региона в теплоизоляционных материалах и изделиях. В Иркутской области и Забайкальском крае на основе нового плавильного агрегата – электромагнитного технологического реактора запущены мини-заводы по производству волокнистых теплоизоляционных материалов с применением базальтов местных месторождений [7, 8]. Применение электромагнитного технологического реактора для плавления базальта позволяет сократить затраты на оборудование и облегчает его эксплуатацию. Формование минерального волокна осуществляется центробежно-дутьевым способом, являющимся наиболее распространенным для производства минеральных волокон благодаря высокой производительности и относительной экономичности по сравнению с другими. Полученные минеральные волокна имеют следующие характеристики: средний диаметр волокон – 10 мкм, прочность при разрыве – 1350 МПа, температуростойкость – 600°C.

Применение для дисперсного армирования фибробетона базальтового волокна, полученного центробежно-дутьевым способом и обладающего менее однородными и стабильными качественными характеристиками по сравнению с базальтовым ровингом и тонким штапельным волокном, представляет интерес.

При использовании базальтовых волокон, имеющих химическое сродство с минералами портландцемента (ПЦ), необходимо учесть возможное взаимодействие, которое приведет к разрушению базальтового волокна и снижению армирующего эффекта. Для решения этой задачи используют различные приемы: термическая обработка волокна с целью повышения коррозионной стойкости, нанесение на волокна защитного слоя, введение кремнеземсодержащих добавок, связывающих образующуюся при гидратации известь [2–6]. Использование кремнеземсодержащих добавок, обла-

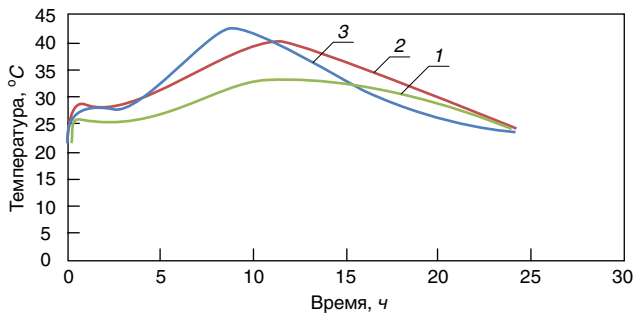


Рис. 1. Влияние нанокремнезема Таркосил®-05 на тепловыделение цемента: 1 – контрольный (без добавок); 2 – ПЦ+Таркосил®-05 (1%); 3 – ПЦ+Таркосил®-05 (3%)

дающих более высокой активностью к цементным минералам по сравнению с базальтовым волокном, позволяет снизить негативное действие среды твердеющего цемента и предотвратить тем самым коррозию волокна. В исследованиях [2] с целью разработки особовысокопрочного тонкозернистого базальтофибробетона исследовано химическое взаимодействие базальтовых волокон с продуктами гидратации ПЦ. Введение в цементное вяжущее тонкодисперсных минеральных добавок – микрокремнезема МК-85 и Силинома-ДБС позволяет снизить агрессивное влияние извести на базальтовое волокно и предотвратить его ослабление в матрице цементного камня.

Экспериментально установлено [3], что введение модификатора МБ 10-01 позволяет получать более однородную смесь, способствует снижению водосодержания смеси и уменьшению энергоемкости приготовления смесей.

Целью работы явилось получение базальтофибробетона с применением наноразмерного кремнезема (НК) – Таркосил®-05, обладающего гораздо более развитой удельной поверхностью по сравнению с микрокремнеземом и почти полностью аморфного. Ранее проведенные работы показали эффективность применения добавки Таркосил®-05 для получения высокопрочного бетона [9, 10]. Содержание добавки варьировалось в интервале 0,1–1% с увеличением прочности при сжатии бетона в 1,4–1,5 раза.

Наноразмерный кремнезем активно влияет на гидратацию ПЦ: его присутствие изменяет концентрацию ионов Ca^{2+} в жидкой фазе цементной пасты уже в первые минуты гидратации. Образование продуктов гидратации в ранний период происходит при участии поверхности нанодисперсных частиц, и поверхность цементных зерен

оказывается в меньшей степени блокирована новообразованиями, что интенсифицирует процесс гидролиза цементных фаз. Исследование тепловыделения цементных паст показало увеличение максимальной температуры при введении нанокремнезема. Определение тепловыделения при гидратации цементных паст, содержащих нанопорошок Таркосил®-05, проводили термосным методом (рис. 1).

Как известно, в начальный период гидратации при соприкосновении частиц цемента с водой на контактной поверхности начинают идти реакции растворения безводных минералов клинкера. В результате происходит насыщение воды затворения и контактной зоны ионами Ca^{2+} , OH^- и другими. Быстрое насыщение водного раствора ионами Ca^{2+} происходит за счет гидролиза алита C_3S , сопровождающегося выделением $Ca(OH)_2$ [11]. При введении нанокремнезема Таркосил®-05 в количестве 1 и 3% происходит повышение максимальной температуры на 10–12 град. по сравнению с контрольным бездобавочным составом. При этом темп нарастания температуры более интенсивен по сравнению с контрольным составом, что свидетельствует об ускорении процессов гидратации ПЦ с НК. Это можно объяснить механизмом действия нанокремнезема на цементную систему, который оказывает благоприятное воздействие на структурообразование цементного камня.

Исследования по оценке химической стойкости базальтового волокна с целью качественного улучшения характеристик фиброцементных композиций показали, что с применением НК Таркосил®-05 можно снизить негативное действие среды твердеющего цемента и повысить коррозионную стойкость базальтового волокна [12]. Изучение спектров на поверхности скола базальтофиброцементных композиций с помощью системы INCA-x (ЦКП «Прогресс» ВСУТУ) показывает, что в образце без НК элементарный состав поверхностного слоя волокна отличается количественным изменением содержания Si и Ca. На поверхности волокна содержание Ca увеличивается на 26%, а содержание Si уменьшается на 21%; K, Na – до 0% (табл. 1, рис. 2).

Поверхность БВ при введении в состав композиций НК претерпела наименьшие изменения. Это говорит о том, что более активный НК связывает известь и создает дополнительные центры кристаллизации гидратных новообразований и активно влияет на гидратацию ПЦ. Введение НК позволило дополнительно получить низкоосновные гидросиликаты кальция типа CSH (I), образование которых привело к улучшению физико-механических характеристик дисперсно-армированного материала.

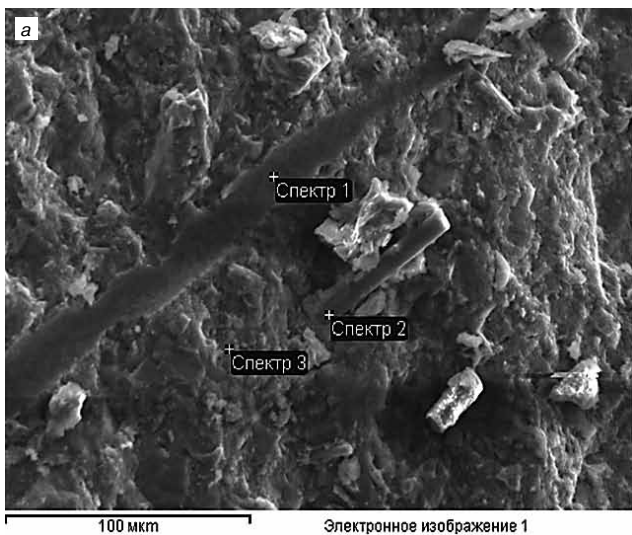


Рис. 2. Микроструктура базальтофиброцементных композиций: а – ПЦ+БВ (4%); б – ПЦ+БВ (4%)+Таркосил®-05 (0,5%)

Таблица 1

Спектр	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
ПЦ+БВ (4%)											
Спектр 1	4,52	47,99	–	–	0,96	5,57	0,83	–	38,34	–	1,79
Спектр 2	–	32,87	1,2	2,45	9,9	27,21	–	3,18	12,43	1,38	9,77
Спектр 3	4,66	46,03	–	0,4	1,51	7,65	1,23	–	37,37	–	1,15
ПЦ+БВ (4%)+Таркосил®-05 (0,5%)											
Спектр 1	1,73	50,64	0,44	0,69	2,61	8,82	1,08	0,82	30,2	0,24	2,74
Спектр 2	1,28	44,54	0,38	0,7	2,86	10,23	0,83	1,06	35,29	0,35	2,48
Спектр 3	–	33,47	1,07	1,99	8,75	24	0,17	3,84	12,64	1,61	12,4
Спектр 4	0,21	43,1	0,4	0,5	2,61	11,21	0,99	1,24	37,63	–	2,1

Таблица 2

Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг				В/Ц	Показатели технологичности бетонной смеси	
портланд-цемент	песок	базальтовое волокно	Таркосил®-05		Марка по удобоукладываемости (ОК, см)	Расслаиваемость по водоотделению, %
550	1375	–	–	0,4	П2 (7)	0,6
550	1375	22	–	0,4	П2 (8)	0,45
550	1375	22	2,75	0,4	П2 (9)	0,3

Таблица 3

Свойства	Единицы измерения	Показатели		
		Цементный бетон (контрольный)	БФБ без нанокремнезема	БФБ с нанокремнеземом
Средняя плотность	кг/м ³	2400	2460	2480
Прочность при сжатии	МПа	44	50	62
Прочность при изгибе	МПа	9	13	15
Водопоглощение	мас. %	4	3,5	2,5
Морозостойкость	циклы	150	200	250
Усадка	мм/м	2,7	1,6	1,1

При оптимизации составов мелкозернистого базальтофибробетона (БФБ) варьировались следующие показатели: содержание базальтового волокна; НК Таркосил®-05; способ введения базальтового волокна и Таркосил®-05 в состав бетонной смеси. При варьировании этих параметров были определены технологические свойства бетонных смесей и физико-механические характеристики бетонов (табл. 2, 3). Так, высокая удельная поверхность частиц НК Таркосил®-05 по сравнению с частицами цемента способствует более высокой седиментационной устойчивости и улучшению показателя расслаиваемости бетонных смесей.

Состав базальтофибробетона с применением НК показал наилучшие свойства: увеличение прочности при

сжатии на 35%; прочности при изгибе – 65% относительно контрольного бездобавочного состава. Бетоны с применением НК характеризуются высокими эксплуатационными показателями.

Использование базальтового волокна, полученного центробежно-дутьевым способом и характеризующегося неоднородностью по основным характеристикам, с нанодисперсным кремнеземом позволяет получать высокопрочный мелкозернистый базальтофибробетон с улучшенными свойствами. В Байкальском регионе применение базальтофибробетона позволит повысить качество и снизить ресурсопотребление при строительстве дорожных и мостовых конструкций.

Список литературы

1. Пухаренко Ю.В. Реставрация и строительство: потенциал фиброармированных материалов и изделий // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 4. URL: www.science-education.ru/104-6582 (Дата обращения 25.02.2015).
2. Banthia N., Bindiganavile V., Jones J., Novak J. Fiber-reinforced concrete in precast concrete applications: Research leads to innovative products // *PCI Journal*. 2012. Vol. 3. Pp. 33–46.
3. Rybin V.A., Utkin A.V., Baklanova N.I. Alkali resistance, microstructural and mechanical performance of zirconia-coated basalt fibers // *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 53, pp. 1–8.
4. Боровских И.В., Хозин В.Г. Изменение длин базальтовых волокон при его распределении в композиции-

References

1. Pukharenko Y.V. Restoration and construction: the potential fiber reinforced materials and products. *Sovremennye problemy v nauke i obrazovanii*. 2012. No. 4. URL: www.science-education.ru/104-6582 (Date of access 25.02.2015). (In Russian).
2. Banthia N., Bindiganavile V., Jones J., Novak J. Fiber-reinforced concrete in precast concrete applications: Research leads to innovative products. *PCI Journal*. 2012. Vol. 3, pp. 33–46.
3. Rybin V.A., Utkin A.V., Baklanova N.I. Alkali resistance, microstructural and mechanical performance of zirconia-coated basalt fibers. *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 53, pp. 1–8.
4. Borovskikh I.V., Khozin V.G. Changing the length of basalt fiber with its distribution in the composite binder of



- онном вяжущем высокопрочных базальтофибробетонов // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2009. № 2 (12). С. 233–237.
5. Бучкин А.В., Степанова В.Ф. Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 47–49.
 6. Бабаев, В.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Савгир Н.Л. К вопросу о щелочестойкости базальтовой фибры в цементной системе // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2013. № 2. С. 63–66.
 7. Буянтуев С.Л., Кондратенко А.С. Исследование физико-химических свойств минеральных волокон, полученных с помощью электромагнитного технологического реактора // *Вестник ВСГУТУ*. 2013. № 5 (44). С. 123–129.
 8. Буянтуев С.Л., Могнонов Д.М., Бадмаев Б.Б., Пашинский С.Г., Малых А.В. Мини-завод по производству теплоизоляционных материалов из базальта на основе электромагнитного плавильного агрегата с низкими удельными энергозатратами // *Вестник ВСГУТУ*. 2012. № 1 (36). С. 139–144.
 9. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А. Наномодифицированные строительные материалы с использованием сырьевых материалов Забайкалья // *Вестник ВСГУТУ*. 2011. № 1. С. 61–66.
 10. Урханова Л.А., Бардаханов С.П., Лхасаранов С.А. Бетон повышенной прочности на композиционном вяжущем // *Строительные материалы*. 2012. № 1. С. 32–33.
 11. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа. 1980. 472 с.
 12. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Розина В.Е. и др. Повышение коррозионной стойкости базальтофибробетонных композиций с нанокремнеземом // *Нанотехнологии в строительстве*. 2014. Т. 6. № 4. С. 13–27. URL: http://nanobuild.ru/ru_RU/ (Дата обращения: 25.02.2015)
- high strength fiber concretes. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo archinecturno-stoitel'nogo universiteta*. 2009. No. 2 (12), pp. 233–237. (In Russian).
5. Buchkin A.V., Stepanova V.F. Fine-grained concrete with high corrosion resistance, fiber reinforced by thin basalt fiber. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 47–49. (In Russian).
 6. Babaev V.B., Strokov V.V., Nelyubova V.V., Savgir N.L. The question of alkali resistance of basalt fiber in cement system. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta imeni V.G. Shukhova*. 2013. No. 2, pp. 63–66. (In Russian).
 7. Buyantuev S.L., Kondratenko A.S. The study of physical and chemical properties of mineral fibers obtained by an electromagnetic technological reactor. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i upravleniya*. 2013. No. 5 (44), pp. 123–129. (In Russian).
 8. Buyantuev S.L., Mogonov D.M., Badmaev B.B., Pashinski S.G., Malykh A.V. Mini-plant manufacture of heat-insulating materials from basalt based on the electromagnetic melting unit with low rate energy consumption. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i upravleniya*. 2012. No. 1 (36), pp. 139–144. (In Russian).
 9. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A. Nanomodified construction materials using raw materials of Transbaikalia. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i upravleniya*. 2011. No. 1 (36), pp. 139–144. (In Russian).
 10. Urkhanova L.A., Bardakhanov S.P., Lkhasaranov S.A. Concrete of improved strength on the basis of a composite binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 1, pp. 33–34. (In Russian).
 11. Butt Y.M., Sychev M.M., Timashev V.V. Khimicheskaya tekhnologiya vyazhushchikh materialov [Chemical technology of binders]. Moscow: Vysshaya shkola. 1980. 472 p.
 12. Urkhanova L., Lkhasaranov S., Rozina V. Increased corrosion resistance of basalt reinforced cement compositions with nanosilica. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: scientific Internet-journal*. 2014. Vol. 6. No. 4, pp. 13–27. http://nanobuild.ru/ru_RU/ (date of access 25.02.2015). (In Russian).

22-25 сентября

УФА-2015

Форум

УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ

XXV юбилейная международная выставка

Тел./факс: (347) 246-42-29, 246-42-38, 246-42-37
 e-mail: stroy@bvkexpo.ru
www.bvkexpo.ru www.stroybvk.ru

Место проведения:
ВАНХЭКСПО
 ул. Менделеева, 158

VII Международная конференция «Нанотехнологии в строительстве» в Египте

Нанотехнологии занимают все более прочную позицию не только в строительной науке, но и в производстве, в частности, строительных материалов. Традиционной ежегодной встречей египетских и российских ученых, работающих в области нанотехнологии, применительно к строительному материаловедению, стала Международная конференция «Нанотехнологии в строительстве», которую организуют Министерство жилищного и городского хозяйства Египта, Национальный исследовательский центр жилищного и гражданского строительства (HBRC), Египетско-Российский университет (ERU) и Ижевский государственный технический университет.



В президиуме конференции члены редакционного совета журнала «Строительные материалы» профессор, д-р техн. наук Г.И. Яковлева (крайний слева) и профессор, канд. техн. наук Шариф С. Хелми (второй слева)



В «женском» президиуме одной из сессий конференции (слева направо): профессор Мерват Х. Халил (Mervat H. Khalil), профессор Гихан Е. Абдельрахман (Gihan E. Abdelrahman), профессор Ханан А. Анвар (Hanan A. Anwar)



Египетско-Российский университет (ERU) – первый российский университет на Ближнем Востоке, основанный в 2006 г. и располагающийся в г. Бэдр-Сити в 45 км от Каира. Это частное учебное заведение, созданное по инициативе группы египетских инвесторов. Одной из целей создания ERU была разработка учебных планов, которые бы сочетали лучшие достижения российских коллег, в том числе в области технических наук, и современные требования к специалистам данного профиля. Созданные учебные программы стали результатом плодотворного академического и научного сотрудничества между Египетско-Российским университетом и группой российских университетов. Учебный план ERU аккредитован Высшим советом египетских университетов. Научная школа ERU развивается в тесном сотрудничестве с Ижевским государственным техническим университетом, выпускники ERU – аспиранты ИжГТУ, ведут научную работу как в Египте, так и в России. После защиты диссертаций многие становятся преподавателями ERU. Ректор ERU профессор Ш.С. Халми является членом редакционного совета журнала «Строительные материалы»®.

27–31 марта 2015 г. состоялась VII Международная конференция «Нанотехнологии в строительстве». В ее работе приняли участие более 100 ученых из университетов и научных организаций, руководители и ведущие специалисты министерств и ведомств Египта, российская делегация, которую входили ученые и аспиранты ИжГТУ, КазГАСУ, Пермского национального исследовательского политехнического университета, Северо-Восточного университета им. М.К. Аммосова, Уфимского государственного нефтяного технического университета, Оренбургского государственного университета (Кумертауский филиал). Спонсорами мероприятия выступили компании BASF и SMB group – крупный производитель строительных материалов страны.





Российская делегация готовится в начале работы конференции



Новая книга российских коллег несомненно будет интересна египетским ученым

В 2015 г. по решению оргкомитета конференции сменила место традиционной дислокации и переехала из беспокойной столицы Каира в курортный Шарм-эль-Шейх. Не смотря на близость живописного Красного моря и прекрасную погоду, участникам конференции расслабиться не пришлось: деловая программа была насыщена докладами и научными дискуссиями. За три рабочих дня было заслушано и обсуждено более 50 докладов. Журнал «Строительные материалы»® уже несколько лет является российским информационным партнером конференции. Традиционным стал специальный номер журнала с подборкой статей – пленарных докладов конференции на русском и английском языке, который был представлен всем участникам конференции.



Журнал, в котором статьи опубликованы на двух языках, представляет интерес для египетских коллег не только для листания, но и для чтения

Следует отметить, что перенесение конференции в один из конгресс-отелей Шарм-эль-Шейха весьма благотворно отразилось на ее атмосфере.



Г. Д. Федорова
постоянный
участник
конференции



На конференции существенно повысилась активность женщин-ученых





Дискуссии и обсуждения докладов неотъемлемая часть продуктивной работы на конференции

Участники имели возможность продолжать общение и за рамками официальной программы. Представители министерства и Национального исследовательского центра жилищного и гражданского строительства, не обремененные необходимостью отвлекаться на срочные дела, которые всегда преследовали их в Каире, активно вникали в научные проблемы, постоянно общались с представителями университетов.

Традиционно доклады российских участников конференции вызывают живой интерес коллег. В этом году с развернутыми лекциями выступили профессор, д-р техн. наук Г.И. Яковлев (Ижевский государственный технический университет) – «Полифункциональная добавка на основе углеродных нанотрубок и микрокремнезема для улучшения физико-механических характеристик гипсоцементно-пуццоланового вяжущего», и профессор, д-р техн. наук В.Г. Хозин (Казанский государственный архитектурно-строительный университет) – «Общая концентрационная закономерность эффектов наномодифицирования строительных материалов». С докладами участников российской делегации можно ознакомиться на сайте журнала (<http://www.rifsm.ru/editions/journals/1/2015/556/>).

Среди докладов египетских коллег отметим следующие: «Применение фибры из целлюлозных волокон для повышения долговечности и компенсации усадка цементного теста в нормальных и агрессивных условиях» (Институт прочности материалов Национального научно-исследовательского центра жилищного строительства, Каир (Housing and Building National Research Center (HBRC), Strength of Material Institute)); «Характеристики печной цементной пыли с частицами нанокремнезема» (Институт железобетонных конструкций); Институт строительной физики Национального исследовательского центра жилищного строительства, Каир (Reinforced Concrete Structure Institute, Building Physics Institute, HBRC)); «Оценка тепловых и механических свойств крупитц/натурального каучука нанокомпозитов» (Лаборатория метрологии и технологии полимеров, NIS; Институт строительной физики, HBRC, Египет (Polymer Metrology and Technology Lab., NIS, Egypt; Building Physics Institute, HBRC, Egypt)); «Характеристики композитного цементный раствор, содержащие нано метакаолин и кварцевую муку» (PBI, HBRC) и др.



Национальным достоянием Египта является огромное количество артефактов древности, многие из которых выполнены из известняка. Время, а также загрязнение атмосферы не способствуют сохранению древних скульптур. Саед М. Ахмед (Sayed M. Ahmed) из Каирского египетского музея совместно с коллегами занимается разработкой защитных составов на основе акриловых сополимеров, модифицированных наночастицами оксида цинка



Профессора Халед М. Хейза (Khaled M. Heiza) по праву можно считать рекордсменом VII Международной конференции «Нанотехнологии в строительстве»: в соавторстве с коллегами и учениками из Менофийского университета было представлено семь докладов.



До встречи на VIII Международной конференции «Нанотехнологии в строительстве», которая по решению оргкомитета также пройдет в Шарм-эль-Шейхе!

А.А. ВИШНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, Г.И. ГРИНФЕЛЬД, исполнительный директор,
А.С. СМIRНОВА, помощник исполнительного директора

Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона (193091, г. Санкт-Петербург, наб. Октябрьская, 40)

Производство автоклавного газобетона в России

Производство автоклавного газобетона в России продолжает активно развиваться. Ежегодно запускаются новые линии АГБ, действующие заводы наращивают объемы. Это обеспечивает ежегодный рост мощностей по производству АГБ в среднем на 3–5% в год. Как следствие, растет выпуск данного материала и в 2014 г. совокупный объем выпущенного АГБ составил 12,9 млн м³. При этом качественно меняется выпускаемая продукция. На смену армированным панелям плотностью 700–800 кг/м³ пришли мелкие стеновые блоки плотностью 400–600 кг/м³ с точными геометрическими размерами и улучшенными физико-механическими характеристиками. Весомый вклад в результаты отрасли вносят предприятия–члены НААГ. В настоящее время ассоциация объединяет около половины всех мощностей по выпуску АГБ – совокупная мощность членов НААГ 7,3 млн м³/г. В 2014 г. 23 завода, входящие в НААГ, произвели 6,4 млн м³ АГБ (49,6 % от общего выпуска).

Ключевые слова: автоклавный газобетон, стеновые блоки, энергоэффективность.

A.A. VISHNEVSKY, Candidate of Sciences (Engineering), G.I. GRINFEL'D, Executive Director, A.S. SMIRNOVA, Assistant Executive Director
National Association of Autoclaved Aerated Concrete Manufacturers (40, Oktyabr'skaya Embankment, 193091, Saint-Petersburg, Russian Federation)

Production of Autoclaved Aerated Concrete in Russia

The production of autoclaved aerated concrete in Russia continues to be in active progress. Every year new lines of AAC are commissioned, operating factories increase manufacturing volumes. This ensures the annual growth of capacities for manufacturing AAC by 3–5% per year in average. As a result, the output of this material grows, and in 2014 the total volume of AAC manufactured was 12,9 mil. m³. At that, the manufactured production qualitatively changes. Small wall blocks of 400–600 kg/m³ density with precise geometric sizes and improved physical-mechanical characteristics have replaced reinforced panels of 700–800 kg/m³ density. Enterprise-members of NAAC make a major contribution to these results of the industry. At present, the Association unites about a half of capacities for manufacturing AAC – the total capacity of NAAC members is 7,3 mil. m³/y. In 2014 23 factory-members of NAAC produced 6,4 mln. m³ of AAC (49,6% of total output.)

Keywords: autoclaved aerated concrete, wall blocks, energy efficiency.

Массовое производство автоклавного газобетона (АГБ) в СССР началось в конце 50-х гг. XX в., когда было построено 10 заводов на польском оборудовании с совокупной мощностью более 1,5 млн м³ в год [1]. Предприятия преимущественно выпускали крупногабаритные армированные изделия плотностью 800–1000 кг/м³. Позже к этим предприятиям добавились заводы с отечественным оборудованием («Универсал 60» и «Силбетблок» и др.), позволяющие выпускать мелкие блоки по резательной технологии. К 1984 г. в СССР насчитывалось уже 99 предприятий по выпуску ячеистого бетона с суммарной годовой производительностью около 5,9 млн м³ изделий, выпускающих армированные изделия и мелкие блоки плотностью 600–700 кг/м³ [2, 3].

В постсоветской России, как и в других странах бывшего СССР, отмечался общий спад производства газобетона. В связи с сокращением объемов строительства в начале 90-х гг. наблюдалось значительное падение спроса на строительные материалы. Ряд предприятий не смог приспособиться к этим условиям и был вынужден свернуть производство.

Новый этап в развитии газобетона связан с появлением в России в 1994–1997 гг. импортных технологических линий, позволяющих выпускать АГБ нового поколения, отличающийся от прежнего точными геометрическими размерами и лучшими физико-механическими свойствами.

Таблица 1

Технологические линии	Количество заводов	Количество технологических линий*	Установленные мощности	
			млн м ³ /г	%
Импортные	50	51	12,6	79,2
Отечественные	24	31	3,3	20,8
Все	74	82	15,9	100

* Число линий и заводов не совпадает, так как некоторые заводы имеют несколько линий.

Заводы на импортном оборудовании обеспечили появление на российском рынке более 0,5 млн м газобетонных блоков плотностью 500–600 кг/м³. Газобетонные изделия этого поколения быстро нашли свое место на рынке стеновых материалов, постепенно вытеснив неавтоклавные ячеистые бетоны, керамзитобетон и создав конкуренцию керамическому и силикатному кирпичу.

На этом фоне с 2004 г. вводились в эксплуатацию новые заводы с импортными технологическими комплексами (рис. 1). К концу 2014 г. число производителей АГБ увеличилось до 74, а их общая производственная мощность составила 15,9 млн м³/г. В большей степени (79,2 %) эти мощности представлены именно импортными технологическими комплексами (табл. 1).

В 2014 г. всеми предприятиями отрасли было выпущено 12,9 млн м³ изделий из АГБ. В сравнении с 2013 г. выпуск АГБ увеличился на 14,2 %. Повышение выпуска обусловлено как вводом новых мощностей, так и увеличением выпуска на действующих заводах. Как показал проведенный анализ, в 2014 г. большая часть предприятий (46) увеличила выпуск АГБ в сравнении с 2013 г.

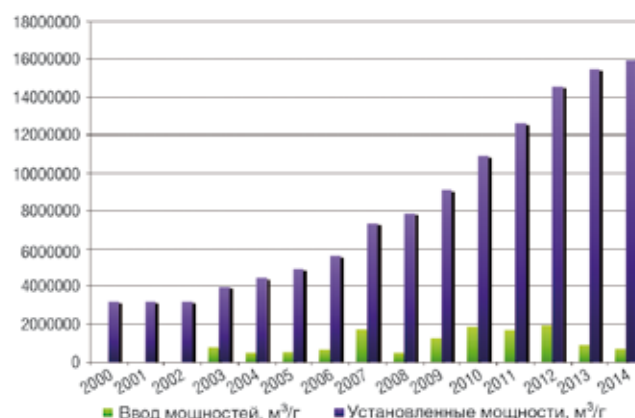


Рис. 1. Ввод мощностей по производству АГБ

Таблица 2

Федеральный округ	Число заводов	Общий выпуск, млн м ³	Выпуск на душу населения, м ³ /чел.
Центральный	24	5,5	0,14
Приволжский	16	2,4	0,08
Южный	5	1,16	0,08
Северо-Западный	9	1,25	0,09
Уральский	7	1,15	0,09
Сибирский	7	1,05	0,05

Больше всего газобетона как в абсолютных, так и в относительных единицах выпустили заводы ЦФО. Здесь выпуск на долю населения (табл. 2) составил 0,14 м³/чел., что более чем в 1,5 раза больше, чем в среднем по России (0,09 м³/чел.). Косвенно это свидетельствует о большем объеме потребления газобетона в данном регионе.

Меньше всего АГБ производится и применяется в Дальневосточном и Северо-Кавказском округах, что связано с небольшим числом производителей газобетона в этих регионах, низкой популярностью данного материала, а также невысокими объемами строительства.

По общему объему произведенного АГБ можно оценить объем внутрисредского потребления данного материала, приняв во внимание тот факт, что российский газобетон практически не поставляется на экспорт. Но в то же время импорт изделий из АГБ, главным образом из Белоруссии, остается достаточно высоким. По данным секретариата Межправительственного совета по сотрудничеству в строительной деятельности стран СНГ, экспорт газобетона из Республики Беларусь в РФ в 2014 г. составил 1,3 млн м³, в том числе в Центральный и Северо-Западный регионы по 500 тыс. м³. Кроме того, по данным торговых организаций, реализующих АГБ в Калининградской области, объем импорта газобетона из Польши в этот регион составил 200 тыс. м³. В этой связи общее потребление изделий из АГБ в России в 2014 г. можно оценить на уровне 14,4 млн м³.

В настоящее время практически весь АГБ в России производится в виде мелких стеновых блоков. На долю армированных изделий (перемычки, плиты, панели) по результатам 2014 г. приходится лишь 0,46 % от общего выпуска АГБ. Объем армированных изделий, произведенных в 2014 г., составил 58306,91 м³.

Стеновые блоки чаще всего производят с плотностью от 300 до 800 кг/м³ (рис. 2), при этом основной объем газобетона (90 %) представлен марками D500 и D600. Усредненный показатель плотности всего газобетона, выпущенного в 2014 г., составляет 516,7 кг/м³. В сравнении с 2013 г. (518,4 кг/м³) он незначительно снизился. Таким образом, направленность рынка в сторону снижения плотности производимого АГБ сохраняется в течение последних лет [4, 5].

На импортных линиях, как правило, выпускают изделия с меньшей плотностью, на отечественных — с большей плотностью (рис. 3). Это связано с особенностями оборудования: импортные комплексы предоставляют большую возможность для выпуска изделий пониженной плотности за счет точной дозировки компонентов, интенсивного смешивания, наличия закрытых зон твердения, автоклавирования при повышенном давлении и др.

Исследования рынка, проводимые НААГ, в последние годы позволили выявить некоторые региональные особенности выпуска АГБ. Наиболее легкую продукцию выпускают заводы Северо-Западного региона: усредненная плотность выпускаемого газобетона там самая низкая по России (465 кг/м³). Наиболее тяжелый газобетон выпускается в Сибири: средняя плотность 569 кг/м³ (рис. 4). Подобный результат объясняется главным об-

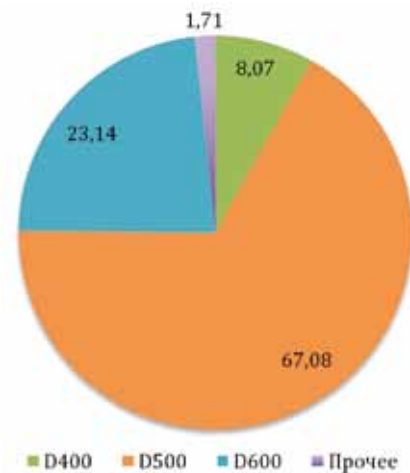


Рис. 2. Структура произведенного АГБ (2014 г.)

разом сложившимися традициями, которые в свою очередь зависят от возможностей производителей и их усилий по продвижению продукции. В Северо-Западном регионе одними из первых освоили массовый выпуск АГБ плотностью 400 кг/м³ и ниже, а также провели активную кампанию по его продвижению. В Сибирском округе сложилась обратная ситуация. Там основные производители сориентировались на выпуск продукции плотностью 500 кг/м³ и выше и до настоящего времени активного производства продукции пониженной плотности нет. В ряде случаев на плотность выпускаемых изделий влияет сейсмичность региона. В частности, в Южном округе выпуск изделий пониженной плотности затруднен в связи с высокой сейсмичностью.

Подводя итог, можно отметить, что производство автоклавного газобетона продолжает активно развиваться. Ежегодно запускаются новые линии АГБ, действующие заводы наращивают объемы. Все это обеспечивает ежегодный рост мощностей по производству АГБ в среднем на 3–5 % в год. Как следствие, растет выпуск данного материала и в 2014 г. совокупный объем выпущенного АГБ составил 12,9 млн м³. При этом качественно меняется выпускаемая продукция. На смену армированным панелям плотностью 700–800 кг/м³ пришли мелкие стеновые блоки плотностью 400–600 кг/м³ с точными геометрическими размерами и улучшенными физико-механическими характеристиками.

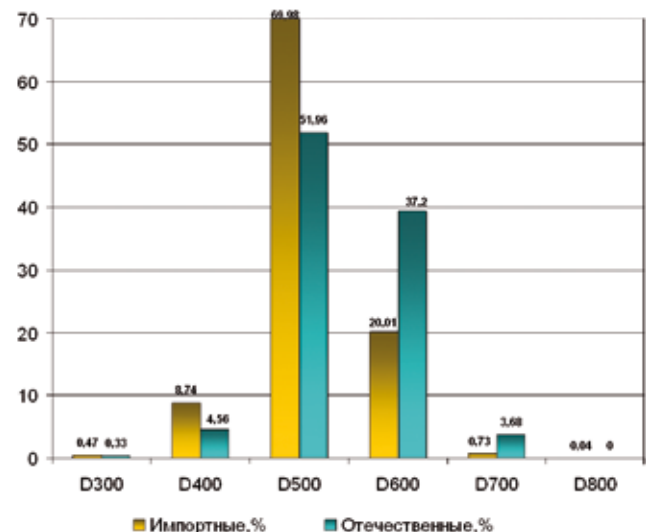


Рис. 3. Распределение марок по плотности выпускаемых изделий в зависимости от технологических линий



Рис. 4. Усредненные показатели плотности выпускаемого АГБ по округам

Весомый вклад в результаты отрасли вносят предприятия—члены НААГ. В настоящее время ассоциация

объединяет около половины всех мощностей по выпуску АГБ — совокупная мощность членов НААГ 7,3 млн м³/год. В 2014 г. 23 завода, входящие в НААГ, произвели 6,4 млн м³ АГБ (49,6 % от общего выпуска).

НААГ — это не просто объединение лидеров отрасли, это организация, занимающаяся поддержкой производителей АГБ (нормативной базой, научно-техническими исследованиями), а также осуществляющая популяризацию и продвижение автоклавного газобетона. В рамках этой работы НААГ ежегодно проводит исследование рынка, по результатам которого и была подготовлена данная статья.

результатам которого и была подготовлена данная статья.

Список литературы

1. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А. Газобетон в жилищном строительстве, перспективы его производства и применения в Российской Федерации // *Строительные материалы*. 2009. № 1. С. 4—8.
2. Домбровский А.В. Производство ячеистых бетонов. Обзорная информация. ВНИИЭСМ. 1983. Вып. 2. С. 76.
3. Коровкевич В.В., Пинскер В.А и др. Малоэтажные дома из ячеистых бетонов. Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации. Л.: ЛенЗНИИЭП. 1989. 284 с.
4. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Куликова Н.О. Анализ рынка автоклавного газобетона России // *Строительные материалы*. 2013. № 7. С. 40—44.
5. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Итоги работы предприятий по производству автоклавного ячеистого бетона в 2013 г. // *Технологии бетонов*. 2014. № 4. С. 44—47.

References

1. Vylegzhanin V.P., Pinsker V.A. Gas Concrete in Housing Construction and Perspectives of Its Production and Use in the Russian Federation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 1, pp. 4—8. (In Russian).
2. Dombrovskii A.V. Production of cellular concrete. Overview. VNIIESM. 1983. Vol. 2, pp. 76. (In Russian).
3. Korovkevich V.V., Pinsker V.A., etc. Maloetazhnye doma iz yacheistykh betonov. Rekomendatsii po proektirovaniyu, stroitel'stvu i ekspluatatsii [Low-rise houses of aerated concrete. Recommendations for the design, construction and operation]. Leningrad: LenZNIIEP. 1989. 284 p.
4. Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I., Kulikova N.O. Analysis of Autoclaved Aerated Concrete Market of Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 7, pp. 49—44. (In Russian).
5. Vishnevskii A.A., Grinfel'd G.I., Smirnova A.S. Results of the enterprises for manufacture of autoclaved aerated concrete in 2013. *Tekhnologii betonov*. 2014. No. 4, pp. 44—47. (In Russian).



НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

9–11 сентября 2015 Санкт-Петербург

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Современный автоклавный газобетон

Цель конференции: обмен опытом в области технологии, производства и применения автоклавного газобетона (АГБ).

Аудитория: производители АГБ, производители и поставщики оборудования, сырья и сопутствующих материалов, проектные организации, строители, представители торговых организаций, реализующих строительные материалы, представители научных структур.

Генеральный спонсор конференции компания **masa**

Конференция ориентирована на вопросы применения автоклавного газобетона, технологии производства АГБ, а также вопросы по оборудованию для его производства. Работа конференции пройдет по секциям. Предусматривается посещение современных заводов по производству автоклавного газобетона и культурная программа.

Основные темы конференции:

- Тенденции развития российского рынка автоклавного газобетона. Роль АГБ в современном строительстве. Перспективы развития рынка.
- Экономика производства. Меры поддержания доходности производства. Оптимизация производственных расходов. Производство АГБ в условиях кризиса.
- Целесообразность снижения плотности выпускаемого автоклавного газобетона. Начало массового производства газобетона марки D300 и D350. Плюсы и минусы такого сценария развития отрасли (в рамках дискуссии).
- Методы оценки свойств автоклавного газобетона. Новые параметры для оценки свойств, корректировка методик испытания.
- Техническое перевооружение предприятий по производству автоклавного газобетона. Внедрение эффективного оборудования и технологий.
- Оптимизация технологии производства автоклавного газобетона. Исследование процессов, происходящих при производстве АГБ.
- Информационные технологии в поддержку производства автоклавного газобетона.
- Применение автоклавного газобетона в современном строительстве.

Оргкомитет конференции: +7-904-634-3888, e-mail: as@gazo-beton.org, контактное лицо – Анастасия Смирнова

Р.А. ПЛАТОВА¹, канд. техн. наук (decolor@hotbox.ru), Ю.Т. ПЛАТОВ¹, д-р техн. наук;
Т.М. АРГЫНБАЕВ², генеральный директор, З.В. СТАФЕЕВА², зам. директора по производству

¹ Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова (117997, г. Москва, Стремянный пер., 36)

² ООО «Пласт-Рифей» (457020, Челябинская обл., г. Пласт, Магнитогорский тракт, 1)

Белый метакаолин: факторы, влияющие на окраску, и методы оценки

Приведены результаты цветовых характеристик белого метакаолина ООО «Пласт-Рифей», измеренные в соответствии с рекомендациями Международной комиссии по освещению (МКО (CIE)). Белый метакаолин имеет одновременно высокие значения светлоты и цветности, соответствующие желтовато-красному тону. Светлота метакаолина определяется содержанием каолинита в составе каолина, дисперсностью частиц и температурой термообработки. Показано, что содержание оксидов железа является значимым фактором, определяющим значения индекса белизны W_{ISO} , но не доминирующим. Установлено, что, чем больше пуццолановая активность метакаолина в диапазоне температуры термообработки от 600 до 950°C, тем больше значения красноты a^* CIEL*a*b*. Приведена градация метакаолина по индексу белизны W_{ISO} и цветовым характеристикам CIEL*a*b*; данные рекомендованы для включения в нормативный документ.

Ключевые слова: каолин, метакаолин, белизна, координаты цвета, пуццолановая активность.

R.A. PLATOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering)(decolor@hotbox.ru), Yu.T. PLATOV¹, Doctor of Sciences (Engineering),

T.M. ARGYNBAEV², General Director, Z.V. STAFEEVA², Deputy Director for production

¹ Plekhanov Russian University of Economics (36, Stremyanny Passage, 117997, Moscow, Russian Federation)36, per. 36, Moscow, 117997, Russia

² ООО «Plast Rifej» (1, Magnitogorsky Tract, Plast, 457020, Chelyabinskay Oblast, Russian Federation)

White Metakaolin: Factors Influencing on Coloring and Evaluating Methods

Results of color characteristics of the white metakaolin of ZAO «Plast Rifej» measured according to recommendations of the International Commission on Illumination (Commission Internationale de l'Éclairage, CIE) are presented. White metakaolin has high values of chromaticity and lightness corresponding to yellowish-red tone simultaneously. The lightness of metakaolin is determined by the content of kaolinite in the kaolin composition, dispersion of particles, and temperature of thermal treatment. It is shown that the content of iron oxides is a significant factor which determines the value of whiteness index W_{ISO} , but it is not dominating. It is established that the higher pozzolanic activity of metakaolin within the temperature range of 600–950°C, the higher values of redness a^* CIEL*a*b*. The gradation of metakaolin according to the whiteness index and color characteristics CIEL*a*b*. is presented, the data are recommended to include in the normative document.

Keywords: kaolin, metakaolin, whiteness, coordinates of color, pozzolanic activity.

Реализация концепции современного дизайна фасадов зданий и интерьеров помещений обуславливает необходимость применения декоративных строительных материалов. Одним из таких материалов является белый метакаолин — пуццолановая добавка, которая классифицируется как новое поколение дополнительных цементных материалов [1]. Метакаолин используется как пуццолановая добавка при производстве сухих строительных смесей, искусственного камня, бетона и минеральных пигментов. Белый метакаолин дает более широкие возможности для окрашивания цементных материалов в заданный цвет, чем обычный серо-желтый метакаолин [2]. Белый метакаолин в большом объеме импортируется из стран ближнего и дальнего зарубежья (Украина, Индия, Китай, Франция и др.). В России на предприятии ООО «Пласт-Рифей» освоен выпуск белого метакаолина, основным сырьевым источником для производства которого является каолин месторождения Журавлиный Лог (Челябинская обл.), не уступающего по основным технологическим характеристикам зарубежным импортным аналогам.

Актуальной проблемой является как получение белого метакаолина, так и выбор метода оценки его белизны. Пригодность каолина как основного материала для получения белого метакаолина определяется, с одной стороны, химико-минералогическим составом, дисперсностью частиц, содержанием и степенью упорядоченности структуры каолинита [3, 4], а с другой — условиями термообработки каолина [4, 5], свойствами метакаолина, включая пуццолановую активность [3, 4, 6], и цветовыми характеристиками [7]. На белизну метакаолина основное положительное влияние оказывает содержание в исходном каолине минерала каолинита [4, 7, 8], а отрицательное — содержание железа [8].

Восприятие белизны зависит не только от общего

количества отраженного света, но и от его спектрального состава. Единой связи между воспринимаемой белизной и колориметрическими характеристиками материала вообще не существует [9]. Поэтому очевидно, что при оценке белизны должны учитываться цветовые характеристики метакаолина и базироваться на цветовых измерениях.

Для оценки каолина и метакаолина используют показатель белизны (ГОСТ 16680 «Каолин обогащенный. Метод определения белизны») и желтизны (ГОСТ 26066 «Каолин обогащенный. Метод определения желтизны»), значения которых определяют по коэффициентам спектра отражения, равным 457 и 612 нм. Для сортировки каолина и метакаолина значения этих показателей спектра отражения вполне достаточно, но для объяснения природы окраски метакаолина, ее прогнозирования и корректировки технологических параметров производства недостаточно. Кроме того, оценка белизны и желтизны этими методами не соответствует последним рекомендациям Международной комиссии по освещению (МКО (CIE)) [9]. CIE рекомендует колориметрическую систему CIEL*a*b* для оценки окраски и индексы белизны W_{ISO} и желтизны Y_I , и действительно, это наиболее часто используемые индексы [7–9].

Целью настоящей работы стало изучение основных факторов, влияющих на окраску белого метакаолина, взаимосвязи пуццолановой активности метакаолина с колористическими характеристиками и градация метакаолина по белизне.

Материалы и методы исследования

Метакаолин получен из каолина месторождения Журавлиный Лог (Челябинская обл.), который отобран с разных участков. Каолин-сырец обогащен сухим способом по технологии ООО «Пласт Рифей» с выделением

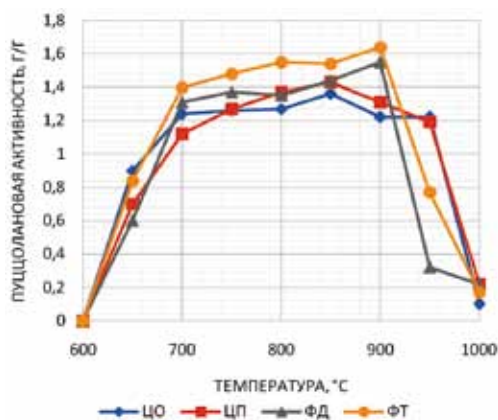


Рис. 1. Изменение пуццолановой активности (по Шапеллю) метакАОлина в зависимости от температуры термообработки каолина

четырёх фракций: ЦО – фракция каолина с циклона основного, ЦП – фракция каолина с циклона перечистного, ФД – фракция каолина с фильтра дымового, ФТ – фракция каолина с фильтра технологического. Содержание Fe₂O₃ в составе фракций каолина (мас. %): ЦО – 0,33; ЦП – 0,37; ФД – 0,34; ФТ – 0,43, а каолинита – от 92 до 98 мас.%. Пробы каолина всех фракций были термообработаны в широком диапазоне температуры (600–950°C) с шагом в 50°C.

Для изучения влияния железа на окраску метакАОлина были отобраны производственные пробы каолина ООО «Пласт-Рифей» разных сортов (содержание Fe₂O₃ 0,33–1,82 мас. %) и термообработаны при температуре 900°C.

Для оценки эффективности пуццолановой активности метакАОлина определены значения следующих показателей [4]:

- пуццолановая активность по тесту Шапелля, (ПА, г/г);
- общая кислотная растворимость (ОКР, %), определена по растворению метакАОлина в соляной кислоте;
- потеря массы при прокаливании (ППП, %) путем определения изменения массы исследуемого образца после термической обработки по сравнению с исходной величиной.

Измерения спектра отражения проведены на спектроколориметре «Пульсар» с соблюдением следующих стандартных условий: измерение/наблюдение d/8° (CIE 15.3 – 2004 Colorimetry), источник света – С (ISO 11664 – 2:2008 (CIE S 2/E-2006)), наблюдатель – CIE 1931 (ISO 11664 – 1:2008 (CIE S 014 – 1/E-2006)).

Оценка цветовых характеристик и белизны метакАОлина. Цветовые характеристики представлены в системе CIE L*a*b* (ISO 11664–4:2008 (CIE S 014-4/E-2007)), где L* – светлота, a* – (+a) красно- (-a) зеленая ось; b* – (+b) желто-(-b) синяя ось; h* – цветовой тон (0 – красный; h*=90° – желтый); S – насыщенность.

Индекс белизны W_{ISO} рассчитывали по формуле [9]:
 $W_{ISO} = Y_n + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y)$,
 где Y – значение яркости в системе CIE 1931 образца;

x, y – координаты цветности образца;
 x_n, y_n – координаты цветности для идеального отражающего рассеивателя при источнике света С и наблюдатель 2°.

Индекс белизны W_{ISO} указывает на то, что белизна определяется яркостью Y и цветностью 800(x_n – x) + 1700(y_n – y), значения которых увеличивают белизну по мере смещения цветности материала к синему тону и снижают, когда цветовой тон смещается в желтую область.

К белому относят материал со значениями индекса белизны W_{ISO} > 40.

Для инструментальной количественной оценки жел-

тизны использовали индекс желтизны (ASTM E 313-2000):

$$Y_I = \frac{1,28X - 1,06Z}{Y} \cdot 100,$$

где X, Y, Z – цветовые координаты образца в системе CIE 1931.

По этой формуле, чем выше Y_I > 0, тем больше желтизна, при Y_I = 0 материал имеет ахроматическую окраску (белую, серую), а если Y_I < 0, то материал имеет голубоватый оттенок.

Многомерный статистический анализ данных (МСАД) проведен с использованием из пакета «STATISTICA.6» следующих программ: метод главных компонент (ГК); иерархический агломеративный кластер-анализ (метод «полных связей», евклидово расстояние между объектами) (КА); дискриминантный анализ (ДА).

Пуццолановая активность метакАОлина по связыванию гидроксида кальция является важным показателем в определении качества. Режим термической обработки каолина оказывает существенное влияние на пуццолановую активность метакАОлина и его окраску (рис. 1, 2). Оптимальной областью получения метакАОлина в некоторых литературных источниках считается диапазон температуры термообработки 600–900°C [5]. Низкая температура термообработки каолина приводит к неполной его дегидратации, а высокая – к образованию расплава и стекловидной фазы после охлаждения. В обоих случаях может наблюдаться резкое снижение пуццолановой активности метакАОлина как минеральной добавки для составов цементных вяжущих. По общей кислотной растворимости (ОКР) и пуццолановой активности (ПА) метакАОлина определен оптимальный диапазон температуры для разных фракций: 750–950°C – для фракций ЦО и ЦП; 750–900°C – для фракций ФД; 700–900°C – для фракций ФТ [4].

Многомерная статистическая модель взаимосвязи пуццолановой активности с колористическими характеристиками от температуры термообработки метакАОлина. Для построения однородных групп метакАОлина по значениям показателей окраски и пуццолановой активности использован кластерный анализ. В результате выделено несколько кластеров объектов. Наибольший интерес представляет кластер объектов, которые объединяют пробы метакАОлина, полученного из разных фракций каолина после их термообработки в диапазоне температуры: 750–950°C – для фракций ЦО и ЦП; 750–900°C – для фракций ФД; 700–900°C – для фракций ФТ. Эти группы проб метакАОлина, с одной стороны, соответствуют метакАОлину с максимальными значениями пуццолановой активности, а с другой – с максимальными значениями красноты a*.

Для построения модели взаимосвязи пуццолановой активности метакАОлина с его колористическими характеристиками от температуры его термообработки использован метод главных компонент. Установлено, что первая (Фактор 1) и вторая (Фактор 2) главные компоненты описывают 83,2% от общей дисперсии (рис. 3). Первая главная компонента описывает 54,1% от общей дисперсии и согласно факторным нагрузкам: f(ОКР)=0,91; f(ПА)=0,85; f(a*)=0,88 и f(ППП)=-0,85 интерпретирует следующим образом: чем больше пуццолановая активность метакАОлина ПА и ОКР, тем больше краснота a* и ППП. Вторая главная компонента объясняет 29,1% от общей дисперсии и согласно факторным нагрузкам f(b*)=0,84; f(L*)=-0,84, объясняет различие по окраске: чем больше желтизна, тем меньше светлота. Но эти колористические показатели светлота L* и желтизна b* статистически не связаны с пуццолановой активностью.

стью метакаолина. Следовательно, только по оси первой главной компоненты пробы метакаолина распределяются по их пуццолановой активности и координате цветности – красноте a^* .

Таким образом, изучена взаимосвязь между колористическими характеристиками, пуццолановой активностью метакаолина от температуры термообработки и сделан вывод, что по значениям красноты a^* в системе $CIE L^*a^*b^*$ можно определить оптимальный диапазон термообработки метакаолина.

Изменение белизны метакаолина от содержания железа в каолине. Проанализированы значения колористических характеристик 92 проб метакаолина, полученного из каолина с содержанием Fe_2O_3 0,33–1,82 мас. % и термообработанных в диапазоне температур от 600 до 950°C. Результаты измерения индекса белизны W_{ISO} метакаолина показывают, что содержание Fe_2O_3 является значимым, но не доминирующим фактором: в зависимости от температуры могут формироваться разные формы соединений железа (рис. 4). Например, белизна метакаолина с примерно равным содержанием в исходном каолине $Fe_2O_3 \sim 0,8$ мас. % имеет диапазон значений индекса белизны W_{ISO} от 10 до 58.

Индекс белизны метакаолина со значением $W_{ISO} > 40$ можно получить при содержании Fe_2O_3 в исходном каолине не более 0,6 мас. % при температуре термообработки от 600 до 950°C.

Метакаолин, который можно отнести к белому $W_{ISO} > 40$, имеет очень широкий диапазон значений по светлоте L^* и цветности: красноте a^* и желтизне b^* .

Сравнение проб метакаолина после термообработки при 900°C показало, что при увеличении в составе исходного каолина содержания Fe_2O_3 (от 0,43 до 0,88 мас. %) и каолинита (от 87 до 91 мас. %) постепенно снижается светлота L^* (с 94,8 до 91), повышается насыщенность S окраски (от 4,3 до 10,5) с изменением цветового тона h^* с желтого до желтовато-красного (с 93° до 73°). При повышении насыщенности ($\Delta S=6,2$) и снижении светлоты ($\Delta L=3,8$) уменьшается индекс белизны метакаолина W_{ISO} с 67 до 28.

При анализе светлоты L^* метакаолина необходимо учитывать особенности гранулометрического состава исходного каолина месторождения Журавлиный Лог и степень упорядоченности структуры каолинита: каолин состоит из смеси агрегатов кристаллов каолинита разных размеров, вплоть до супердисперсных с низкой степенью упорядоченности. Светлота L^* метакаолина в первую очередь определяется не размерами агрегатов каолина, а дисперсностью частиц каолинита: чем выше дисперсность частиц каолинита, тем выше светлота метакаолина. Светлота L^* метакаолина после термообработки при 900°C каолина фракции ЦО и ФТ ($Fe_2O_3 \sim 0,33$ мас. %) имеет очень высокие значения: 98,1 и 98,8 соответственно, при высоком содержании каолинита (95 и 98%) и низких значениях индекса кристалличности каолинита (0,8 и 0,73 по Хинкли).

Следовательно, метакаолин из каолина месторождения Журавлиный Лог, отличающийся высокой дисперсностью частиц и низкой степенью упорядоченности структуры каолинита, имеет сравнительно высокие значения светлоты, и соответственно этот фактор значимо определяет его белизну.

Изменение цветовых характеристик метакаолина от температуры термообработки. Индекс белизны W_{ISO} всех четырех фракций метакаолина (ЦО, ЦП, ФД и ФТ) после термообработки каолина (Fe_2O_3 от 0,33 до 0,43 мас. %) в диапазоне температуры от 600 до 950°C возрастает с 55 до 80,6.

Индекс белизны W_{ISO} метакаолина снижается после термообработки при температуре 600°C и повышается после 900°C против белизны исходного каолина.

Желтизна YI этих же образцов метакаолина или не-

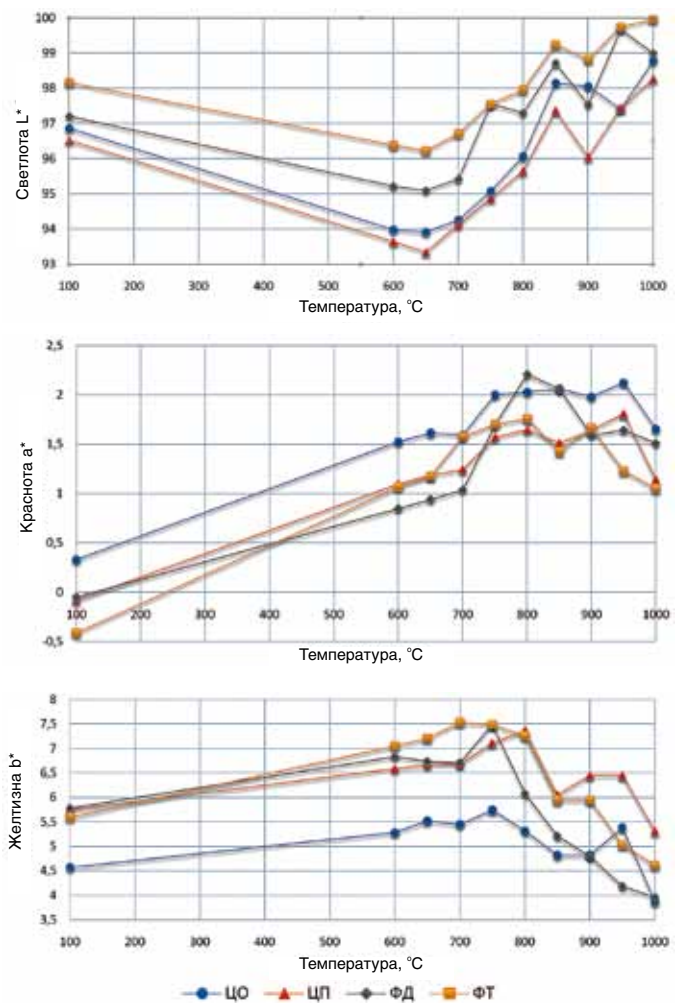


Рис. 2. Изменение цветовых характеристик $CIE L^*a^*b^*$ метакаолина в зависимости от температуры термообработки: L^* – светлота; a^* – краснота; b^* – желтизна

значительно изменяется ($\Delta YI \sim 1-2\%$) для фракций ЦО и ЦП, или незначительно снижается ($\Delta YI \sim 2-2,5\%$) для фракций ФД и ФТ по сравнению с желтизной исходного каолина.

Краснота a^* (в системе $CIE L^*a^*b^*$) метакаолина имеет максимальные значения в широком диапазоне температуры: 750–950°C с максимумом при 950°C для фракций ЦО и ЦП; 750–900°C с максимумом при 800°C для фракций ФД и ФТ (рис. 2). Желтизна b^* $CIE L^*a^*b^*$ метакаолина после термообработки в диапазоне от 600 до 800°C незначительно повышается, а после термообработки при более высокой температуре снижается (рис. 2). Светлота L^* (в системе $CIE L^*a^*b^*$) метакаолина увеличивается после термообработки в диапазоне температуры 600–950°C (рис. 2).

Метакаолин при низком содержании железа воспринимается как белый порошок с красновато-желтоватым оттенком. Повышение красноты a^* и желтизны b^* в системе $CIE L^*a^*b^*$ как процесс кристаллизации гематита и увеличения поглощения света должно приводить к снижению светлоты L^* (диффузное отражение света от поверхности), что не совпадает с вышеуказанными результатами оценки окраски метакаолина, когда одновременно повышаются цветность (краснота a^* и желтизна b^*) и светлота L^* метакаолина. Это можно объяснить сложным механизмом формирования окраски метакаолина, который включает два параллельных процесса при термической обработке. *Первый процесс* – это превращение метакаолинита. В широком диапазоне

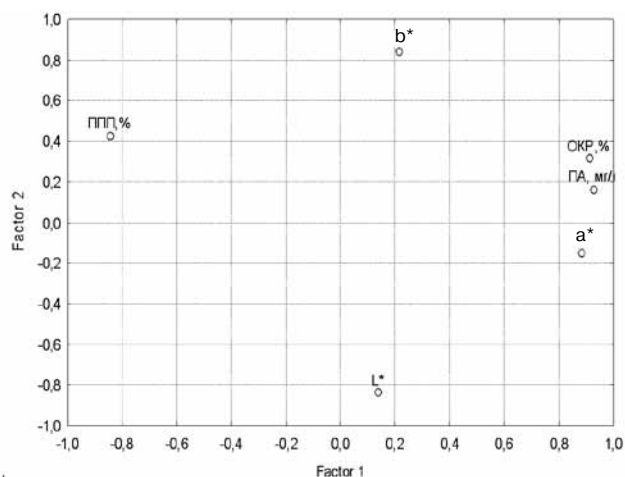


Рис. 3. Расположение точек пуццолановой активности и колористических характеристик $L^*a^*b^*$ множества проб метакаолина, в координатах двух главных компонент: Фактор 1 – ось первой главной компоненты; Фактор 2 – ось второй главной компоненты; ПА – пуццолановая активность; ОКР – общая кислотная растворимость; ППП – потери при прокаливании

температуры термообработки каолина, в зависимости от дисперсности, степени упорядоченности каолинита и удельной поверхности частиц, выявлен ряд этапов преобразования метакаолинита: сегрегация метакаолинита с выделением аморфного кремнезема, формирования предшественников высокотемпературных фаз (кристаллита и муллита) [4, 5, 8]. Повышение температуры при термообработке способствует как уменьшению размера частиц метакаолина, так и увеличению среднего размера агрегатов за счет «цементирующего» материала в виде супердисперсных частиц, а также изменению фактуры поверхности крупных частиц: мелкие супердисперсные частицы покрывают поверхность крупных. Изменение фактуры частиц и соединение краев частиц в агрегаты после термообработки метакаолина описаны [8]. Когда частица меньше длины световой волны ($\lambda < 0,7$ мкм), имеет место специфическое рассеяние или дифракция, называемое релеевским рассеянием. Повышение светлоты метакаолина объясняется двумя факторами: во-первых, по мере увеличения объема супердисперсных частиц повышается интенсивность светорассеяния, они играют роль новых источников света, и, во-вторых, рассеяние света растет с уменьшением длины волны, т. е. увеличивается доля в сине-голубой части спектра света. Итак, за счет увеличения интенсивности светорассеяния частиц повышаются значения коэффициентов спектра отражения и соответственно светлота L^* метакаолина, что значительно компенсирует ее снижение за счет повышения красноты a^* и желтизны b^* . Поэтому метакаолин из разных фракций каолина с низким содержанием $Fe_2O_3 \sim 0,3-0,4$ мас. % после его термообработки при $900^\circ C$ имеет большие значения светлоты L^* (от 96,1 (ЦП) до 98,8 (ФТ)) при средних значениях насыщенности S (от 5,0 (ЦО и ФД) до 6,7 (ЦП и ФТ)).

Второй процесс – превращение железа в составе метакаолина [10]. После термообработки метакаолина в диапазоне температуры $600-750^\circ C$ (область дегидроксилирования каолинита) происходит повышение желтизны b^* и красноты a^* . Изменение цветности a^* и b^* объясняется увеличением доли структурного железа ($Fe_2-xAl_xO_3$), которое постепенно с повышением температуры выделяется при сегрегации метакаолинита и превращается в Fe_2O_3 (гематит) [10]. После термообработки ме-

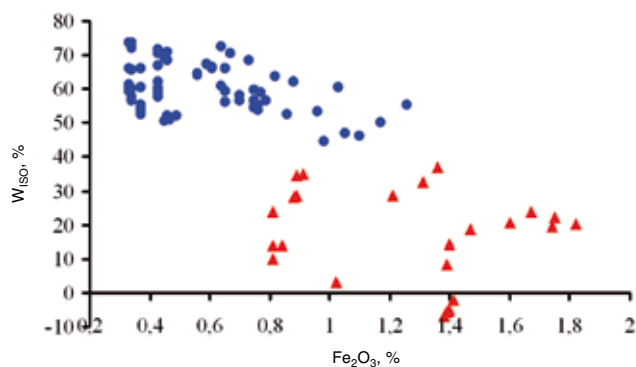


Рис. 4. Изменение белизны W_{ISO} метакаолина от содержания оксидов железа в составе исходного каолина: ● – белый метакаолина $W_{ISO} > 40$ ▲ – не белый метакаолин $W_{ISO} < 40$

такаолина в диапазоне $750-950^\circ C$ отмечен максимум значений красноты a^* . По данным мессбуэровской спектроскопии в этой области наблюдается максимальное содержание и упорядоченность гематита [10, 11]. Повышение степени окристаллизованности гематита сопровождается изменением цветности: повышается краснота a^* против желтизны b^* . В зависимости от содержания Fe_2O_3 , степени окристаллизованности, диаметра кристаллов гематита и их агрегации меняется цветовой тон h^* метакаолина. Цветовой тон h^* метакаолина после термообработки от 600 до $950^\circ C$ изменяется от 83° (красновато-желтого) до 68° (желтовато-красного). Гематит среди всех гидроксидов железа обладает самой сильной красящей способностью [12], но даже увеличение его доли в составе метакаолина не приводит к снижению белизны. Например, индекс белизны для метакаолина из фракций ФТ после термообработки при $600^\circ C$ имеет значение $W_{ISO} = 58,8$, а после $900^\circ C$ $W_{ISO} = 70,5$, несмотря на повышение красноты a^* (с 1 до 1,7) при содержании Fe_2O_3 0,43 мас. % в исходном каолине.

Следовательно, можно выявить следующие закономерности изменения колористических характеристик после термообработки метакаолина в диапазоне температур от 600 до $950^\circ C$:

- повышается светлота L^* при одновременном смещении цветового тона h^* в красную область (цветовой тон изменяется от $74-82^\circ$ до $67-74^\circ$);
- увеличивается краснота ($\Delta a^* \approx 0,5-1,5$), что объясняется кристаллизацией гематита, обладающего сильной красящей способностью, и что, вероятно, должно приводить к снижению светлоты L^* метакаолина;
- увеличение светлоты L^* метакаолина связано с увеличением дисперсности частиц [4] и их светорассеивающей способности, что компенсирует поглощение света гематитом;
- метакаолин с белизной $W_{ISO} > 40$ благодаря высоким значениям светлоты $L^* > 93$ по значениям цветового тона h^* CIEL*a*b* соответствует красновато-желтому или желтовато-красному тону (от 82° до 67°), поэтому одновременно имеет большие значения желтизны Y_1 (от 10 до 15%).

Градиция метакаолина по белизне. Проведена гради-

Колористические характеристики отечественного и зарубежного метакаолина

Страна происхождения метакаолина	Координаты цвета					Желтизна, Y_1 , %	Белизна, W_{ISO}
	L^*	a^*	b^*	S	h^*		
МКЖЛ, Россия	96,1	1,65	6,45	6,66	75,7	13,7	60,6
Индия	91,5	2,24	6,26	6,65	70,3	14,4	49,7
Украина	93,6	1,11	5,73	5,84	79	12,2	57,6

ция метакаолина по белизне и цветовым характеристикам в зависимости от содержания Fe_2O_3 (0,33–1,82 мас. %) в составе каолина и температуры его термообработки (600–900°C) методами МСАД. Методом главных компонент (МГК) построена статистическая модель взаимосвязи белизны W_{ISO} и цветовых характеристик $\text{CIE}L^*a^*b^*$ метакаолина от содержания Fe_2O_3 в составе каолина и температуры его термообработки.

1 и 2 ГК описывают 87% от общей дисперсии и интерпретируются согласно значениям факторных нагрузок показателей на ГК следующим образом (рис. 5):

1 ГК – вклад в общую дисперсию 60,4% – чем больше светлота $f(L^*)=-0,76$ и меньше цветность: $f(a^*)=0,93$ и $f(b^*)=0,93$, которые связаны с содержанием оксидов железа $f(\text{Fe}_2\text{O}_3)=0,64$, тем больше белизна $f(W_{\text{ISO}})=-0,96$;

2 ГК – вклад в общую дисперсию 26,6% – чем больше температура термообработки $f(T^\circ\text{C})=-0,93$ и содержание $f(\text{Fe}_2\text{O}_3)=-0,67$, тем меньше светлота $f(L^*)=0,45$, то есть при повышении температуры термообработки образуются соединения железа, вероятно гематит, которые незначительно снижают светлоту и соответственно белизну метакаолина $f(W_{\text{ISO}})=0,26$.

Следовательно, основной вклад в цветовое различие белого метакаолина вносит белизна W_{ISO} , которая положительно связана со светлотой L^* и отрицательно с цветностью (a^* и b^*), а цветность белого метакаолина определяется содержанием Fe_2O_3 и температурой его термообработки. Изменение цветности a^* и b^* от температуры термообработки (от 600 до 900°C) с образованием гематита в этой области температур не вносит основного вклада в понижение белизны метакаолина.

Методом кластер-анализа выделено несколько кластеров:

1 и 2 кластеры объединяют пробы метакаолина – очень белые с белизной $W_{\text{ISO}} > 60$, различающиеся по условиям получения (1 кластер $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,6$ мас. % при термообработке 800–850°C; 2 кластер $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,80$ мас. % при 900°C);

3 и 4 кластеры – белые с белизной $40 < W_{\text{ISO}} < 60$ (3 кластер $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,5$ мас. % при 600–750°C; 4 кластер $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,8$ мас. % при 800–900°C);

5 кластер – небелые (серые) $20 < W_{\text{ISO}} < 40$ ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 0,9$ мас. % при 900°C);

6 кластер – окрашенные – $W_{\text{ISO}} < 20$ ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 1$ мас. % при 900°C).

Следовательно, пробы метакаолина по белизне можно разделить на 4 категории качества: очень белый ($W_{\text{ISO}} > 60$); белые ($40 < W_{\text{ISO}} < 60$); светло-серые ($20 < W_{\text{ISO}} < 40$) и окрашенные ($W_{\text{ISO}} < 20$).

Проведена проверка градации метакаолина по белизне на четыре категории качества методом дискриминантного анализа. Градация метакаолина по белизне на четыре категории статистически значима, согласно F-статистике=28,1, на уровне $p < 0,0000$.

Первая дискриминантная функция, соответствующая 97% от общей дискриминантной способности, положительно тесно связана с белизной W_{ISO} ($\varphi=0,86$), слабо со светлотой L^* ($\varphi=0,32$) и отрицательно слабо с цветностью a^* и b^* ($\varphi=-0,34$ и $\varphi=-0,6$ соответственно) и содержанием оксидов железа ($\varphi=-0,31$).

Вторая дискриминантная функция – 2,8% от общей дискриминантной способности – слабо связана с краснотой a^* ($\varphi=-0,62$) и температурой термообработки метакаолина T ($\varphi=-0,31$).

Следовательно, основной вклад в цветовое различие метакаолина вносит белизна W_{ISO} , а цветовые характеристики $\text{CIE}L^*a^*b^*$, содержание Fe_2O_3 и температура термообработки метакаолина вносят вклад, но не являются доминирующими показателями для градации метакаолина.

Таким образом показатель индекса белизны W_{ISO}

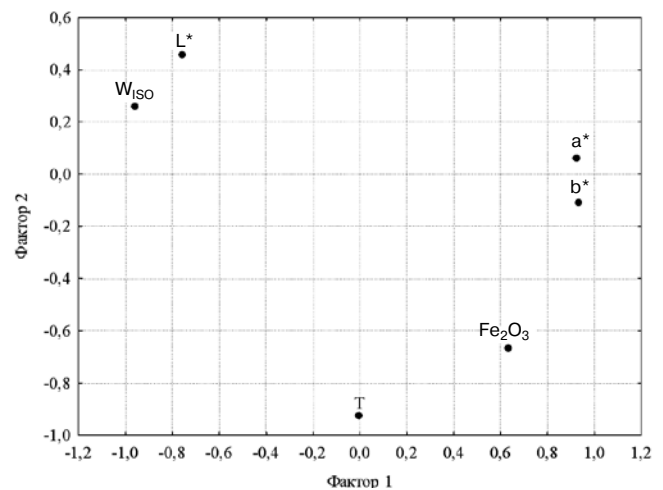


Рис. 5. Расположение показателей индекса белизны W_{ISO} и координат $L^*a^*b^*$ окраски метакаолина в зависимости от содержания Fe_2O_3 в составе каолина и температуры (T) его термообработки в координатах главных компонент: Фактор 1 – ось первой главной компоненты; Фактор 2 – ось второй главной компоненты; W_{ISO} – индекс белизны; L^* – светлота; a^* – краснота; b^* – желтизна

можно использовать для градации метакаолина по категориям качества, а цветовые характеристики $\text{CIE}L^*a^*b^*$ для объяснения природы окраски и корректировки технологических условий производства белого метакаолина при изменении содержания Fe_2O_3 и температуры его термообработки.

Конкурентное преимущество метакаолина как пуццолановой добавки для белых сухих строительных смесей.

При определении конкурентного преимущества метакаолина из каолина месторождения Журавлиный Лог по сравнению с импортными аналогами (Индия, Украина) было выявлено (см. таблицу), что помимо высокой пуццолановой активности [4] белизна W_{ISO} метакаолина превосходит импортные аналоги ($W_{\text{ISO}} > 55$ метакаолина из каолина месторождения Журавлиный Лог против $W_{\text{ISO}} 49–58$ у импортных образцов).

Согласно международным рекомендациям (CIE 15:2004: Technical Report: colorimetry) метакаолин относится к белому ($W_{\text{ISO}} > 40$). В соответствии с нормами ТУ 5729-097-12615988–2013 (ООО «Пласт-Рифей») метакаолина МКЖЛ (Россия) и из Украины относятся к I сорту (индекс МКЖЛ при $W_{\text{ISO}} > 55$), а проба метакаолина из Индии с белизной $W_{\text{ISO}}=49,9$ – к III сорту ($W_{\text{ISO}} < 50$).

Высокие значения белизны W_{ISO} метакаолина, выпускаемого на ЗАО «Пласт-Рифей», несмотря на высокие значения красноты $a^* \sim 1,65$ и желтизны $b^* \sim 6,45$, соответственно желтизны $Y1 \sim 13,7$, определяются высокими значениями светлоты $L^* > 96$. Светлота L^* метакаолина определяется не гранулометрическим составом исходного каолина (по размеру агрегатов частиц каолинита), а дисперсностью частиц каолинита. Большая доля мелких и супердисперсных частиц в составе каолина Журавлиный Лог обеспечивает после термообработки эффект светорассеяния, что и определяет светлоту L^* метакаолина.

Таким образом, при сравнении колористических характеристик установлено, что метакаолин, полученный из каолина месторождения Журавлиный Лог, обладает большей белизной и пуццолановой активностью, что является конкурентным преимуществом по сравнению с импортными аналогами. Высокая белизна метакаолина позволяет использовать его в составе белых сухих строительных смесей, искусственного камня и бетона с заданными колористическими характеристиками. Белые сухие строительные смеси, в свою очередь, явля-

ются основой для получения строительных материалов с заданными цветовыми характеристиками.

Заключение. Проанализированы значения цветовых характеристик 92 проб метакеолина, полученного из каолина месторождения Журавлиный Лог, с содержанием Fe_2O_3 0,33–1,82 мас. %, термообработанных в широком диапазоне температуры.

Показано, что содержание Fe_2O_3 является значимым, но не доминирующим фактором, влияющим на окраску метакеолина. Белый метакеолин $W_{ISO} > 40$ можно получить при соблюдении ряда требований:

- из каолина с содержанием $Fe_2O_3 < 0,6$ мас. % в широком диапазоне температуры термообработки каолина;
- при содержании Fe_2O_3 0,6–1 мас. % и каолинита, не менее 88 мас. % в составе каолина после термообработки при $\sim 900^\circ C$.

Метакеолин с белизной $W_{ISO} > 40$ характеризуется значениями светлоты не менее $L^* > 90$, а по цветности (a^* и b^*) соответствует желтовато-красному тону h^* ($67-82^\circ$). Формирование окраски метакеолина связано с дву-

мя параллельными процессами при термической обработке: превращением метакеолинита и соединений железа, что обуславливает повышение светлоты L^* и красноты a^* метакеолина.

Индекс белизны рекомендован для градации метакеолина по категориям качества и включен в стандарт организации ООО «Пласт Рифей», а цветовые характеристики используются для корректировки технологических условий производства белого метакеолина.

Методом многомерного статистического анализа установлено, что после термической обработки каолина в широком диапазоне температур ($600-950^\circ C$) максимальные значения пуццолановой активности соответствуют максимальным значениям красноты a^* CIE $L^*a^*b^*$ метакеолина. Колористические характеристики можно использовать как экспресс-метод для контроля технологического режима при производстве метакеолина с высокой пуццолановой активностью.

Список литературы

1. Snellings R., Mertens G., Elsen J. Supplementary Cementitious Materials // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2012. V. 74. P. 211–278.
2. Дугуев С.В., Иванов В.Б. Новые направления в окрашивании материалов на основе цемента // *Строительные материалы*. 2002. № 9. С. 20–22.
3. Tironi A., Trezza M., Scian A., Irassar E. Kaolinitic calcined clays: Factors affecting its performance as pozzolans // *Construction and Building Materials*. 2012. V. 28. № 1. P. 276–281.
4. Платова Р.А., Аргынбаев Т.М., Стафеева З.В. Влияние дисперсности каолина месторождения Журавлиный Лог на пуццолановую активность метакеолина // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 75–80.
5. Wang M., Guo N., He P., Yu J. Formation mechanism and its pozzolanic activity of metakaolin // *Key Engineering Materials*. 2014. V. 602–603. P. 620–623.
6. Tironi A., Trezza M., Scian A., Irassar E. Assessment of pozzolanic activity of different calcined clays // *Cement and Concrete Composites*. 2013. V. 37. P. 319–327.
7. Bouzidi N., Siham A., Concha-Lozano N., Gaudon P., etc. Effect of chemico-mineralogical composition on color of natural and calcined kaolins // *Color Research & Application*. 2014. V. 39. № 5. P. 499–505.
8. Gamiz E., Melgoza M., Sanchez-Maranon M., Martin-Garcia J.M., Delgado R. Relationships between chemico-mineralogical composition and color properties in selected natural and calcined Spanish kaolins // *Applied Clay Science*. 2005. V. 28. № 1–4. P. 269–282.
9. Платова Р.А., Платов Ю.Т. Инструментальная спецификация цветовых характеристик строительных материалов // *Строительные материалы*. 2013. № 4. С. 66–72.
10. Castelein O., Aldon L., Olivier-Fourcade J. etc. 57Fe Mossbauer study of iron distribution in a kaolin raw material: influence of the temperature and the heating rate // *Journal of the European Ceramic Society*. 2002. V. 22. № 11. P. 1767–1773.
11. Valanciene V., Siauciunas R., Baltusnikaite J. The influence of mineralogical composition on the colour of clay body // *Journal of the European Ceramic Society*. 2010. V. 30. № 7. P. 1609–1617.
12. Scheinost A.C., Schwertmann U. Color Identification of Iron Oxides and Hydroxysulfates // *Soil Science Society of America Journal*. 1999. V. 63. № 5. P. 1463–1471.

References

1. Snellings R., Mertens G., Elsen J. Supplementary Cementitious Materials. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. Vol. 74, pp. 211–278.
2. Duguev S.V., Ivanov V.B. New directions in painting materials based on cement. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2002. No. 9, pp. 20–22. (In Russian).
3. Tironi A., Trezza M., Scian A., Irassar E. Kaolinitic calcined clays: Factors affecting its performance as pozzolans. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 28. No. 1, pp. 276–281.
4. Platova R.A., Argynbaev T.M., Stafeeva Z.V. Influence of Dispersion of Kaolin from Zhuravliny Log Deposit on Pozzolan Activity of Metakaolin. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2012. No. 2, pp. 75–80. (In Russian).
5. Wang M., Guo N., He P., Yu J. Formation mechanism and its pozzolanic activity of metakaolin. *Key Engineering Materials*. 2014. Vol. 602–603, pp. 620–623.
6. Tironi A., Trezza M., Scian A., Irassar E. Assessment of pozzolanic activity of different calcined clays. *Cement and Concrete Composites*. 2013. Vol. 37. pp. 319–327.
7. Bouzidi N., Siham A., Concha-Lozano N., Gaudon P., etc. Effect of chemico-mineralogical composition on color of natural and calcined kaolins. *Color Research & Application*. 2014. Vol. 39. No. 5, pp. 499–505.
8. Gamiz E., Melgoza M., Sanchez-Maranon M., Martin-Garcia J.M., Delgado R. Relationships between chemico-mineralogical composition and color properties in selected natural and calcined Spanish kaolins. *Applied Clay Science*. 2005. Vol. 28. No. 1–4, pp. 269–282.
9. Platova R.A., Platov Yu.T. Instrumental Specification of Colour Characteristic of Building Materials. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2013. No. 4, pp. 66–72. (In Russian).
10. Castelein O., Aldon L., Olivier-Fourcade J. etc. 57Fe Mossbauer study of iron distribution in a kaolin raw material: influence of the temperature and the heating rate. *Journal of the European Ceramic Society*. 2002. Vol. 22. No. 11, pp. 1767–1773.
11. Valanciene V., Siauciunas R., Baltusnikaite J. The influence of mineralogical composition on the colour of clay body. *Journal of the European Ceramic Society*. 2010. Vol. 30. No. 7, pp. 1609–1617.
12. Scheinost A.C., Schwertmann U. Color Identification of Iron Oxides and Hydroxysulfates. *Soil Science Society of America Journal*. 1999. Vol. 63. No. 5, pp. 1463–1471.

УДК 678.047

С.В. ДУГУЕВ (info@bspigment.ru), канд. техн. наук,
 В.Б. ИВАНОВА, канд. техн. наук, К.Ж. САТВАЛДИНОВ, технолог
 ООО «Би.Эл.Спектр» (142102, Москва, Рязановское поселение, пос. Ерино, 10)

Практические аспекты импортозамещения пигментирующих материалов в строительной отрасли России

В создавшейся экономической ситуации нет необходимости и смысла отказываться от зарубежных технологий, но стремление к снижению зависимости от импорта в целом и должно быть одним из поводов для внедрения инновационных разработок. Конец 2014-го и начало 2015 г. ознаменовались наступлением очередного экономического кризиса и ростом цен, в том числе на пигменты как импортного, так и отечественного производства. ООО «Би.Эл.Спектр» производит и поставляет на российский рынок пигменты собственной разработки (**БЭС-пигмент**) с 2004 г. Данный вид пигментов относится к тонкодисперсным порошкообразным композиционным материалам, получаемым с использованием технологии твердофазного синтеза. Суть технологии состоит в том, что с помощью метода механохимической обработки на частицу оптически нейтрального дешевого наполнителя, например микрокальцита, размером в несколько мкм наносится слой красящего вещества (органического или минерального пигмента). В результате вся система приобретает свойства и характеристики самого пигмента. Комбинацией нескольких пигментов можно получать порошки самых разных цветов и оттенков. Так как масса дешевого наполнителя в композиции составляет более 80%, стоимость получаемого синтетического пигмента значительно ниже его аналогов.

Ключевые слова: механохимическая активация, композиционные пигменты, твердофазный синтез, сухие пигментированные суспензии.

S.V. DUGUEV, Candidate of Sciences (Engineering) (info@bspigment.ru),
 V.B. IVANOVA, Candidate of Sciences (Engineering), K.Zh. SATVALDINOV, Technologist
 ООО «Bi. El.Spectr» (10, Erino Village, Ryazanovskoye Settlement, 142102, Moscow, Russian Federation)

Practical Aspects of Import Substitution of Pigmenting Materials in Building Industry of Russia

In the current economic situation there is no need and reason to reject foreign technologies, but the desire to reduce dependence on the import in general should be one of the reasons to introduce innovative developments. The end of 2014 and beginning of 2015 were marked by the onset of another crisis and increase in prices including for pigments both of import and domestic manufacture. ООО «Bi. El. Spectr» produces and supplies to the Russian market pigments of its own development (BES-pigment) since 2004. This type of pigments relates to fine-disperse powder composite materials produced with the use of the technology of solid-state synthesis. The essence of this technology is that a layer of coloring agent (organic or mineral pigment) is applied on the particle of optically neutral cheap filler (micro-calcite, for example) of a few mcm size with the help of mechanical-chemical treatment. As a result, the whole system acquires the properties and characteristics of the pigment. A combination of several pigments makes it possible to produce powders of various colors and shades. Since the mass of cheap filler is over 80% in the composition, the cost of the synthetic pigment obtained is substantially lower than its analogs.

Keywords: mechanical-chemical activation, composite pigments, solid-state synthesis, dry pigmented suspensions.

Вопрос импортозамещения в Российской Федерации вызван жизненной необходимостью и обстоятельствами, в которых оказалась отечественная экономика. Ввиду того что зарубежные технологии во многих отраслях опережают аналогичные российские разработки, в страну хлынули представители фирм из Западной Европы и других стран, энергично осваивая свободное пространство практически во всех отраслях народного хозяйства. Импортные технологии, оборудование, сырье во многом вытеснили главный фактор прогресса — научное и инженерное мышление. Конечно, гораздо легче работать представителем немецкой или китайской фирмы, чем создавать производства, базирующиеся на собственных ресурсах и научно-технических разработках. Но такое интеллектуальное иждивенчество должно иметь определенные пределы. При всем огромном значении международной экономической кооперации нельзя отказываться от собственного научно-технического потенциала и игнорировать полезные и эффективные разработки, созданные в собственной стране.

На VI Форуме регионов России 8 апреля 2015 г. политики, представители общественных организаций и бизнес-сообщества обсудили вопросы развития отечественной промышленности. В частности, исполнительный директор Ассоциации инновационных регионов И.М. Бортник отметил, что согласно действиям антикризисного плана Правительства РФ структурные изменения в экономике будут происходить в большей степени при помощи инновационных технологий, так как инновационный подход является ключевым фактором роста экономики.

В создавшейся экономической ситуации нет необходимости и смысла отказываться от зарубежных технологий, но стремление к снижению зависимости от импорта в целом должно быть одним из поводов для внедрения инновационных разработок.

По мнению профессора Я.М. Миркина, зависимость от импорта по ряду ключевых позиций достигает 70–80%. Не является исключением и область пигментов — важнейших материалов, используемых строительной, лакокрасочной, полимерной, полиграфической отраслями промышленности. Доля импорта пигментов в РФ достигает 80%. При этом среднегодовой темп роста импорта составляет 17% (рис.1).

Конец 2014-го и начало 2015 г. ознаменовались наступлением очередного экономического кризиса и ростом цен, в том числе на пигменты как импортного, так и отечественного производства.

ООО «Би.Эл.Спектр» производит и поставляет на российский рынок пигменты собственной разработки

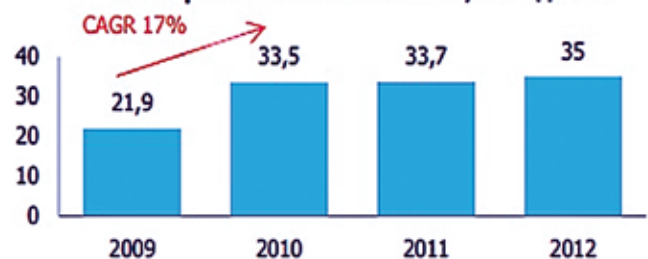


Рис. 1. Импорт пигментов в Россию, млн USD

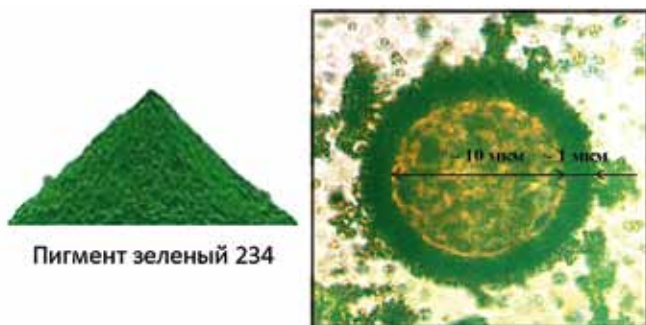


Рис. 2. Пигмент зеленый 234 БЭС. Фотография микрочастицы в проходящем свете

(БЭС-пигмент) с 2004 г. Данный вид пигментов относится к тонкодисперсным порошкообразным композиционным материалам, получаемым с использованием технологии твердофазного синтеза [1]. Суть технологии состоит в том, что с помощью метода механохимической обработки на частицу оптически нейтрального дешевого наполнителя, например микрокальцита, размером в несколько мкм наносится слой красящего вещества (органического или минерального пигмента). В результате вся система приобретает свойства и характеристики самого пигмента [2]. Комбинацией нескольких пигментов можно получать порошки самых разных цветов и оттенков. Так как масса дешевого наполнителя в композиции составляет более 80 %, стоимость получаемого синтетического пигмента значительно ниже его аналогов. Классический вид получаемой частицы композита представлен на рис. 2.

В качестве пигмента-цветоносителя можно использовать любые традиционные пигменты, имеющиеся на рын-

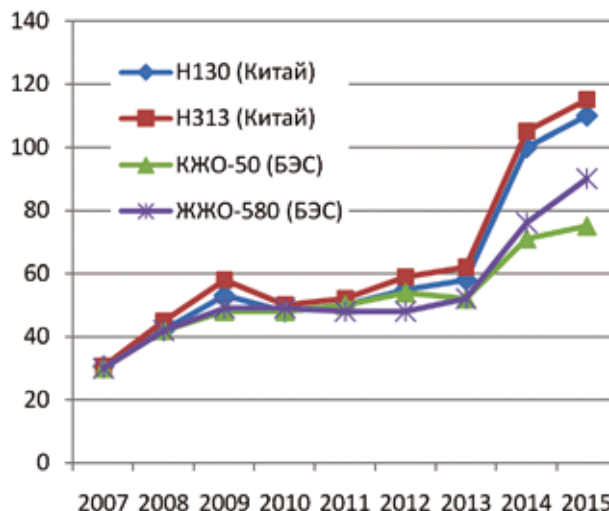


Рис. 3. Динамика роста цен на отечественные и зарубежные пигменты к сырьевым материалам. Их расход составляет 15–20 % от общей массы получаемого композиционного пигмента.

Таким образом, при использовании композиционного пигмента экономия традиционных пигментов (импортных или отечественных) составляет до 80%. Цена получаемого продукта существенно ниже, чем у его импортных аналогов.

В наибольшей степени процессы механохимической активации твердых материалов исследованы в работах Института химии твердого тела и механохимии СО РАН (Новосибирск), проводившихся под руководством академика В.В. Болдырева. Изучение теоретических основ и практических результатов этих работ показало воз-

ООО «Би.Эл.Спектр»

Пигменты для бетонов, силикатного кирпича, строительных смесей, полимерных материалов



Сухие латексные краски «АКВАМИКС» для наружных и внутренних отделочных работ

ДОСТОИНСТВА И ПРЕИМУЩЕСТВА

- Простота применения: достаточно развести водой, чтобы получить водно-дисперсионную краску
- Хранение и транспортировка при любой температуре без потери качества – Вы не возите воду!
- Высокие атмосферостойкость и долговечность
- Широкий ассортимент цветов и оттенков
- Возможность приготовления краски на месте применения в необходимом количестве
- Отсутствие запаха
- Без растворителей, консервантов и вредных добавок
- Упаковка пигментов и красок – бумажные многослойные мешки 25 кг



Реклама

Реклама

Возможности импортозамещения пигментов

ПИГМЕНТЫ БЭС	АНАЛОГИ на рынке сырья	Область применения
Синий 1001	Ультрамарин, пигмент голубой фталоцианиновый (Индия, Китай)	Пигменты предназначены для применения в бетонах, полимер- и гипсобетонах, отделочных и других строительных материалах (тротуарная и облицовочная плитка, наливные полы, искусственный камень, вибропрессованный и силикатный кирпич, штукатурные смеси, затирки и пр.). Совместимы с любыми силикатными материалами. Дозировка в бетон – 3–6% от массы цемента
Зеленый 230 (изумрудный)	Отсутствуют	
Зеленый 234 (темно-зеленый)	Пигмент зеленый 5605 (Китай)	
Зеленый 250 (ярко-зеленый)	Пигмент зеленый фталоцианиновый (Индия, Китай)	
Желтый 590 (лимонно-желтый)	–	
Алый 780	–	
Белый	Диоксид титана (Китай, Чехия)	
Красный железо-оксидный КЖО-50	Н130 (Китай), TR-303 (Чехия)	
Желтый железо-оксидный 580	Н313(Китай), Y-710 (Чехия)	
Коричневые железооксидные: светло-коричневый 650 коричневый 651 темно-коричневый 652 шоколадный 660	Коричневые железооксидные пигменты (Китай, Чехия)	
Оранжевый железо-оксидный 980	Оранжевый 960 (Китай)	

возможность получения пигментирующих материалов путем создания микрокомплексов, состоящих из оптически нейтральных ядер (частиц) наполнителя, на поверхности которых привиты частицы красящего вещества. Специалисты института разработали высокоэффективные измельчители-механоактиваторы производительностью 100, 500, 1000 кг/ч, с помощью которых и возможно осуществление твердофазных реакций для получения композиционных пигментов.

Поскольку с наступлением экономического кризиса сырьевые компоненты резко подорожали, неизбежно повысились цены и на пигменты БЭС, но в значительно меньшей степени. На рис. 3 показана динамика роста цен на распространенные в России китайские пигменты Н130 (красный железооксидный) и Н313 (желтый железооксидный), а также на их российские аналоги: пигмент КЖО-50БЭС и ЖЖО-580БЭС. Цены на отечественные аналоги изменились в значительно меньшей степени. Аналогично обстоят дела и с пигментами других цветов.

Как видно из приведенного примера, в начале своего внедрения на российский рынок импортные пигменты имели вполне демократичную цену. В условиях дефицита отечественных пигментов это способствовало их быстрому распространению в различных отраслях промышленности. Их стоимость постепенно росла, а кризис 2014 г. отчетливо показал, что зависимость от импортного сырья крайне негативно сказывается на экономике России в целом и в строительной области, в частности. Поэтому логично и целесообразно предлагать к внедрению отечественные разработки, которые уже зарекомендовали себя в реальной экономике, а также продолжить НИОКР, замороженные из-за призрачных иллюзий по поводу нескончаемого потока зарубежных благ, «обрушившихся» на Россию в период высоких цен на нефть.



Рис. 4. Доли продаж пигментов в общем объеме производства ООО «Би.Эл.Спектр»



Рис. 5. Монтаж двух установок производительностью 50 и 100 кг/ч для производства композиционных пигментов

Предложения ООО «Би.Эл.Спектр» не ограничиваются пигментами. Также компания производит сухие пигментированные суспензии (СПС) для оперативного приготовления пигментных паст. СПС поставляют к месту применения в виде сухого цветного порошка, который смешивают с водой в соотношении 1:2 в смесителях любого типа и получают пигментную пасту, которую можно транспортировать в емкостях или по трубопроводам в точку переработки. Благодаря используемой технологии цена получаемой пасты в разы ниже, чем импортных концентратов.

Фасадные краски «АКВАМИКС» [3] не уступают по стойкости импортным краскам аналогичного назначения, но значительно дешевле по той же причине, что и СПС. Поисковые работы в области производства различных видов строительных смесей показали, что с помощью методов механохимической активации можно получать любые материалы данного типа (плиточные клеи, затирки, шпаклевки, штукатурки и пр.) с гораздо более высокими показателями пластичности, прочности и долговечности [4].

Технология механохимической активации и твердофазного синтеза позволяет производить цветные цементы из серого цемента с минимальными энергетическими затратами [5].

Номенклатура предлагаемых ООО «Би.Эл.Спектр» пигментов приведена в таблице.

Доли продаж пигментов различных цветов в общем объеме производства ООО «Би.Эл.Спектр» показаны на рис. 4. Наибольшим спросом пользуются синий, темно-зеленый, коричневые и желтый пигменты. Наиболее интересным с точки зрения свойств является пигмент Синий 1001. Области применения те же, что и у голубого фталоцианинового пигмента, но, уступая ему в интенсивности окраски, пигмент Синий 1001 гораздо ближе к силикатным материалам по своим физико-химическим свойствам и значительно превышает органические пигменты по своей стойкости. Все пигменты являются свето- и щелочестойкими и рекоменду-

ются для применения во всех силикатных материалах, кроме высокотемпературной керамики.

Разработки ООО «Би.Эл.Спектр» не ограничиваются материалами и технологией. Основным технологическим оборудованием для реализации процессов механохимической активации и твердофазного синтеза являются центробежно-эллиптические измельчители, разработанные сибирскими учеными и конструкторами. Эти машины были доработаны специалистами компании именно под задачи получения выпускаемой продукции и успешно работают около 15 лет. Практически любое предприятие, занимающееся окрашиванием строительных материалов, может в короткий срок построить на своей территории технологический комплекс

Список литературы

1. Патент РФ 2175338. *Способ получения органоминеральных пигментов* / Дугуев С.В., Иванова В.Б. Заявл. 05.05.1999. Оpubл. 27.10.2001.
2. Дугуев С.В., Иванова В.Б. Применение модифицированных пигментов и сухих суспензий на их основе при производстве окрашенного силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2014. № 12. С. 26–29.
3. Патент РФ 2147594. *Способ получения порошкообразной краски* / Дугуев С.В., Иванова В.Б. Заявл. 25.11.1998. Оpubл. 10.04.2000.
4. Дугуев С.В., Иванова В.Б., Придачин К.А. Порошкообразная водоразбавляемая краска «АКВАМИКС» – новый продукт на российском рынке // *Строительные материалы*. 2000. № 10. С. 30–31.
5. Патент РФ 2168474. *Способ получения цветных цементов* / Дугуев С.В., Иванова В.Б., Придачин К.А., Сулименко Л.М. Заявл. 12.10.2000. Оpubл. 10.06.2001.

для производства композиционных пигментов и механоактивации сырьевых материалов производительностью около 200 т/год. Необходимые площади 100 м², установленная мощность 8 кВт. Основной узел комплекса показан на рис. 5.

Следует отметить, что основными характеристиками данной разработки с точки зрения импортозамещения является тот факт, что она основана полностью на отечественных разработках:

- материалы (пигменты, краски) разработаны в России;
- российская технология изготовления;
- российское оборудование;
- качество продукции проверено временем (более 10 лет на рынке строительных материалов).

References

1. Patent RF 2175338. *Sposob polucheniya organomineral'nykh pigmentov* [The method for producing organic-pigments]. Duguev S.V., Ivanova V.B. Declared 05.05.1999. Published 27.10.2001. (In Russian).
2. Duguev S.V., Ivanova V.B. The Use of Modified Pigments and Dry Suspensions on Their Base in Production of Coloured Silicate Brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 12, pp. 26–29. (In Russian).
3. Patent RF 2147594. *Sposob polucheniya poroshkoobraznoy kraski* [The process for preparing a powder paint]. Declared 25.11.1998. Published 10.04.2000. (In Russian).
4. Duguev S.V., Ivanova V.B., Pridachin K.A. The powder paint is water-borne “AKVAMIKS” – a new product on the Russian market. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2000. No. 10, pp. 30–31. (In Russian).
5. Patent RF 2168474. *Sposob polucheniya tsvetnykh tsementov* [The method for producing colored cement]. Duguev S.V., Ivanova V.B., Pridachin K.A., Sulimenko L.M. Declared 12.10.2000. Published 10.06.2001. (In Russian).

ЕвроХим-1 ЭМИТИ
 настоящая
ХИМИЯ
 будущего

**ВСЕ ДОБАВКИ
 ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ
 ИЗ ОДНИХ РУК**

Mecellose® Melment® Melflux® Plastretard® Vinnapas®
 Kelco-Crete® Esapon® Sitren® Amitrolit® Technocel®
 Starvis® Denka® FPAC® Панacea®
 Винная кислота
 Формат Кальция
 Карбонат лития
 и многое
 Другое

SAMSUNG
 SAMSUNG FINE CHEMICAL
 WACKER
 construction
 polymers
 CFF

115432, г.Москва,
 ул.Трофимова, д.2а
 тел.: (495) 781-66-56
 факс: (495) 781-66-46
 e-mail: mix@eurohim.ru
 www.chem.eurohim.ru
 еврохим1.рф

УДК 691.5

Н.И. КОЖУХОВА, канд. техн. наук (kozuhovanata@yandex.ru), Е.В. ВОЙТОВИЧ, канд. техн. наук, А.В. ЧЕРЕВАТОВА, д-р техн. наук, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, канд. геол.-минер. наук, Д.А. АЛЕХИН, инженер Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

Термостойкие ячеистые материалы на основе композиционных гипсокремнеземных вяжущих

В рамках исследования были изучены характеристики пенобетонных материалов на основе гипсового и наноструктурированного вяжущих, а также разработаны составы пенобетона на основе композиционного гипсокремнеземного вяжущего, обеспечивающие более низкие показатели теплопроводности композитов при более высоких прочностных характеристиках. Изучены особенности микроструктуры, а также фазовые трансформации, происходящие при высокотемпературной обработке разработанного композиционного вяжущего. Выявлено, что повышение термостойкости гипсокремнеземной ячеистой системы вызвано формированием субкристаллических призматических образований гидросульфосиликатных фаз, предположительно гидроксиллестадита под действием высокотемпературной обработки. Предложен способ получения пенобетонной массы, обеспечивающий равномерное распределение пеномассы в вяжущей системе, а также однородность поровой структуры затвердевшего ячеистого композита.

Ключевые слова: композиционное гипсокремнеземное вяжущее, пенобетон, способ получения, теплофизические характеристики/

N.I. KOZHUKHOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (kozuhovanata@yandex.ru), E.V. VOYTOVICH, Candidate of Sciences (Engineering), A.V. CHEREVATOVA, Doctor of Sciences (Engineering), I.V. ZHERNOVSKY, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), D.A. ALEKHIN, Engineer Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

Heat-Resistant Cellular Materials on the Basis of Composite Gypsum-Silica Binders

In the course of the research, characteristics of foam concrete materials on the basis of gypsum and nano-structured binders have been studied; compositions of the foam concrete on the basis of a composite gypsum-silica binder ensuring lower values of heat conductivity of composites at higher strength characteristics have been developed. Features of the micro-structure as well as phase transformations taking place during the high-temperature treatment of the developed composite binder have been studied. It is revealed that the improvement of heat-resistance of the gypsum-silica cellular system is due to the formation of sub-crystal, prismatic generations of hydrosulphosilicate phases, hydroxyllestadite supposedly, under the impact of high temperature treatment. A method for producing the foam concrete mass which ensures the uniform distribution of the foam mass in the binding system as well as homogeneity of the porous structure of hardened cellular composite is proposed.

Keywords: composite gypsum-silica binder, foam concrete, production method, thermophysical characteristic.

В связи с современной тенденцией, направленной на внедрение высокоэффективных экологически чистых технологий производства строительных материалов, интенсифицированной национальной программой «Жилище», которая предполагает стремительное наращивание темпов строительства, следует обратить внимание на ресурсосбережение, эффективные материалы и технологии, а также на эколого-экономическую переориентацию производителей продукции. Кроме того, обнародование Закона РФ «Об энергосбережении» заставило Госстрой пересмотреть положение ГОСТов и СНиПов в отношении теплозащиты зданий и сооружений. Поэтому закономерно, что производство современных строительных материалов с высокими теплофизическими характеристиками является одной из главных задач, стоящих перед строительной отраслью.

В то же время в последние годы в мировой практике неуклонно растет интерес к бесклнкерным ячеистым композитам строительного назначения, эффективно сочетающим в себе экологические, технико-экономические и теплофизические характеристики. В связи с этим с учетом отмеченных предпочтений современного строительного рынка наиболее ярким примером могут служить изделия и конструкции на

основе пеногипса и его разновидностей [1–3]. Ячеистые изделия на основе гипсового вяжущего обладают такими важными преимуществами, как территориальная доступность сырьевой базы, простота и дешевизна технологического процесса получения гипсовых изделий, экологическая чистота и высокие теплозащитные свойства.

Альтернативой пеногипсу могут служить пенобетонные изделия, получаемые на основе новых видов композиционного гипсового вяжущего, одним из которых является композиционное гипсовое вяжущее с применением наноструктурированного компонента (КГНВ) [4].

Наноструктурированное вяжущее (НВ) представляет собой неорганическую полидисперсную и полимеральную вяжущую систему, имеющую преимущественно силикатный или алюмосиликатный состав и обладает высокой концентрацией активной твердой фазы, содержащей нанодисперсный компонент в количестве 3–10%. [5]

Пенобетон на основе НВ, несмотря на ограниченность его использования в силу малой распространенности и изученности, наравне с гипсовыми ячеистыми аналогами является довольно эффективным экологичным теплоизоляционным материалом (табл. 1) [6–9].

Таблица 1

Характеристики пенобетона на основе существующих бесцементных вяжущих

Пенобетон на основе	Эксплуатационные характеристики			
	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	Плотность ρ , кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при сжатии после обжига, МПа
Гипса	0,12	400	0,8	0,12
НВ	0,09	400	1,1	0,09

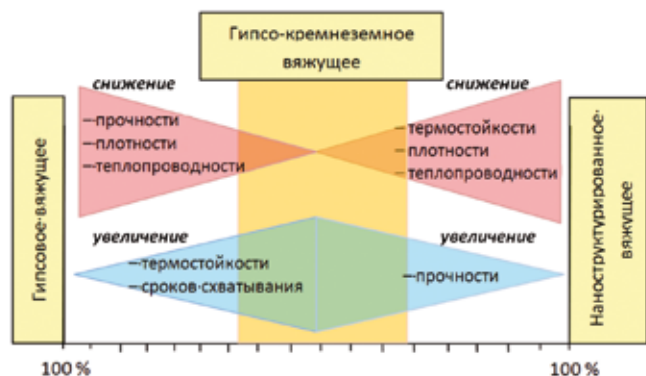


Рис. 1. Схема изменения эксплуатационных характеристик пенобетона при использовании комплекса вяжущих (гипсового и наноструктурированного)

Из приведенных данных (табл. 1) можно отметить ряд преимуществ пенобетонных изделий на основе гипса и НВ, но и ряд недостатков.

В первом случае при достаточной прочности основным недостатком пенобетонных изделий на основе гипса является довольно высокий коэффициент теплопроводности, а также полное разрушение под воздействием высокой температуры, т. е. отсутствие термостойкости.

Для пенобетонных композитов на основе НВ наблюдается обратный эффект: при незначительной прочности характерны низкие значения плотности и теплопроводности, а также высокая устойчивость в условиях высокотемпературного воздействия. Более того, после высокотемпературной обработки пенобетона на основе НВ наблюдается увеличение прочностных показателей в сравнении с аналогами, не подвергающимися действию высокой температуры.

Постоянное ужесточение требований по теплозащите зданий приводит к необходимости снижения показателей теплопроводности с сохранением достаточно высоких прочностных показателей при низких значениях плотности легких композитов. В связи с этим предлагаемые на сегодняшний день теплоизоляционные материалы на бесклнкерной основе неуклонно теряют свою актуальность.

В работе проведены исследования с целью получения оптимальных составов композиционного гипсо-кремнеземного вяжущего для производства пенобетона с улучшенными прочностными и теплофизическими характеристиками (рис. 1).

Для получения гипсокремнеземного пенобетона использовалось гипсовое вяжущее марки Г-5АII производства «Самарский гипсовый комбинат»; кремнеземное НВ на основе песка Корочанского месторождения (Белгородская обл.). При получении пенобетона использовался синтетический пенообразователь Esaron.

Основой обеспечения улучшенных эксплуатационных свойств композита является подбор оптимального соотношения сырьевых компонентов, входящих в его состав. Для этого было приготовлено 11 составов гипсокремнеземного пенобетона с различным соотношением вяжущих составляющих: гипса и НВ в диапазоне содержания гипсового вяжущего 100–0 % с шагом в 10 %. При приготовлении вяжущего исходные компоненты брались по сухому веществу, при этом вяжущее НВ имело влажность $W=14-20\%$. Ее нужно учитывать при расчете В/Г отношения. Таким образом, необходимое количество воды для получения композиционного вяжущего нормальной консистенции (расплыв конуса 180 ± 5 мм) колебалось в пределах 30–70 % по сухому веществу всех компонентов.

В состав пены входили пенообразователь и вода в соотношении 92:8.

С учетом специфики основных компонентов композиционного гипсокремнеземного вяжущего был предложен способ приготовления гипсокремнеземного пенобетона, заключающийся в следующем: предварительное смешивание наноструктурированного кремнеземного компонента (НКК) с водой в течение 30–60 с до получения однородной водной суспензии с последующим введением полугидрата гипса и перемешиванием в течение 20 с.

Введение НВ в воду и предварительное получение водной суспензии позволяют при дальнейшем введении гипсового вяжущего получить однородную сырьевую смесь с равномерно распределенным НВ по структуре в период заданного времени и замедлить сроки схватывания гипсового композита.

Таблица 2

Технико-эксплуатационные характеристики гипсокремнеземного пенобетона в зависимости от состава

Состав	Содержание компонентов, %		Эксплуатационные параметры			
	НВ	гипс	Прочность до обжига $R_{сж}$, МПа	Прочность после обжига* $R_{сж}$, МПа	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
1	0	100	0,08	–	520	0,16
2	10	90	0,89	0,11	450	0,095
3	20	80	0,95	0,38	400	0,079
4	30	70	1,06	0,51	400	0,064
5	40	60	1,28	1,14	400	0,055
6	50	50	1,39	1,49	400	0,049
7	60	40	1,31	1,53	400	0,049
8	70	30	1,27	1,56	400	0,048
9	80	20	1,18	1,46	400	0,057
10	90	10	1,12	1,45	400	0,063
11	100	0	1,1	1,43	400	0,08

*Обжиг осуществлялся при температуре 1000°C



Рис. 2. Схема приготовления гипсокремнеземного пенобетона

Параллельно подготавливается пена. Пена получается введением пенообразователя в воду и интенсивным вертикальным возвратно-поступательным движением смесителя в течение 2–3 мин.

Затем пена быстро вводится в вяжущую систему и перемешивается до достижения равномерной структуры. Перемешивание происходит в смесителе с большими лопастями на малых оборотах (рис. 2).

Немаловажным фактором при приготовлении пенобетонной массы является длительность перемешивания готовой системы, так как, с одной стороны, необходимо равномерное распределение всех компонентов в объеме, а с другой – избежать усадки пены в системе.

Экспериментальные составы гипсокремнеземного пенобетона, полученные по предложенной технологии, были залиты в формы-кубы 7×7×7 см и выдержаны в естественных условиях в течение 7 сут. Затем затвердевшие образцы были расформованы и испытаны (табл. 2).

Согласно полученным результатам (табл. 3) наиболее эффективны составы с соотношением вяжущих компонентов НВ: гипсовое вяжущее 60:40 и 70:30 (составы 6 и 7 соответственно), которые обеспечивают высокие показатели по прочности при сжатии до и после температурной обработки при минимальных значениях коэффициента теплопроводности.

Состав пеногипса на основе гипсового вяжущего продемонстрировал наиболее высокие значения теплопроводности среди экспериментальных составов, а также значительное растрескивание образцов после обжига, что объясняет отсутствие у них прочности при сжатии. В то же время состав 11 (пенобетон на НВ) демонстрирует минимальные прочностные показатели образцов, а также плохую расформовываемость после твердения (рис. 3).

Ранними исследованиями было установлено, что минеральный состав композиционного вяжущего 80% гипса, 20% кварцевое НВ представлен при комнатной температуре (мас. %): гипсом (66), ангидритом III (5), доломитом (7), кварцем (20) и гидроксидом элестадитом (2). При температуре 1000°C минеральный состав трансформируется в композицию: β-кварц (19), известь (26), периклаз (2), нерастворимый (ромбический) ангид-



Рис. 3. Образцы после высокотемпературной обработки (1000°C): 1 – 100 % гипсовое вяжущее; 2 – гипсовое вяжущее:НВ 70:30; 3 – гипсовое вяжущее:НВ 50:50; 4 – гипсовое вяжущее:НВ 30–70; 5 – 100 % НВ

рит (7), элестадит (6), α_L-Ca₂SiO₄ (30) и ольдгамит – CaS (10) [1]. Отличительной особенностью этой композиции является то, что отношение суммы молярных объемов всех кристаллических фаз при комнатной температуре к таковой при 1000°C близко к 1. Этим обеспечивается отсутствие деструктивного формоизменения при термическом воздействии.

Изучение термической трансформации образцов затвердевшего НВ не проводилось. Тем не менее из результатов, приведенных в табл. 3, следует, что основной вклад в формирование прочностных свойств композиционного гипсокремнеземного вяжущего создается компонентом НВ.

Поэтому из-за предположения возникновения при термической обработке (при T=1000°C) высокотемпературной модификации кварца (β-кварц¹), остывание образцов проводилось с различной скоростью. Самая медленная скорость остывания непосредственно в высокотемпературной камере, средняя скорость – на воздухе и максимальная – остывание в воде.

Для выяснения причин упрочнения образцов при термической обработке была исследована трансформация минерального состава методом полнопрофильного количественного РФА.

Дифракционные спектры образцов были получены на рентгеновской станции WorkStation ARL 9900 с использованием излучения Со-анода в Центре высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова. Расчетная часть работы проводилась при помощи программы DDM v.1.95d в варианте ритвельдовского алгоритма [10]. В качестве структурных моделей использовались данные базы структурных данных ICSD.

Все рентгенограммы образцов НВ с различной скоростью остывания практически неотличимы друг от друга.

Следует отметить, что расчеты на модельные составы α-кварц + корунд (наполнителей мелкого тела) и α-кварц + β-кварц + корунд дали удовлетворительную сходимость, однако величина взвешенного R_{wp}-фактора² всегда была ниже при расчете на вторую модель, что

Таблица 3

Результаты полнопрофильного количественного РФА термообработанного НВ (мас. %)

	1	2	3	1	2	3
	α-кварц + корунд			α-кварц + β-кварц + корунд		
α-Кварц	96,17±2,36	96,01±2,47	96,04±1,49	76,32±0,81	81,72±2,71	79,64±1,94
β-Кварц				19,75±1,74	14,16±2,22	16,37±1,99
Корунд	3,83±0,07	3,99±0,07	3,96±0,08	3,94±0,07	4,13±0,07	3,99±0,08
R _{wp}	15,571	13,799	13,860	13,929	12,047	12,558

Примечание. 1 – остывание в камере, 2 – на воздухе, 3 – в воде.

¹ Авторы используют минералогическую номенклатуру, согласно которой низкотемпературные полиморфные модификации обозначаются первыми буквами греческого алфавита.

² $R_{wp} = 100 \cdot \sqrt{\sum w_i (Y_i - Y_{bi})^2 / (\sum w_i (Y_i - Y_{bi})^2)}$, где Y_i – экспериментальная интенсивность дифракционного спектра в точке i , Y_{ci} и Y_{bi} – расчетная интенсивность и интенсивность фона в этой точке.

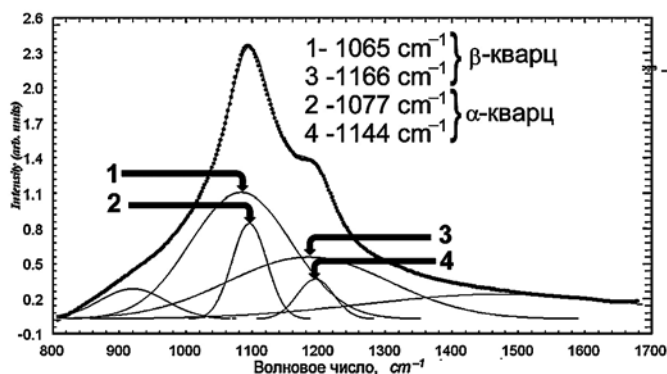


Рис. 4. Фиттинг профиля ИК-спектра

свидетельствует о лучшей сходимости расчетного дифракционного спектра к экспериментальному (табл. 3).

Тем не менее для окончательного решения вопроса о возникновении в материале НВ высокотемпературной β-модификации кварца, был использован метод ИК-спектроскопии. ИК-спектры поглощения были получены на ИК-Фурье-спектрометре Vertex-70 (Bruker). Никаких отличий в зависимости от скорости охлаждения на ИК-спектрах не обнаружено. Для идентификации полос поглощения, характерных для α- и β-кварца, использован прием фиттинга (англ. fitting — монтаж) профиля ИК-поглощения в интервале 800–1400 см⁻¹. Частотные значения полос поглощения (см⁻¹) в этом интервале рассчитаны на основании демо-файлов программы VIBRATZ v.2.3 (Shape Software). Фиттинг профиля проводился с использованием программы Fityk v.0.9.3. При этом уточнялись только высоты и уширения расчетных профилей, аппроксимированных гауссианом. Значения волновых чисел полос поглощения α- и β-кварца были зафиксированы. Результат обработки ИК-спектра охлажденного в воде термообработанного образца НВ представлен на рис. 4.

Профили высокотемпературного β-кварца характеризуются существенным в отличие от профилей низкотемпературного α-кварца уширением, что является следствием наномасштабных размеров кристаллитов β-кварца [11].

Этот факт согласуется с термодинамическими оценками размерной устойчивости высокотемпературного β-кварца при низкой температуре [12]. Согласно этим оценкам β-кварц может существовать ниже точки β-α-инверсии при размерах кристаллитов, не превышающих некоторого критического значения, равного 25–30 нм.

Таким образом, термическое воздействие на кварцевую компоненту композиционного гипсокремнеземного вяжущего инициирует появление в первой фазово-размерной гетерогенности, заключающейся в возникновении термически устойчивого парагенезиса α-кварц — β-кварц. При этом наноразмерные кристаллиты β-кварца в матрице α-кварца создают эффект нанодисперсного армирования, повышающего прочностные свойства НВ-компоненты вяжущего.

Анализ микроструктуры образцов показал, что в результате высокотемпературной обработки наблюдается деструкция гипсового камня за счет дегидратации и десульфатации системы и, как следствие, разрушение гидросульфатов кальция (рис. 5, з), характерных для гипсовой системы, твердеющей в естественных воздушных условиях (рис. 5, а). Процессы фазовой деструкции способствуют уплотнению и уменьшению объема структуры, что вызывает ярко выраженные усадочные деформации, подтверждаемые визуальной оценкой образцов пенобетона до и после высокотемпературной обработки (рис. 3).

На основании визуальной оценки микроструктуры гипсового камня до и после высокотемпературной об-

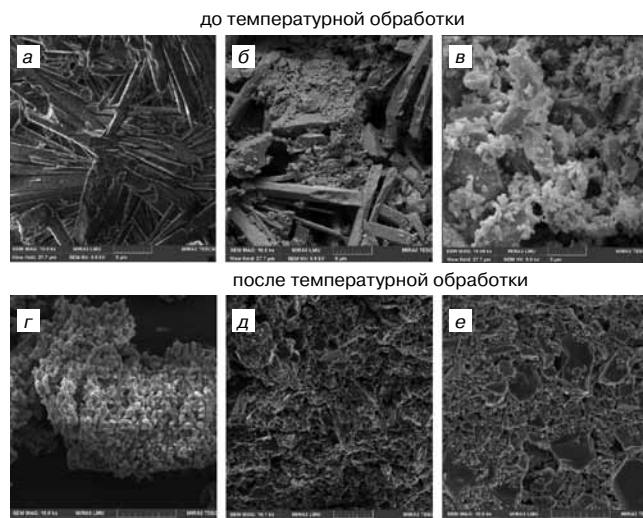


Рис. 5. Микроструктурные особенности пенобетонных систем до и после обработки при 1000 °С

работки (рис. 5, а, з), а также с учетом ранее проведенных исследований [1] фазовый состав гипсового камня, подверженного высокотемпературной обработке, представлен кристаллическими псевдоморфными образованиями извести по ангидриту.

В то же время для затвердевшей пеномассы на основе НВ характерна более рыхлая и менее упорядоченная структура без видимых признаков новообразований (рис. 5, в) в сравнении с гипсовой системой. Однако после высокотемпературной обработки при 1000 °С для системы на основе НВ наблюдается упорядочение и уплотнение структуры (рис. 5, е), что, вероятно, вызвано термальной перекристаллизацией низкотемпературной модификации кварца с формированием более низкодефектной структуры. Это, в свою очередь, способствует упрочнению системы (табл. 2).

Микроструктура композиционной гипсокремнеземной системы до высокотемпературного воздействия демонстрирует высокую пористость системы, слабую адгезию частиц кремнезема к кристаллам гидросульфата кальция (рис. 5, б). Однако в структуре термически обработанного гипсокремнеземного образца в результате интенсификации процессов реструктурирования кристаллов гидросульфатов кальция наблюдается формирование субкристаллических призматических образований гидросульфосиликатных фаз, предположительно элестадита (рис. 5, д). При этом обеспечиваются значительно меньшие усадочные деформации в объеме твердеющей матрицы композита.

Таким образом, в ходе проведенных исследований было установлено, что получение пенобетонных материалов на основе разработанного композиционного гипсокремнеземного вяжущего позволяет улучшить теплофизические характеристики ячеистых композитов, получаемых с использованием бесцементных вяжущих. Применение гипсокремнеземного вяжущего придает получаемым композитам повышенные показатели термостойкости, предотвращаются их растрескивание и усадка при высокотемпературных воздействиях, что связано с трансформацией низкотемпературных фаз в субкристаллические призматические образования.

Работа выполнена в рамках служебного задания по г/б теме № А-4/14 Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 гг. (№ 2011-ПР-146. Мероприятие 2 «Модернизация научно-исследовательского процесса и инновационной деятельности») с использованием оборудования на базе Центра Высочих Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы

1. Жерновский И.В., Череватова А.В., Войтович Е.В., Ксенофонтов А.Д. Жаростойкость композиционно-вязущего системы $\text{CaO-SO}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 57–61.
2. И.В. Бессонов, Р.И. Шигапов, В.В. Бабков Теплоизоляционный пеногипс в малоэтажном строительстве // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 9–13.
3. Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф. Новиченкова Т.Б. Малоэнергоёмкие гипсовые материалы и изделия на основе отходов промышленности // *Строительные материалы*. 2006. № 7. С. 8–9.
4. Строкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Войтович Е.В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 9–12.
5. Череватова А.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие. Природа, технология и перспективы применения. Saarbrücken: LAM LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2011. 170 с.
6. Урханова Л.А., Дашицыренов Д.Д., Заяханов М.Е. Эффективный пенобетон на основе эффузивных пород // *Строительные материалы*. 2007. № 4. С. 50–51.
7. Z. Bazelova, L. Pach, J. Lokaj The effect of surface active substance concentration on the properties of foamed and non-foamed gypsum // *Ceramics – Silikáty*. 2010. № 54. P. 379–385.
8. Павленко Н.В., Череватова А.В., Строкова В.В. Особенности получения рациональной поровой структуры пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего // *Строительные материалы*. 2009. № 10. С. 33–36.
9. Строкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В., Мирошников Е.В., Шаповалов Н. А. Оценка эффективности применения наноструктурированного вяжущего при получении легковесных ячеистых композитов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2011. № 4. С. 48–51.
10. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference min-imization. // *Journal of Applied Crystallography*. 2004. № 37. P. 743–749.
11. Fernandez-Garcia M., Martynez-Arias A., Hanson J.C., Rodriguez J.A. Nanostructured Oxides in Chemistry: Characterization and Properties // *Chem. Rev.*, 2004. № 104. P. 4063–4104.
12. Дубровинский Л.С., Пилюян Г.О. Влияние размера кристаллитов на температуру полиморфного $\alpha \leftrightarrow \beta$ перехода кварца // *Доклады АН СССР*. 1986. Т. 286. № 4. С. 958–961.

References

1. Zhernovsky I.V., Cherevatova A.V., Voitovich E.V., Ksenofontov A.D. Heat Resistance of Composite Binder of $\text{CaO-SO}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ System. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 57–61. (In Russian).
2. Bessonov I.V., Shigapov R.I., Babkov V.V. Heat-Insulating Foamed Gypsum in Low-Rise Construction. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 9–13. (In Russian).
3. Petropavlovskaya V.B., Buryanov A.F., Novinchenkova T.B. Low Power Intensive Gypsum Materials and Products Based on Industrial Waste. *Stroitel'nye materialy*. [Construction Materials]. 2006. No. 7, pp. 8–9. (In Russian).
4. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Voytovich E.V. Features of Phase Formation in a Composite Nanostructured Gypsum Binder. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 9–12. (In Russian).
5. Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Mineral'nye nanostrukturirovannye vjazhushhie. Priroda, tehnologija i perspektivy primenenija [Mineral nanostructured binders. Nature, technology and prospective of application]. Saarbrücken: LAM LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2011. 170 pp.
6. Dashitsirenov D.D., Zayakhanov M.E., Urkhanova L.A. Effective foam concrete based on effusive rocks. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 4, pp. 50–51. (In Russian).
7. Z. Bazelova, L. Pach, J. Lokaj The effect of surface active substance concentration on the properties of foamed and non-foamed gypsum. *Ceramics – Silikáty*. 2010. No. 54, pp. 379–385.
8. Dashitsirenov D.D., Zayakhanov M.E., Urkhanova L.A. Effective foam concrete based on effusive rocks. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 4, pp. 50–51. (In Russian).
8. Pavlenko N.V., Cherevatova A.V., Strokova V.V. Features of rational pore structure formation in foam concrete on the base of nanostructured binder. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 10, pp. 33–36. (In Russian).
9. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Miroshnikov E.V., Shapovalov N.A. Estimation of efficiency of nanostructured binder application when lightweight cellular composite production. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2011. No. 4, pp. 48–51. (In Russian).
10. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference min-imization. *Journal of Applied Crystallography*. 2004. No. 37, pp. 743–749.
11. Fernandez-Garcia M., Martynez-Arias A., Hanson J.C., Rodriguez J.A. Nanostructured Oxides in Chemistry: Characterization and Properties. *Chem. Rev.* 2004. No. 104, pp. 4063–4104.
12. Dubrovinsky L.S., Piloyan G.O. Influence of crystallite size on temperature of polymorphous $\alpha \leftrightarrow \beta$ transformation for quartz. *Docladyi Akademii nauk SSSR*. 1986. Vol. 286. No. 4, pp. 958–961. (In Russian).



Подписка на электронную версию журнала «Строительные материалы»®

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

С.В. АНИСИМОВА, канд. хим. наук, А.Е. КОРШУНОВ, инженер (korshynov@gmail.com), А.А. ЗЕКИН, студент Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65)

Возможность переработки древесных отходов при производстве гипсовых изделий

Обоснована возможность получения гипсовых изделий с применением в качестве наполнителя древесных отходов (ДО) от распиловки ламината. Введение в состав гипсового теста ДО вызывает увеличение водопотребности системы вследствие гидрофильности древесного составляющего. Для обеспечения технологичности формования и эксплуатационных свойств получающихся изделий требуется использование гиперпластификаторов и регуляторов сроков схватывания. Показано, что введение ДО до 15% в композиции со строительным гипсом позволяет получать изделия пониженной плотности (до 1040 кг/м³) при сохранении высоких прочностных показателей. При оценке теплоизоляционных свойств и прочности образцов в насыщенном водой состоянии установлены показатели, характерные для выпускаемых гипсовых материалов.

Ключевые слова: гипсовые изделия, гипсовое вяжущее, древесные отходы, органический наполнитель, гиперпластификатор.

S.V. ANISIMOVA, Candidate of sciences (Chemistry), A.E. KORSHUNOV, Engineer(korshunov@gmail.com), A.A. ZEKIN, Student Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65, Ilyinskaya Street, 603950, Nizhny Novgorod, Russian Federation)

Possibility of Wood Waste Processing in the Course of Gypsum Articles Manufacture

A possibility to produce gypsum articles with the use of wood waste (WW) of laminate sawing as filler is substantiated. The introduction of WW into the composition of gypsum paste causes an increase in water demand of the system due to the hydrophilicity of a timber component. To ensure the molding processability and operational properties of articles produced, it is necessary to use hyperplasticizers and regulators of setting time. It is shown that introducing 15% of WW into compositions with building gypsum makes it possible to manufacture articles with lowered density (up to 1040 kg/m³) while maintaining high strength characteristics. For assessing heat insulation properties and strength of samples in water saturated state, indicators characteristic for produced gypsum products have been established.

Keywords: gypsum articles, gypsum binder, wood waste, organic filler, hyperplasticizer.

Выпуск и применение гипсовых строительных изделий (блоки, плиты, листы) постоянно увеличивается, так как эти материалы обладают отличными потребительскими качествами, а технология их производства не отличается особой сложностью и высокими энергозатратами. С одной стороны, достаточно высокая точность размеров и форм, низкая плотность, прочность и твердость поверхности, возможность подгонки при резке обеспечивают высокую скорость монтажа гипсовых строительных элементов при их соединении для внутренней отделки стен, полов и потолков помещений. С другой стороны, доступность основного сырья (гипсового вяжущего) и соблюдение простых технологических операций при изготовлении изделий определяют возможность появления новых производителей данного вида материалов прежде всего за счет создания малых предприятий [1, 2].

Известно, что введение в состав композиций на основе минеральных вяжущих органических наполнителей (стружка, опилки, древесная мука) позволяет варьировать такие их свойства, как плотность, теплопроводность, показатели изоляции воздушного шума при обеспечении требуемой прочности. Однако в настоящее время единственным российским производителем гипсостружечных плит (ГСП) является Пешеланский гипсовый завод «Декор-1», выпускающий продукцию на гипсе собственного производства и специально подготавливаемом древесном сырье. Данных о промышленном использовании отходов древесины в качестве компонентов таких гипсовых изделий, как пазогребневые плиты или гипсовые блоки, не найдено.

Следует отметить, что в производстве строительных материалов переработка побочных продуктов лесоперерабатывающей промышленности весьма актуальна [3, 4]. Накопление, складирование или утилизация подобных отходов могут негативно сказываться на экологи

гии и качестве жизни населения. Наоборот, рациональное использование измельченных древесных материалов, в том числе и в качестве основных компонентов строительных материалов, приводит к существенному снижению себестоимости последних и затрат на их производство, а следовательно, и на строительные работы в целом [5].

В настоящей работе предпринята попытка подбора рецептур гипсового теста для выпуска гипсовых изделий с использованием в качестве наполнителя древесных отходов (ДО) от распиловки и вырезания замка при производстве напольных ламинатных покрытий. Рассматриваемый в исследованиях наполнитель представляет собой многотоннажный мелкоизмельченный побочный продукт производства ООО «Юнилин» (г. Дзержинск Нижегородской области), улавливаемый системой очистки воздуха рабочей зоны линии распила ламината. Ежемесячно вырабатывается более 500 м³ подобных побочных продуктов, утилизируемых в настоящее время только при сжигании.

Таблица 1
Качественные характеристики древесного отхода

Внешний вид	Сыпучий порошок желтовато-кремового цвета (цвет древесины)
Насыпная плотность	325 кг/м ³
Влажность	4,8 %
pH водной вытяжки	7
Остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм	20,6 %
Наибольшая крупность материала	0,63 мм при содержании менее 0,5 %



Рис. 1. Внешний вид остатка при просеивании ДО на ситах № 063 (а) и № 0315 (б)

Качественные характеристики ДО представлены в табл. 1 и на рис. 1. Требуется отметить, что данный ДО в своем составе имеет смесь основных ингредиентов всех четырех слоев ламината с преобладанием компонентов измельченной древесно-волоконистой плиты высокой плотности – опилок и синтетических смол для их связывания. При производстве плит и затем при выпуске ламината древесный наполнитель проходит тепловую обработку, что влечет за собой термомодифицирование, изменяющее его структуру и свойства [6]. Класс опасности исследуемого отхода (IV) определяется уровнем эмиссии формальдегида в выпускаемом отделочном материале – Е1 (содержание свободного формальдегида не более 10 мг на 100 г плиты, что соответствует его количеству, выделяемому натуральной древесиной). Фракционный состав ДО сопоставим с требованиями к строительному гипсу грубого помола.

В качестве гипсового вяжущего использовался строительный гипс марки Г-6 П Б производства Пешеланского гипсового завода «Декор-1».

Для изучения влияния ДО на свойства гипсового теста и показатели, важные для выпуска и применения гипсовых изделий, готовились сухие смеси при перемешивании гипса и ДО, взятых в определенных соотношениях. Содержание ДО варьировалось в диапазоне 10–20 % к вяжущему. Затворение смесей водой и испытания полученных суспензий и затвердевших образцов производили с использованием методов по ГОСТ 23789–79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

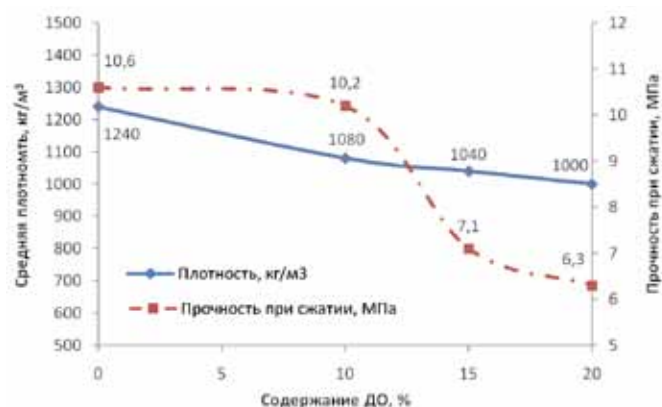


Рис. 2. Свойства образцов, полученных при В/Т=0,575

содержания ДО и характеризуются уменьшенной средней плотностью и соответственно прочностью при сжатии (рис. 2).

С целью придания формуемым смесям подвижности, необходимой для литевых технологий выпуска гипсовых изделий, в состав вводились гиперпластификаторы ViscoCrete 225P и MELFLUX 2651F. Эффективность их действия доказана при составлении сухих смесей и составов строительных растворов [7–9]. Данные аддитивы представляют собой водорастворимые полимеры различного состава и молекулярной массы, включающие фрагменты карбоновых кислот и их солей, обладающих высокой поверхностной активностью. Подобные соединения выполняют роль диспергаторов, сорбируясь на частицах сульфата кальция, вследствие чего полярные группы, расположенные на их основной цепи, и боковые звенья на ответвлениях полимера отталкивают друг друга, заставляя гипсовые частицы расходиться, придавая тем самым текучесть всей системе. Количество воды затворения при этом может быть уменьшено и тем не менее будет получена текучая суспензия. Уменьшение В/Т приведет к снижению пористости и увеличению прочности продукта, а уменьшенное содержание воды, не участвующей в реакциях твердения, – к сокращению энергетических затрат на сушку изделий.

Пластифицирующие добавки дозировались с учетом рекомендаций производителей из расчета 0,15 и 0,3% к смеси вяжущего и ДО, вводились в воду для предварительного растворения перед затворением. Сводные данные исследований приведены в табл. 2.

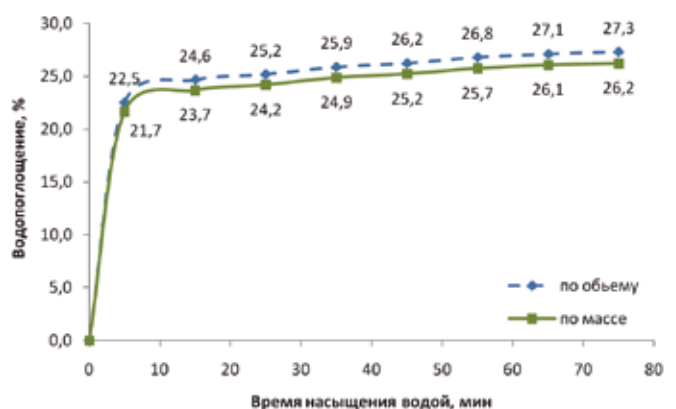


Рис. 3. Водопоглощение образцов плотностью 1040 кг/м³ с содержанием 15% ДО

Составы и основные свойства образцов

Состав	Содержание гиперпластификатора, %	Ускоритель схватывания	В/Т	(Начало схватывания)/(Конец схватывания), ч:мин:с	Прочность при сжатии, МПа
Строительный гипс 100%	нет	нет	0,56	(00:12:00)/(00:14:00)	10,6
Строительный гипс 90%, ДО 10%	0,15 ViscoCrete 225P	нет	0,575	–	9,1
	0,3 ViscoCrete 225P	нет	0,54	(01:32:00)/(01:39:00)	7,6
	0,15 MELFLUX 2651F	нет	0,575	(00:24:30)/(00:27:00)	10
Строительный гипс 85%, ДО 15%	0,3 MELFLUX 2651F	нет	0,6	(01:05:00)/(01:13:00)	–
	0,3 MELFLUX 2651F	1,5% CaSO ₄ ·2H ₂ O	0,6	(00:06:30)/(00:12:00)	–
	MELFLUX 2651F	2% CaSO ₄ ·2H ₂ O	0,6	(00:06:30)/(00:10:30)	6
Строительный гипс 80%, ДО 20%	0,3 MELFLUX 2651F	нет	0,7	–	4,1

Установлено, что смеси с введением ДО в количестве 10% имеют стандартную консистенцию (диаметр расплыва теста 180±5 мм) уже при использовании 0,15% пластификаторов, при В/Т=0,575. Увеличение содержания пластификаторов до 0,3% несущественно уменьшает В/Т (до 0,54), без явного увеличения прочностных показателей, однако заметно замедляет процессы схватывания – начало и конец схватывания гипса проходят более чем через 1 ч после затворения.

Следует отметить, что применение гиперпластификатора ViscoCrete 225P позволяет получить более уплотненные отливки (плотность высушенных образцов составила 1150 кг/м³). В присутствии MELFLUX 2651F наблюдалось воздухововлечение при перемешивании суспензии, что отразилось на снижении плотности высушенных образцов до 1080 кг/м³. Исследовательские образцы обладают высокой прочностью при сжатии (до 10 МПа), сопоставимой с результатами, полученными при использовании ViscoCrete 225P, и превышающей значения гипсовых изделий подобной плотности. Сохранение высоких прочностных показателей изделий при уменьшении средней плотности – это положительный эффект, обусловленный присутствием волокнистого древесного наполнителя, проявляющего армирующие свойства в гипсовом сердечнике.

При увеличении содержания ДО в композиции до 15% получено тесто стандартной консистенции при использовании 0,3% MELFLUX 2651F, В/Т=0,6. Затвердевшие образцы характеризуются средней плотностью 1040 кг/м³, что позволяет удовлетворять требованиям к плитам гипсовым для перегородок высшей категории качества по ГОСТ 6428–83 «Плиты гипсовые для перегородок. Технические условия». Показатели прочности при сжатии гарантированно обеспечены (R_{сж}=6 МПа при требовании не ниже 5 МПа), а прочность при изгибе превышает установленные нормы более чем в 1,5 раза (R_{изг}=3,8 МПа при требовании не ниже 2,4 МПа).

При дальнейшем увеличении содержания ДО до 20% подвижную суспензию удастся изготовить только при введении 0,3% гиперпластификатора MELFLUX 2651F при значении В/Т=0,7. При таких условиях получают изделия низкой плотности (~1000 кг/м³), характеризующиеся пониженной прочностью (до 4,2 МПа). Повышенное введение воды потребует и, как уже от-

мечено выше, больших энергетических затрат на ее удаление при сушке.

Таким образом, оптимизировано предельное содержание ДО (15%) в рецептурах теста для изготовления гипсовых изделий.

Однако существенным недостатком, связанным с использованием поликарбоксилатов в гипсовых составах, является замедление реакции схватывания вяжущего, что подтверждено и в настоящих исследованиях (табл. 2). Существенное ускорение твердения было достигнуто только при введении в гипс измельченного гипсового камня в количестве 1,5–2% к содержанию сухой смеси. При этом подвижность формируемой суспензии не изменялась, а сроки схватывания снижены, даже по сравнению с исходными показателями строительного гипса.

Характер используемого гипсового вяжущего и присутствие в изделиях древесных составляющих вызывают необходимость контроля свойств, связанных с действием воды. Оценено водопоглощение образцов (рис. 3), выполненных с использованием ДО в количестве 15% и подобранными условиями для формирования (0,3% MELFLUX 2651F; 2% гипсового камня; В/Т=0,6).

Выявлено, что проникновение воды в структуру каменного материала происходит интенсивно в первые минуты погружения образца в воду и обусловлено прежде всего его пористой структурой. Насыщение водой достигается в течение 1 ч, что сходно с методиками оценки водопоглощения, изложенными в технических условиях некоторых заводов-изготовителей. Установленное водопоглощение характерно для гипсовых материалов, выполненных без дополнительной гидрофобной обработки. Например, допустимые значения водопоглощения близких по составу гипсостружечных плит (заявленный состав: 15% опилок, 83% гипса, 2% сорбционной воды), выпускаемых Пешеланским гипсовым заводом «Декор-1» по ТУ 5742-004-05292444-2010, должны составлять не более 30%, а для стандартных пазогребневых плит на основе гипса производства Волма допускается водопоглощение изделий до 30–35% (ТУ 5742-003-05287561–2003).

При оценке прочности образцов в насыщенном водой состоянии рассчитан коэффициент размягчения Kp=0,3.

При испытании образца с содержанием ДО 15% и 85% строительного гипса плотностью 1040 кг/м³ в виде пластины 100×100×10 мм на приборе ИТП-МГ4 100 определен коэффициент теплопроводности ($\lambda=0,315$ Вт/(м·К)), сопоставимый со значениями, допускаемыми для гипсовых элементов пола, производимых компанией КНАУФ ($\lambda=0,22-0,36$ Вт/(м·К)).

Для определения экономической целесообразности применения ДО в рецептурах гипсовых материалов ориентировочно определена сырьевая себестоимость изделий с заменой 15 мас. % строительного гипса на ДО. Исходная себестоимость гипсовых изделий была вычислена исходя из цены производителя гипсового вяжущего на май 2015 г. Считали, что изделия выполнялись при В/Т=0,6. Потребность в гипсовом вяжущем на 1 м³ изделий плотностью 1240 кг/м³ будет 1045 кг, а стоимость сырья составит 5750 р. В случае применения ДО на 1 м³ изделия плотностью 1040 кг/м³, не уступающему гипсовому материалу по прочностным показателям, потребуется гипсового вяжущего в количестве 762 кг, расходы на его закупку снизятся и составят 4200 руб. При этом перерабатывается 135 кг ДО. Допустим, что стоимость на их приобретение будет складываться только из затрат на транспортирование и составит ~100 р. В качестве регулятора сроков схватывания рационально использование измельченных отходов производимых гипсовых изделий, поэтому этой составляющей в расчете пренебрегалось. Дополнительные затраты на приобретение гиперпластификатора MELFLUX 2651F (~2,7 кг на расчетное количество материала) составят ~1450 р (по курсу 1 евро=60 р). В целом затраты на сырье в случае переработки отходов составят 5750 р, т. е. совпадают с затратами без переработки ДО.

В связи с доказанной возможностью использования ДО, исследование таких свойств образцов оптимальных составов, как горючесть и биостойкость, а также характеристик для расчета индекса изоляции шума конструкций с их использованием могут, быть продолжены.

Таким образом, древесные отходы, получаемые от распиловки и вырезания замка при производстве напольных ламинатных покрытий, могут быть использованы в качестве органического заполнителя в гипсовых изделиях без дополнительной обработки. Введение древесных отходов в гипсовое тесто требует использования гиперпластификаторов и регуляторов сроков схватывания для обеспечения технологичности его формования. Содержание древесных отходов в композициях до 15% обеспечивает получение изделий пониженной плотности при сохранении высоких прочностных показателей. Экономическая целесообразность использования древесных отходов при выпуске гипсовых изделий также вполне очевидна.

Список литературы

- Юмашева Е.И. Российская гипсовая отрасль вышла на европейский уровень технологии и качества // *Строительные материалы*. 2014. № 11. С. 36–38.
- Бурьянов А.Ф. Эффективные гипсовые материалы для устройства межкомнатных перегородок // *Строительные материалы*. 2008. № 8. С. 30–34.
- Яцун И.В., Ветошкин Ю.И., Шишкина С.Б. Применение отходов деревоперерабатывающих производств в изготовлении конструкционных материалов со специфическими свойствами // *Лесотехнический журнал*. 2014. № 3. С. 220–229.
- Коротаев Э.И., Симонов В.И. Производство строительных материалов из древесных отходов. М.: Лесная промышленность. 1972. 144 с.
- 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.
- Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Р., Кайнов П.А. Исследование эксплуатационных свойств цементно-стружечных плит на основе термически модифицированного древесного сырья // *Известия КГАСУ*. 2014. № 4. С. 298–302.
- Пустовгар А.П., Бурьянов А.Ф., Василик П.Г. Особенности применения гиперпластификаторов в сухих строительных смесях // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 62–65.
- Патент РФ 2416581. Модификаторы для гипсовых суспензий и способ их применения / Леттекман Дэннис М., Шейк Майкл П., Лю Цинся, Уилсон Джон В., Рэндалл Брайан, Блэкбэрн Дэвид Р. Заявл. 13.06.2006. Опубл. 20.04.2011. Бюл. № 11.
- Патент РФ 2448921. Комплексная модифицирующая добавка для бетонных растворов / Долгорев В.А. Заявл. 05.07.2010. Опубл. 27.04.2012. Бюл. № 12.

References

- Yumasheva E.I. Russian Gypsum Industry Entered the European Level of Technology and Quality. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 11, pp. 36–38. (In Russian).
- Bur'yanov A.F. Effective gypsum materials for the device interior partitions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 8, pp. 30–34. (In Russian).
- Yatsun I.V., Vetoshkin Yu.I., Shishkina S.B. The use of waste wood processing industries in the production of construction materials with specific properties. *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2014. No. 3, pp. 220–229.
- Korotaev E.I., Simonov V.I. Proizvodstvo stroitel'nykh materialov iz drevesnykh otkhodov [Production of building materials from wood waste]. Moscow: Lesnaya promyshlennost'. 1972. 144 p.
- Il'ichev V.A., Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N. 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).
- Khasanshin R.R., Safin R.R., Kainov P.A. Research of operational properties of cement-bonded boards based on thermally modified wood raw material. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 4, pp. 298–302. (In Russian).
- Pustovgar A.P., Bur'yanov A.F., Vasilik P.G. Features of the Use of Hyperplasticizers in Dry Building Mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 12, pp. 62–65. (In Russian).
- Patent RF 2416581. *Modifikatory dlya gipsovykh suspenzii i sposob ikh primeneniya* [Modifiers for the gypsum slurry and the method of their application]. Lettekman Dennis M., Sheik Maikl P., Lyu Tsinsya, Uilson Dzhon V., Rendall Braian, Blekbern David R. Declared 13.06.2006. Published 20.04.2011. Bulletin No. 11. (In Russian).
- Patent RF 2448921. *Kompleksnaya modifitsiruyushchaya dobavka dlya betonnykh rastvorov* [Integrated builder for concrete solutions]. Dolgorev V.A. Declared 05.07.2010. Published 27.04.2012. Bulletin No. 12. (In Russian).

Новый ретиспергируемый полимерный порошок для гипсовых материалов: дополнительные свойства и преимущества

По данным различных исследований, доля гипсовых материалов в сегменте отделочных материалов составляет около 50% и продолжает расти.

К числу положительных характеристик сухих смесей на основе гипса можно отнести более низкий расход смеси на 1 м² в сравнении с цементными, высокую скорость работы. Следует также отметить создание микроклимата в помещениях за счет нормализации влажности воздуха при использовании гипсовых материалов. Не последнее место занимает и экологичность.

В то же время гипсовые материалы не лишены недостатков. Так, штукатурки и шпаклевки могут крошиться, легко царапаются, становятся шероховатыми после высыхания и схватывания. В неумелых руках высокая скорость твердения может приводить к дефектам декоративных покрытий, трещин в швах между листами гипсокартона и другим распространенным дефектам.

Для того чтобы получить материал, близкий к идеальному, необходимо сочетать положительные характеристики гипса и значительно снизить его недостатки. Поэтому компания Ваккер Хеми задалась целью разработать ретиспергируемый полимерный порошок специально для гипсовых составов. Результатом работы стал Vinnapas 4800G. Исходя из пожеланий заказчиков введение РПП должно придать следующие характеристики:

- сочетать несочетаемое – удобство нанесения и высокую вязкость растворной массы;
- материалам на основе гипса придавать гладкость поверхности после нанесения;
- сглаживать цвет при неравномерной толщине шпатлевок, штукатурок и др.;
- увеличить время между началом и концом схватывания, при этом сохранить прочность.

Удобнаносимость

В понятие «удобнаносимость» многие производители смесей включают сразу несколько характеристик. Во-первых, материал при нанесении толстым слоем не должен стекать по стене, при этом после нанесения штукатурных растворов должна оставаться возможность быстро и легко проводить выравнивание шпателем. В данном случае можно говорить о том, что на удобнаносимость благоприятно влияет проявление тиксотропии материала. При малых скоростях сдвига получается очень высокая вязкость, при увеличении скорости вязкость падает.

Этого эффекта можно добиться несколькими путями. Широко применяемый в настоящее время подход – введение эфиров крахмала. Различные аспекты уже были описаны многократно, в том числе и в работе [1]. Однако введение дополнительных добавок в производственный цикл не всегда удобно с точки зрения технологии. Поэтому можно предположить, что сочетание необходимых свойств в одной добавке будет востребовано профессионалами-технологами.

На примере нескольких рецептов рассмотрим влияние введения нового полимерного порошка на гипсовую шпаклевку.

Готовый раствор шпаклевки изучали с помощью вискозиметра Brookfield RV DV-II+. Около 1 % закручивания пружины достаточно для варьирования скорости сдвига. Для измерения использовали геликоидный адаптер. Скорости вращения шпинделя выбрали из диапазона от 2 до 50 об./мин. Режимы были выбраны не случайно, так как линейная скорость сдвига при нанесении шпаклевки мастером варьируется от 0,6 до 1 м/с в зависимости от используемого инструмента и опыта работы. В данном случае этот диапазон перекрывается при скоростях вращения от 20 до 50 об./мин.

Для оценки влияния полимерной добавки использовали рецептуры, приведенные в табл. 1. На рис. 1. представлены изменения вязкости от скорости вращения шпинделя. На основании полученных данных можно утверждать, что исходный материал уже обладает тиксотропными свойствами. Введение добавки позволяет увеличить статическую вязкость примерно на 400000 сП. Это позволит не только получить более тиксотропный материал, но и подобрать то количество воды затворения, которое удобно мастеру. Другими словами, введение полимерной добавки позволяет улучшить удобнаносимость и дает возможность мастерам подбирать консистенцию раствора под свои требования.

Цвет и прочность в слоях разной толщины

Особенностью шпаклевочных составов является появление цветных пятен при неравномерном высыхании. Появление данного дефекта поверхности мы объяс-

Описание используемых рецептов

	1	2	3
Гипс Г-4 Б2, г. Новомосковск, г	400	400	400
Микрокальцит 100 мкм, г	557	557	557
Известь гидратная, г	30	30	30
Mecellose FMC 7150, г	3	3	3
Vinnapas 4800G, г		5	10
Винная кислота, г	0,3	0,3	0,2*
Количество воды для затворения, мл/кг	400	400	400

* Так как полимерная добавка снижает скорость схватывания гипса, количество замедлителя в рецептуре 3 было уменьшено на 30%.

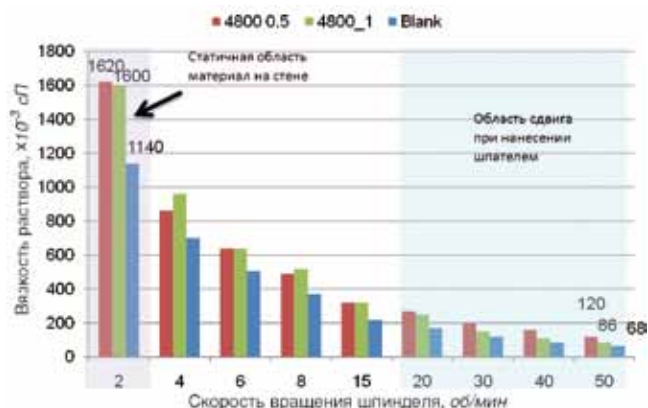


Рис. 1. Зависимость вязкости растворной смеси через 30 мин после затворения водой от скорости вращения шпинделя

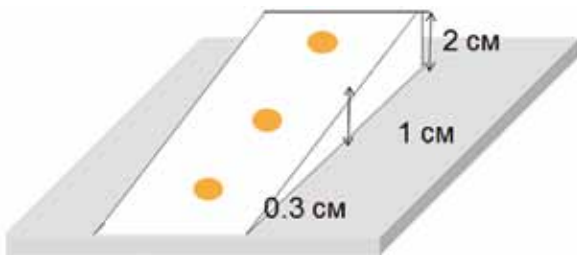


Рис. 2. Схема проведения испытаний. Точками показаны места ударов и указана толщина шпаклевки

заны не совсем ровным стенам. Толщина слоя шпаклевки может варьироваться от нескольких миллиметров до сантиметра. В тонком слое физическое высыхание составов превалирует над схватыванием, так как воду из шпаклевки поглощает и субстрат, и окружающий воздух. С другой стороны, в очень толстом слое введенные эфиры крахмала и целлюлозы значительно увеличивают влагоудержание, что препятствует нормальному высыханию гипсового камня, его поверхность будет оставаться темной, влажной и непрочной.

Сочетание двух методов: ГОСТ 31387–2008 «Смеси сухие строительные на гипсовом вяжущем. Технические условия» и определения прочности методом упругого отскока по ГОСТ 22690–88 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля» проведения сравнительных испытаний образцов, изготовленных по разным рецептурам. Использовали прибор ОНИКС–2.6. (НПП «Интерприбор»).

Оказалось, что введение полимерной добавки позволило нормализовать прочность шпаклевки через 24 и 48 ч после нанесения (рис. 3). Данный профиль показывает нормализацию цвета: более серые места содержат больше воды, значит, менее прочные и наоборот.

В дополнение можно отметить, что независимо от прочности составов, обрабатываемость поверхности улучшается с увеличением количества РПП. Введение Vinnapas 4800G в количестве 1% позволяет получать более гладкую поверхность сразу после нанесения. Это значительно сокращает время на ошкуривание шпаклевки и ее подготовки для финишной отделки.

Адгезия шпаклевки к бетону до и после начала схватывания

Гипсовые материалы отличаются высокой скоростью отверждения. В первую очередь это удобно заказчику. Мастера сталкиваются с тем, что затворенный материал начинает схватываться в ведре, что свидетельствует о необходимости ускорения работ. После начала схватывания растворная смесь загущается, шпаклевку сложнее ровнять и при этом ее свойства могут значительно измениться. В рассматриваемых рецептурах время начала схватывания составляет около 80 мин. Однако время окончания схватывания увеличилось со 110 (рецептура 1) до 130 мин (рецептура 3), что позволяет провести нанесение в двух режимах — до начала схватывания и через 15 мин после.

Список литературы

1. Губская А.Г., Дубровина Г.Г., Назаров Д.В. Гипсовые сухие строительные смеси. Производство и применение. Минск: Ковчег. 2014. 184 с.

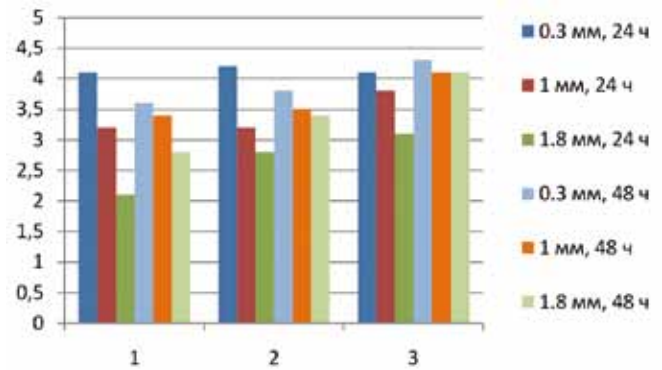


Рис. 3. Прочность при сжатии шпаклевки при разной толщине слоя через 24 и 48 ч после нанесения

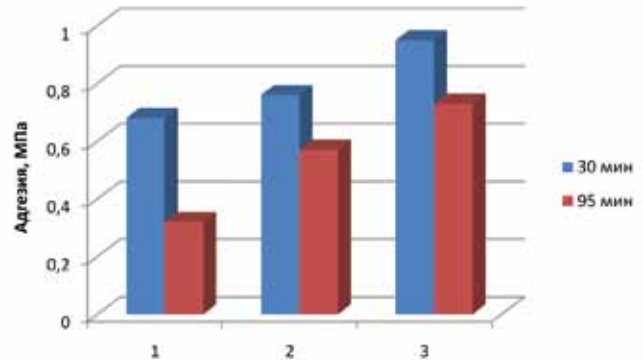


Рис. 4. Значение адгезии к бетонной плите образцов на 7 сут после нанесения в двух режимах: 30 и 95 мин после затворения водой. Начало схватывания для всех рецептур около 80 мин

Введение специального полимера позволяет не только увеличить исходную адгезию до 40%, но и уменьшить ее снижения через 15 мин после начала схватывания (рис. 4).

Таким образом, на основании полученных результатов можно заключить, что новый продукт позволяет:

- улучшить удобоукладываемость шпаклевоочного состава, придавая ему тиксотропные свойства и увеличивая время между началом и концом схватывания;
- ускорить процесс обработки за счет нормирования процесса твердения гипса, получения гладкой поверхности до ошкуривания. В совокупности это дает ровный цвет, гладкую поверхность и снижение времени на выполнение работ;
- дополнительно может компенсировать технологические ошибки, допускаемые при нанесении, а именно повышение адгезии после начала схватывания гипса, придание поверхности шпаклевки гладкости и однородности.

Работа с гипсовыми материалами, описанными в статье, является небольшой частью той деятельности, которую осуществляет технический центр компании Вакер Хеми АГ в Москве на протяжении последних 12 лет.

Мы всегда готовы к совместным работам и новым проектам, которые помогут нашим партнерам.

References

1. A.G. Gubskaya, G.G. Dubrovina, D.V. Nazarov. Gipsovye sukhie stroitel'nye smesi. Proizvodstvo i primeneniye [Plaster dry mixes. The production and use]. Minsk: Kovcheg. 2014. 184 p.

ООО «Вакер Хеми Рус» 117105, Москва, Варшавское ш., 37 А
Тел.: (495) 604 41 11; факс: (499) 611 24 14 E-mail: andrey.glushkov@wacker.com

Н.А. ГАЛЬЦЕВА, магистр (nady_19@mail.ru), А.Ф. БУРЬЯНОВ, д-р техн. наук, Е.Н. БУЛДЫЖОВА, магистр, В.Г. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук

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

Использование синтетического ангидрита сульфата кальция для приготовления закладочных смесей

Приведены результаты исследований по использованию синтетического ангидрита сульфата кальция, полученного при взаимодействии концентрированной H_2SO_4 и молотого известняка, для приготовления рецептур закладочных смесей типа ангидритошлакоцементные с максимальным сокращением доли доменного шлака и цемента, пригодных для закладки выработанного пространства рудников. Определены оптимальные составы закладочных смесей на основе модифицированного ангидритового вяжущего с портландцементом в количестве 2,5–5% и сульфата калия в количестве 0,5–2% от массы сырья, домолотого до удельной поверхности $4500 \text{ см}^2/\text{г}$, отвечающих всем требованиям, предъявляемым к закладочным смесям по технологическим и физико-механическим свойствам. Полученные результаты исследований показали возможность и перспективность применения модифицированного синтетического сульфата кальция в составах закладочных смесей.

Ключевые слова: синтетический ангидрит, закладочная смесь, добавки.

N.A.GAL'TSEVA, Master, A.F. BUR'YANOV, Doctor of Sciences (Engineering), E.N. BULDYZHOVA, Master, V.G. SOLOV'EV, Candidate of Sciences (Engineering) Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

The Use of Synthetic Calcium Sulfate Anhydrite for Production of Filling Mixtures

Results of the study of using the synthetic calcium sulfate anhydrite, produced at the interaction of concentrated H_2SO_4 and flour limestone, for preparation of formulation of filling mixtures of anhydrite-slag-cement type with maximum reducing the part of blast-furnace slag and cement suitable for stowing of the mined-out space of mines are presented. Optimal compositions of filling mixtures on the basis of the modified anhydrite binder with 2.5–5% of Portland cement and 0.5–2% of potassium sulphate from the mass of raw material grinded up to the specific surface of $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$ have been determined; they meet all the requirements for filling mixtures concerning technological and physical-mechanical properties.

Keywords: synthetic anhydrite, filling mixture, additive.

Исследования по активации ангидрита ведутся более 100 лет, и в настоящее время известны различные добавки, позволяющие получать материалы с заданными свойствами. [1]

Пирометаллургическая переработка медь-, цинк-, никель-, и свинецсодержащего сырья сопряжена с выделением большого количества сернистого ангидрита. Например, по данным М.Н. Нафталь, в 2009 г. количество выбрасываемого SO_2 предприятиями Заполярного филиала ОАО «ГМК «Норильский никель» составило 2 млн т. Одним из распространенных методов утилизации SO_2 на заводах цветной металлургии является их переработка в серную кислоту контактным методом. В свою очередь, концентрированная H_2SO_4 с учетом логистики не всегда может быть переработана в традиционные целевые продукты (минеральные удобрения и др.) с достижением положительной экономической эффективности [2].

Возможный профицит серной кислоты на предприятиях цветной металлургии повышает актуальность новых (альтернативных) направлений утилизации серной кислоты, например путем обработки ее кальцийсодержащими нейтрализующими реагентами (известняк, мел, известь, известковое молоко) с получением различных модификаций сульфата кальция, которые в конечном счете используются в качестве гипсовых вяжущих. В частности, по данному направлению ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» выполнены в лабораторных условиях работы по получению из серной кислоты техногенного ангидрита сульфата кальция с последующим использованием его для приготовления закладочных смесей для закладки отработанного пространства рудников [3, 4].

Основной целью исследования являлась разработка рекомендаций по использованию синтетического ангидрита сульфата кальция, полученного при взаимодействии концентрированной H_2SO_4 и молотого известняка для приготовления рецептур закладочных смесей типа ангидритошлакоцементные (АШЦ) с максимальным сокра-

щением доли доменного шлака и цемента, пригодных для закладки выработанного пространства рудников.

Для проведения исследований использовался синтетический ангидрит, предоставленный НИУИФ. Свойства предоставленных проб синтетического ангидрита приведены в табл. 1.

В качестве мелкого заполнителя для изготовления закладочных смесей применяли природный песок для строительных работ (поставщик ОАО «Хромцовский карьер»).

Выбор методов испытания закладочных смесей, изготовленных из модифицированного ангидритового вяжущего и строительного песка, основывался на методических рекомендациях по контролю качества закладочных смесей и действующих нормативных документах по испытаниям строительных материалов.

В связи с исследованием закладочных смесей, изготавливаемых с применением только мелкого заполните-

Таблица 1

Характеристики исходного сырья

Характеристика	Проба № 1	Проба № 2
Дата изготовления	19.05–26.06.2014	09.07–13.08.2014
Удельная поверхность $CaSO_4$, $\text{см}^2/\text{г}$	1340–1580	1510–1971
Содержание основного вещества, %	95	97
Содержание H_2O общей, %	1,2	0,94
Содержание остаточной серной кислоты, %	0,03	0,005
Ситовый состав ангидрита, %	100 % <60 мкм	100 % <60 мкм
Удельная поверхность, %	1600	1560
$H_2O_{\text{общ}}/H_2O_{\text{крист}}$, %	0,7/0,7	1,2/1,2

ля (строительного песка), их подвижность определялась следующими методами:

- по погружению эталонного конуса в соответствии с ГОСТ 5802 «Растворы строительные. Методы испытаний»;
- по расплыву раствора из металлического конуса стандартных размеров по ГОСТ 23789 «Вязущие гипсовые. Методы испытаний».

Плотность закладочного раствора и затвердевшей закладочной смеси определяли по ГОСТ 5802.

Водоотделение закладочной смеси определяли по методике, приведенной в «Методических рекомендациях по контролю качества закладочных смесей» для смеси с мелким заполнителем.

Прочность при сжатии образцов закладочных смесей определялась на образцах-балочках размером 4×4×16 см в соответствии с «Методическими рекомендациями по контролю качества закладочных смесей» по методике ГОСТ 23789.

Водостойкость образцов закладочных смесей оценивалась по той же методике, что и коэффициент размягчения ангидрированного вяжущего, приведенной в ТУ-21-0284757-1–90.

На основании проведенных опытов выбран оптимальный состав закладочных смесей. В качестве заполнителя использовали только мелкий заполнитель – песок строительный. В качестве модифицированного вяжущего принят состав с добавками портландцемента ПЦ 500 Д0 – 2,5 % и K_2SO_4 – 1 %.

На начальном этапе исследования варьировали отношение вяжущего и заполнителя – от 0,29 до 1, при этом количество воды определялось экспериментально исходя из требований по удобоукладываемости закладочных смесей. В результате проведенных исследований определено, что при соотношении вяжущее:заполнитель от 1:2 (0,5) и выше прочность при сжатии закладочных смесей увеличивается от 8,7 до 20,7 МПа, коэффициент водостойкости равен 0,51–0,6, при этом технологические свойства закладочных смесей соответствовали требуемым параметрам [5].

Для получения составов закладочных смесей со средней прочностью в водонасыщенном состоянии порядка 10 МПа разработаны составы закладочных смесей с дополнительным содержанием цемента и шлака [6].

В результате проведенных исследований определены два состава закладочных смесей, в наибольшей степени соответствующие требованиям, предъявляемым к закладочным смесям. Составы закладочных смесей и их свой-

Таблица 2

Оптимальные составы и свойства закладочных смесей

Содержание компонентов в смеси	Закладочная смесь № 1	Закладочная смесь № 2
Цемент, кг/м ³	22	0
Модифицированное вяжущее*, кг/м ³	840	740
Песок, кг/м ³	840	1110
Вода, кг/м ³	370	350
Свойства закладочных смесей		
Плотность, кг/м ³	2040	2150
Погружение конуса, см	14	14
Растекаемость (по расплыву смеси из вискозиметра Суттарда), см	12	12
Водоотделение, %	0,1	0,3-0,8
Прочность в возрасте 1 сут, МПа	6–11,1	3–5,3
Прочность в возрасте 7 сут, МПа	15,1–24,1	10–10,7
Прочность в возрасте 7 сут в водонасыщенном состоянии, МПа	8,3–14,5	5,2–6,4
Коэффициент размягчения	0,55-0,6	0,52-0,6

*В качестве вяжущего использовался синтетический сульфат кальция с добавками портландцемента ПЦ 500-Д0 и сульфата калия в количестве 2,5 и 1 мас. %, домолотый до удельной поверхности 3500–4500 см²/г.

ства приведены в табл. 2. Данные составы отвечают всем требованиям, предъявляемым к закладочным смесям по технологическим и физико-механическим свойствам.

Полученные результаты исследований показали возможность и перспективность применения модифицированного синтетического сульфата кальция в составах закладочных смесей. Применение различных местных заполнителей (крупного и мелкого) при разработке составов закладочных смесей различных марок на основе модифицированного синтетического сульфата кальция позволит достигнуть результатов, полученных в данном исследовании, а в отдельных случаях возможно получить более высокие результаты.

Список литературы

1. Фишер Х.-Б., Второв Б.Б. Влияние активаторов твердения на свойства природного ангидрида. *II Международное совещание по химии и технологии цемента. Обзорные доклады*. Т. 2. Москва. 2000. С. 53–61.
2. Нафталъ М.Н., Илюхин И.В., Шестакова Р.Д., Козлов А.Н. Альтернативные направления утилизации серы и газов пирометаллургического производства // *Цветные металлы*. 2009. № 8. С. 41–47.
3. Гриневич А.В., Киселев А.А., Кузнецов Е.М., Бурьянов А.Ф., Получение синтетического ангидрида сульфата кальция из концентрированной серной кислоты и молотого известняка // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 16–19.
4. Патент РФ 2445267. *Способ получения сульфата кальция* / Гриневич А.В., Киселев А.А., Бурьянов А.Ф., Кузнецов Е.М., Мошкова В.Г. Заявл. 23.07.2010. Оpubл. 20.03.2012. Бул. № 8.
5. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И. и др. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. М.: Де Нова. 2012. 196 с.
6. Козлов Н.В., Панченко А.И., Бурьянов А.Ф., Соловьев В.Г. Микроструктура гипсового вяжущего повышенной водостойкости // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 72–75.

References

1. Fisher H.-B., Vtorov B.B. Influence of activators of hardening on the properties of natural anhydrite. *II International Conference on Chemistry and Technology of cement. Survey reports*. Vol. 2 Moscow 2000, pp.53–61
2. Naftal' M.N., Ilyukhin I.V., Shestakova R.D., Kozlov A.N. Alternate the direction of utilization of sulfur gases and pyrometallurgical production. *Tsvetnye metall*. 2009. No. 8, pp. 41–47. (In Russian).
3. Grinevitch A.V., Kiselev A.A., Kuznetsov E.M., Bur'yanov A.F. Synthetically produced calcium sulfate anhydrite of concentrated sulfuric acid and ground limestone. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 11, pp. 16–19. (In Russian).
4. Patent RF 2445267. *Sposob polucheniya sul'fata kal'tsiya* [The method of producing calcium sulfate]. Grinevitch A.V., Kiselev A.A., Bur'yanov A.F., Kuznetsov E.M., Moshkova V.G. Declared 23.07.2010. Published 20.03.2012. Bulletin No. 8. (In Russian).
5. Belov V.V., Bur'yanov A.F., Yakovlev G.I. etc. Modifikatsiya struktury i svoistv stroitel'nykh kompozitov na osnove sul'fata kal'tsiya [Modification of the structure and properties of composites based on building calcium sulfate]. Moscow: De Nova. 2012. 196 p.
6. Kozlov N.V., Panchenko A.I., Bur'yanov A.F., Solov'yov V.G. The microstructure of gypsum binder increased water resistance. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 72–75. (In Russian).

Мифы и реальные преимущества ГИПСОВЫХ НАЛИВНЫХ ПОЛОВ

Об опыте использования высокопрочного гипса в наливных полах

Наливные полы на гипсовой основе — продукт для строительного рынка относительно новый, однако технология уже успела отлично зарекомендовать себя в среде профессиональных строителей. Одним из флагманов данного направления в России является ТМ FORMAN. Смеси для наливных полов этой марки широко применяются во всех регионах РФ, а спрос на них демонстрирует стабильный и быстрый рост. Рецептуры ТМ FORMAN строители оценивают как оптимальные по соотношению удобства в работе, временных затрат и качества готовой поверхности. Чем обусловлен этот баланс? Наливные полы марки FORMAN созданы на основе высокопрочного гипса (ГВВС), и это кардинально отличает их от продуктов других производителей. Причем при изготовлении FORMAN применяет собственный высокопрочный гипс, на производстве которого ЗАО «СГК» специализируется уже более 70 лет, являясь безусловным лидером этого направления гипсовой отрасли.

О технологичности

Применение высокопрочного гипса в составе наливных полов обеспечивает не только более высокую прочность готовой поверхности, но и ряд дополнительных свойств.

Согласно исследованиям прочность готового пола, имеющего в составе высокопрочный гипс, почти в 2,5 раза выше, чем у полов, созданных на базе строительного гипса, поскольку последний изначально обладает более рыхлой структурой и низкой прочностью. Таким образом, продукт на его основе не может обладать высокими прочностными характеристиками. Кроме того, высокопрочный гипс значительно улучшает технологичность и однородность смеси. Так, основным преимуществом наливных полов является создание идеально ровной поверхности на любых основаниях. Высокопрочный гипс в составах марки FORMAN обеспечивает максимальную текучесть готовой смеси и, как следствие, удобство в работе, гарантированно ровную и качественную готовую поверхность.

Наливные полы, созданные на основе высокопрочного гипса, демонстрируют стабильность качества, поскольку минимальное количество химии в составе приводит к снижению роли человеческого фактора и связанных с ним рисков.

Еще одним аспектом технологичности гипсовых полов FORMAN является возможность использовать все их виды для ручного и машинного нанесения, а также применять с системой «теплый пол».

Об экологичности

Общеизвестно, что гипс сам по себе является экологически чистым, натуральным природным материалом.

Сухие смеси, изготовленные на его основе, безопасны как для здоровья людей, которые будут пользоваться помещением в дальнейшем, так и для строителей, работающих с растворами. Отличительной особенностью гипса является гипоаллергенность, а также способность естественным образом регулировать уровень влажности, создавая тем самым благоприятный микроклимат помещения. Поэтому профессиональные строители все чаще рекомендуют использовать сухие смеси на гипсовой основе в спальнях, детских и гостиных.

Если подходить к выбору наливных полов с точки зрения их экологичности, в приоритете опять-таки оказываются гипсовые полы на основе высокопрочного гипса. Почему? Чтобы добиться того уровня пластичности и прочности, который изначально присущ сухим смесям на базе ГВВС, в продукты из строительного гипса необходимо добавить большое количество модификационных добавок, что автоматически приводит к снижению их экологичности.

О влагостойкости

Предвзятое отношение к гипсу как к материалу, боящемуся воды, уходит в прошлое. И это прямо подтверждает растущий объем производства сухих строительных смесей на гипсовой основе. По данным экспертов, в 2010 г. темп прироста выпуска гипсовых ССС составил 22%, в 2011–2012 гг. — по 17%, в 2013 г. — 7%; в 2014 г., несмотря на непростую экономическую ситуацию, рынок полов вырос на 11%. Благодаря новым разработкам гипсовые смеси успешно используются не только в сухих помещениях, но и в помещениях с повышенной влажностью. В полной мере это относится и к наливным полам. В частности, технологи ЗАО «СГК» разработали рецептуру на основе высокопрочного гипса, позволяющую готовому полу до нескольких суток выдерживать воздействие воды. При этом поверхность не претерпевает качественных изменений: пол не теряет прочность, и после высыхания влаги его свойства полностью восстанавливаются.

О многозадачности

Благодаря использованию высокопрочного гипса в рецептурах технологи FORMAN разработали полноценную линейку наливных полов, каждый из которых эффективно решает определенный спектр задач. В ассортименте FORMAN присутствуют смеси, предназначенные для базового и финишного выравнивания, для применения в сухих и влажных помещениях, а также особо быстротвердеющий наливной пол премиум-класса, состав которого обеспечивает повышенный комфорт в работе и позволяет добиться прекрасного результата даже далеко не профессионалам.

Подробную информацию о наливных полах марки FORMAN, а также о другой продукции Самарского гипсового комбината можно найти на сайте www.samaragips.ru

УДК 631.821.2

В.Б. ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ¹, канд. техн. наук, В.В. БЕЛОВ¹, д-р техн. наук, Т.Б. НОВИЧЕНКОВА¹, канд. техн. наук, А.Ф. БУРЬЯНОВ², д-р техн. наук, Ю.Ю. ПОЛЕОНОВА¹, инженер, К.С. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ¹, магистр

¹ Тверской государственный технический университет (170023, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22);

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

Ресурсосберегающие безобжиговые гипсовые композиты

В работе приведены результаты исследований возможности получения безобжиговых гипсовых композитов по ресурсосберегающей технологии на основе гипсовых отходов керамического производства и отходов производства базальтового волокна. Введение в состав сырьевой смеси базальтовой модифицирующей добавки позволяет не только повысить физико-механические свойства гипсового композита, но также значительно снизить себестоимость изделий и вовлечь в производство ценное техногенное сырье.

Ключевые слова: дисперсная система, структура, гипс, отходы производства, базальтовое волокно.

V.B. PETROPAVLOVSKAYA¹, Candidate of Sciences (Engineering), V.V. BELOV¹, Doctor of Sciences (Engineering), T.B. NOVICHENKOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering), A.F. BURIANOV², Doctor of Sciences (Engineering), Yu.Yu. POLEONOVA¹, Engineer, K.S. PETROPAVLOVSKY¹, Master

¹ Tver State Technical University

² Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

Resource Saving Unburned Gypsum Composites

The article presents results of the study of possibilities to obtain unburned gypsum composites with the use of resource saving technique on the basis of gypsum waste of ceramic production and waste of basalt fiber production. The introduction of a basalt modifying additive into the composition of the raw mix makes it possible not only to improve the physical-mechanical properties of gypsum composite but also significantly reduce the cost of articles and involve valuable anthropogenic raw materials in the production.

Keywords: disperse system, structure, gypsum, production waste, basalt fiber.

Решение проблем ресурсосбережения и энергоэффективности позволяет обеспечить высокую конкурентоспособность продукции в области строительных материалов и строительного производства в целом.

Внедрение безобжиговых технологий в производство гипсовых строительных изделий и конструкций могло бы не только снизить затраты на добычу, транспортировку и переработку сырья, но и на сушку готовых изделий [1, 2].

Российская Федерация располагает значительными запасами гипсового камня, а вовлечение гипсовых и гипсосодержащих отходов создает дополнительные преимущества в конкурентной борьбе на строительном рынке [3, 4, 5]. В настоящее время в мире ежегодно добывается около 100 млн т гипсовой породы, одновременно в качестве побочных продуктов производится около 150 млн т синтетического гипса [6].

Повысить эксплуатационные характеристики безобжиговых изделий возможно за счет модификации их структуры минеральными добавками, повышающими их водостойкость и огнестойкость [7]. В настоящее время промышленность обладает рядом технологий по производству изделий, где в качестве добавки применяют равномерно распределенное в гипсовой массе минеральное волокно, например базальтовое для армирования гипсовой матрицы.

Интерес представляет не только базальтовое волокно, но и пылевидные отходы его производства. Ввиду того что применение базальтового волокна в производстве гипсовых изделий не всегда эффективно [8], в данной работе проведены исследования возможности получения модифицированных безобжиговых изделий на основе гипсовых отходов и базальтовой пыли.

В исследованиях возможность модификации гипсового камня ультрадисперсной базальтовой добавкой оценивали по результатам изучения физико-механических свойств безобжигового гипсового композита, получаемого методом полусухого гиперпрессования сырьевой смеси оптимального зернового состава.

В качестве основного исходного материала использовался техногенный гипс в виде отработанных форм Самарского фаянсового производства. Бинарные смеси гипсовых порошков отвечали ГОСТ 125–79** (содержание дигидрата сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в составе отхода в среднем составляло 87 %). Порошки различной

тонинны помола получали путем дробления отходов в щековой дробилке с последующим помолом в лабораторной шаровой мельнице. Приготовление бинарных сырьевых смесей производилось перемешиванием вручную.

В качестве ультрадисперсного модификатора в исследованиях использовались отходы производства базальтового волокна ООО «Парок» (Тверская обл.).

Анализ содержания аморфной фазы в образцах выполнялся методом сравнения площадей гало и рефлексов кристаллических фаз. Фазовый состав базальтового отхода приведен в табл. 1. На зарегистрированной дифрактограмме отхода базальтового волокна (рис. 1) наблюдается увеличение фоновой интенсивности при $d=2,5-3,4 \text{ \AA}$, которое указывает на наличие в исследуемом материале аморфной составляющей.

Результаты количественного РФА по методу Ритвельда приведены в табл. 2.

Определение химического состава производилось на сканирующем микроскопе Quanta 200 с приставкой для элементного анализа Apollo 40 методом энергодисперсионной спектроскопии. Результаты проведенного анализа приведены в табл. 3, 4.

Зерновой состав гипсовых порошков и отхода базальтового волокна оценивали по результатам дисперсионного анализа с помощью лазерного анализатора типа Fritsch Particle Sizer 'analysette 22' на базе МГСУ.

Результаты исследования гранулометрического состава порошкообразного отхода базальтового производства приведены на рис. 2.

Среднюю плотность и прочность прессованных гипсовых образцов-цилиндров, полученных методом полусухого прессования на лабораторном гидравлическом прессе и выдержанных 7, 14 и 28 сут во влажных условиях, оценивали по стандартным методикам согласно ГОСТу. Структурные особенности прессованного композита оценивали методом микроскопии с использованием прибора QIDDYCOME.

Эффективность модифицирующей добавки отхода базальтового производства оценивалась по величинам плотности и прочности безобжигового гипсового композита, полученного на основе сырьевых смесей порошков дигидрата. Содержание базальтовой добавки варьировалось в пределах от 0 до 15 %.

Таблица 1

Фазовый состав отхода производства базальтового волокна ООО «Парок» (мас. %)

Наименование	Кальцит	Доломит	Кварц	NaCl	Аморфная фаза
Отход дробления	2,9	19	4,9	13,2	60

Таблица 2

Фазовый состав техногенного гипсового камня Самарского фаянсового производства (мас. %)

Образец	Двуводный гипс	Ангидрит II	Доломит	Кварц
Техногенный гипсовый отход Самарского производства	87	–	11,9	1,1

Результаты проведенных исследований показали, что введение ультрадисперсного модификатора в состав сырьевой смеси от 5 до 10 % позволяет повысить прочность (рис. 3) и плотность прессованного композита (рис. 4).

Максимум прочности безобжигового гипсового композита составляет 42,26 МПа при 10 % содержания ультрадисперсного модификатора. Кинетика набора прочности безобжигового композита показывает, что введение добавки улучшает гранулометрический состав сырьевой смеси (рис. 5), обеспечивая тем самым плотную упаковку частиц в составе композита и его несколько повышенную среднюю плотность. Однако прочность в отдаленные сроки твердения для модифицированного композита не носит нарастающего характера, как это происходит в случае бездобавочного гипсового образца, что, по-видимому, объясняется более ранним окончанием процесса структурообразования (рис. 4). На рис. 5 приведен оптимальный гранулометрический состав сырьевой смеси модифицированного гипсового композита с 10 %-м содержанием ультрадисперсного модификатора, полу-

Таблица 3

Химический состав техногенного гипсового камня Самарского фаянсового производства (мас. %)

№	Оксид	Содержание
1	SO ₃	57,83
2	CaO	42,17

Таблица 4

Химический состав отхода базальтового производства ООО «Парок»

Наименование оксида	Содержание оксида, %
CO ₂	1,45
Na ₂ O	1,58
MgO	9,06
Al ₂ O ₃	12,14
SiO ₂	52,67
SO ₃	0,65
K ₂ O	0,57
CaO	13,92
TiO ₂	1,1
Fe ₂ O ₃	6,87

ченный с использованием программного расчетного комплекса.

Исследования показали, что ультрадисперсный модификатор не только механически уплотняет структуру безобжигового композита, но и участвует в процессе структурообразования, что подтверждается результатами фазового анализа модифицированного гипсового камня (табл. 5) и исследованиями микроструктуры материала.

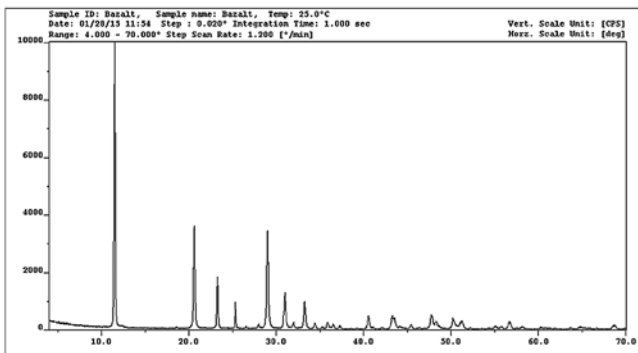


Рис. 1. Дифрактограмма отхода производства базальтового волокна ООО «Парок»

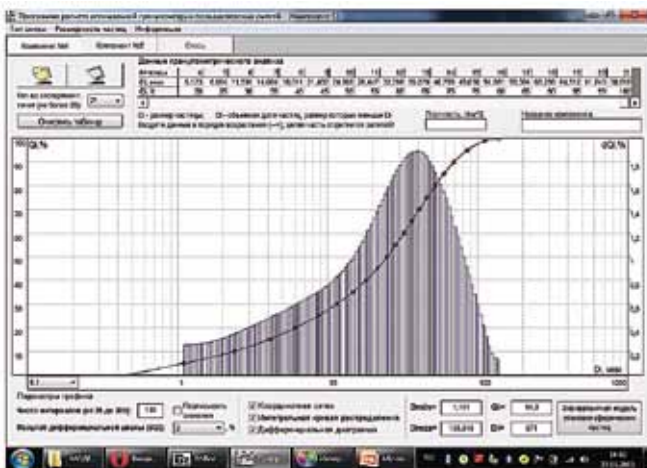


Рис. 2. Гранулометрический состав отхода базальтового производства ООО «Парок»

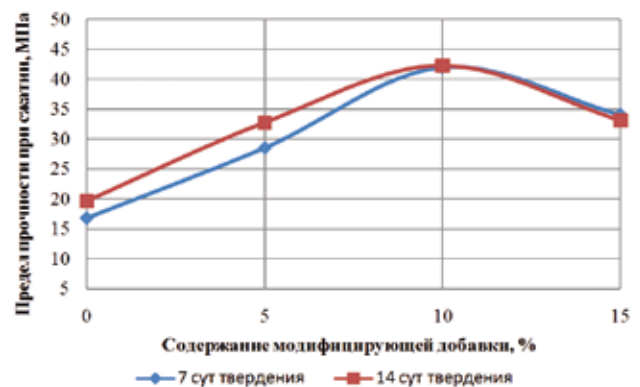


Рис. 3. Зависимость прочности гиперпрессованных гипсовых композитов от процентного содержания ультрадисперсного модификатора и сроков твердения

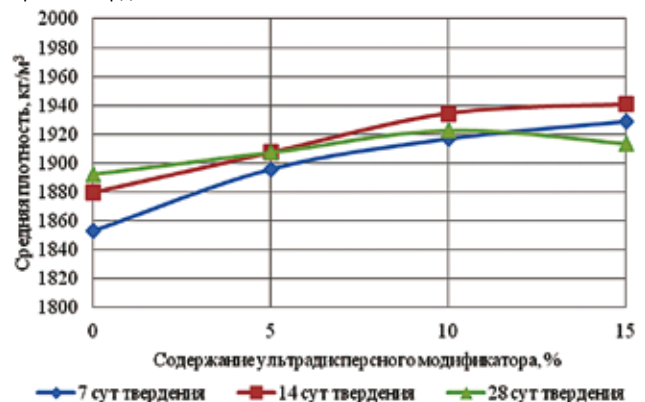


Рис. 4. Зависимость средней плотности гиперпрессованных гипсовых композитов от процентного содержания ультрадисперсного модификатора и сроков твердения

Таблица 5

Фазовый состав модифицированного гипсового композита с добавкой отхода базальтового производства

Наименование	Двуводный гипс	Полуводный гипс	Ангидрит II	Доломит	Кварц	Аморфная фаза
Безобжиговый гипсовый камень с добавкой базальтового отхода	86,5	-	2,6	0,9	-	10

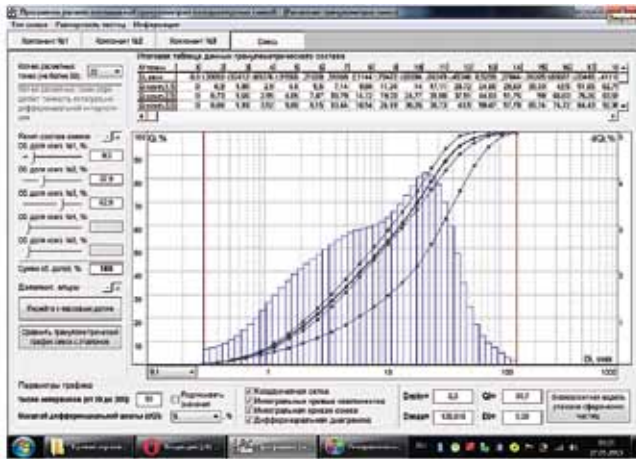


Рис. 5. Гранулометрический состав оптимизированной сырьевой смеси с 10 %-м содержанием ультрадисперсного модификатора

Участие ультрадисперсного модификатора в физико-химических превращениях, по-видимому, обусловлено достаточно высокой химической однородностью кристаллизующегося вещества и подложки согласно представленным исследованиям химического состава материалов.

Результаты микроскопических исследований структуры прессованных образцов безобжигового композита представлены на рис. 6.

Таким образом, установлено, что введение ультрадисперсного модификатора в состав прессованного гип-

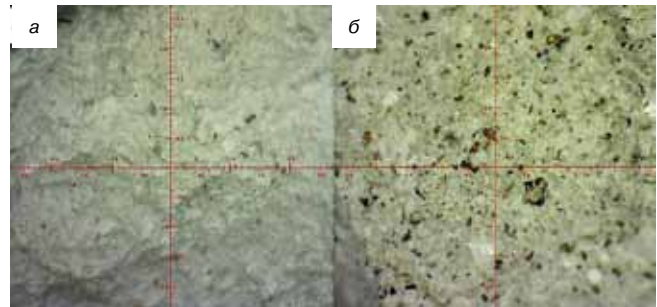


Рис. 6. Микроструктура прессованного композита на основе дигидрата сульфата кальция нормированного зернового состава на 7 сут твердения: а – без добавок; б – с ультрадисперсным модификатором

сового композита обеспечивает повышение его физико-механических свойств, и в первую очередь прочности более чем в три раза.

Повышенные эксплуатационные характеристики получаемого материала обеспечивают его преимущественное применение в производстве строительных изделий для индустриального и жилищного строительства, а применение в качестве основного сырья вторичных ресурсов – гипсовых отходов в виде отработанных форм для литья фаянсового производства и отходов производства базальтового волокна в качестве ультрадисперсного модификатора позволит повысить ресурсную составляющую безобжиговой технологии, а также повысить энергоэффективность производства и снизить себестоимость изделий.

Список литературы

- Петропавловская В.Б., Белов В.В., Новиченкова Т.Б. Регулирование свойств безобжиговых гипсовых материалов // *Строительные материалы*. 2008. № 8. С. 14–15.
- Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Полеонова Ю.Ю., Бурьянов А.Ф. Модифицированные гипсовые безобжиговые композиты // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 76–78.
- Петропавловская В.Б., Белов В.В., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П. Оптимизация внутренней структуры дисперсных систем негидратационного твердения // *Строительные материалы*. 2010. № 7. С. 22–23.
- Петропавловская В.Б., Белов В.В., Бурьянов А.Ф. Твердеющие кристаллизационные системы на основе порошков двуводного гипса // *Строительные материалы*. 2007. № 12. С. 46–47.
- Морева И.В., Медяник В.В., Соколова Ю.А. К вопросу о комплексной активации компонентов при получении гипсовых вяжущих веществ // *Известия вузов. Строительство*. 2008. № 8. С. 17–20.
- Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И., Петропавловская В.Б., Фишер Х.-Б., Маева И.С., Новиченкова Т.Б. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. М.: Де Нова. 2012. 196 с.
- Хежев Х.А., Пухаренко Ю.В. Гипсобетонные композиты, армированные базальтовыми волокнами // *Вестник гражданских инженеров*. 2013. № 2. С. 152–156.
- Рязанов Р.Р., Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Дисперсно-армированные строительные композиционные материалы на основе гипсового вяжущего // *Известия КГАСУ*. 2011. № 3. С. 145–149.

References

- Petropavlovskaya V.B., Belov V.V., Novichenkova T.B. Regulating properties unburned gypsum materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 8, pp. 14–15. (In Russian).
- Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Poleonova Y.Y., Bur'yanov A.F. Modified Gypsum Unburned Composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 76–78. (In Russian).
- Petropavlovskaya V.B., Belov V.V., Novichenkova T.B., Bur'yanov A.F., Pustovgar A.P. Optimization of internal structure of disperse systems of not hydration hardening. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 7, pp. 22–23. (In Russian).
- Petropavlovskaya V.B., Belov V.V., Bur'yanov A.F. Hardening crystallization system based powders dihydrate gypsum. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 12, pp. 46–47. (In Russian).
- Moreva I.V., Medyanik V.V., Sokolova Y.A. On the question of a comprehensive activation of components in the preparation of gypsum binders. *Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo*. 2008. No. 8, pp. 17–20. (In Russian).
- Belov V.V., Bur'yanov A.F., Yakovlev G.I., Petropavlovskaya V.B., Fisher Kh.-B., Maeva I.S., Novichenkova T.B. Modifikatsiya struktury i svoystv stroitel'nykh kompozitov na osnove sul'fata kal'tsiya [Modification of the structure and properties of composites based on building calcium sulfate]. Moscow: De Nova. 2012. 196 p.
- Khezhev Kh.A., Pukhareno Y.V. Gypsum concrete composites reinforced with basalt fibers. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2013. No. 2, pp. 152–156. (In Russian).
- Ryazapov R.R., Mukhametrakhimov R.Kh., Izotov V.S. Dispersion-reinforced construction composite materials based on gypsum binder. *Izvestiya KGASU*. 2011. No. 3, pp. 145–149. (In Russian).

УДК 666.914.5

Е.Н. БУЛДЫЖОВА, магистр (nusik-90@yandex.ru), А.Ф. БУРЬЯНОВ, д-р техн.наук,
Н.А. ГАЛЬЦЕВА, магистр, В.Г. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук

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

Сухие строительные смеси на основе многофазового гипсового вяжущего

Свойства смесей на основе гипса в значительной степени определяются составом и состоянием структуры матрицы, поэтому их качество напрямую зависит от вяжущего вещества, которое используется в составе сухой смеси. Старение – процесс улучшения и стабилизации свойств гипсовых вяжущих. В работе представлена перспективность использования процесса искусственного старения в производстве сухих строительных смесей на основе многофазового гипсового вяжущего.

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

A.F. BUR'YANOV, Doctor of Sciences (Engineering), E.N. BULDYZHOVA, Master, N.A.GAL'TSEVA, Master, V.G. SOLOV'EV, Candidate of Sciences (Engineering) Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Hwy, 129337, Moscow, Russian Federation)

Dry Building Mixes on the Basis of a Multiphase Gypsum Binder

Properties of mixes on the basis of gypsum are largely determined by the composition and condition of the matrix structure, therefore their quality directly depends on the binder which is used in the dry mix composition. Aging is the process of improving and stabilizing properties of gypsum binders. The work presents the prospect of using the aging process in the production of dry building mixes on the basis of the multiphase gypsum binder.

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

В западноевропейских промышленно развитых странах производят гипсовые и ангидритовые вяжущие вещества различного функционального назначения, поэтому гипсовые материалы и изделия широко распространены [1, 2]. В России в области гипсовой промышленности производится всего лишь два вида вяжущего – высокопрочный гипс и строительный гипс (90%). Вследствие узкой номенклатуры и невысокого качества гипсовые вяжущие импортируют из зарубежных стран, хотя в нашей стране самые большие месторождения гипсового камня. В какой-то мере причиной импортирования является недостаточное теоретическое изучение и возможности получения и применения многофазовых гипсовых вяжущих (МГВ) и изделий на их основе. Поэтому развитие научных основ улучшения МГВ с помощью стабилизации фазового состава гипсового вяжущего и использование отечественных минеральных и химических добавок являются актуальной проблемой.

Целью данной работы стало исследование свойств улучшенного многофазового гипсового вяжущего и получение эффективных сухих строительных смесей на его основе.

Свойства МГВ зависят от многих факторов. Одним из них является процентное соотношение фаз, которое определяет физико-механические свойства и позволяет регулировать их в зависимости от назначения сухих строительных смесей. Каждая фаза в МГВ индивидуальна, проявляет свои особенности и влияет на свойства вяжущего в целом. Следовательно, его свойства и качество также зависят от свойств и качества фаз, включенных в состав вяжущего.

В составе МГВ присутствует строительный гипс, который включает в себя смесь фаз, а именно полугидрат сульфата кальция, растворимый ангидрит, слаборастворимый ангидрит, нерастворимый ангидрит, некоторые из них нестабильны по отношению к влаге.

Строительный гипс получают нагревом дигидрата сульфата кальция [3]. При этом часть кристаллизационной воды уходит из частиц материала с большим давлением в виде пара, что приводит к поверхностным дефектам, таким как трещины (см. рисунок). Растрескивание вызывает значительное увеличение удельной поверхности. Форма и вид поверхности частиц влияют на реактивность вяжущих. При обжиге всегда помимо полугидрата образуется и растворимый

Физико-механические характеристики основных компонентов МГВ

Таблица 1

Фазовый состав вяжущего	НГ, %	Сроки схватывания, мин		Предел прочности при сжатии, МПа
		начало	конец	
CaSO ₄ ·2H ₂ O, CaSO ₄ ·0,5H ₂ O, растворимый ангидрит CaSO ₄ (Alll), труднорастворимый ангидрит CaSO ₄ s (Alll s), нерастворимый ангидрит CaSO ₄ (All)*	57	6	10	4,3
CaSO ₄ ·0,5H ₂ O, нерастворимый ангидрит CaSO ₄ (All)**	53	8	12	5,2
Нерастворимый ангидрит CaSO ₄ (All)*	32	23	95	22

*До старения.
**После старения.

Таблица 2

Фазовый состав гипсового вяжущего до и после старения

Фазовый состав, %	Строительный гипс до старения/после старения
Дигидрат	0,1/0,5
Полугидрат	45,0/83,4
Ангидрит (AIII)	42,3/0
Ангидрит (All s)	3,2/0,4
Свободная влага	0/1,5
Потери при прокаливании	3,3/7,8

ангидрит, который приводит к повышению водопоглощения гипсового вяжущего, а следовательно, к уменьшению прочности. В связи с перечисленными факторами, негативно влияющими на конечный материал, рационально применять стабилизацию строительного гипса [1, 4].

Для ССС применялось вяжущее, включающее в себя различные фазы гипса. МГВ получали путем смешивания нерастворимого ангидрита и улучшенного строительного гипса. Для активизации твердения использовали известь воздушную комовую. В качестве химических добавок использовали суперпластификатор С-3 и метилцеллюлозу марки МЦ-С. Выбор активаторов твердения, добавок и их количественное соотношение обусловлены анализом исследований и научно-технической литературы. В табл. 1 представлены физико-механические характеристики основных компонентов МГВ.

С помощью химического анализа было определено количество полугидрата, растворимого и труднорастворимого (в течение 3 сут старения при относительной влажности 80 % превращается в дигидрат) ангидритов. Оставшаяся часть была приписана нерастворимому ангидриту и другим включениям (загрязнениям). Количество дигидрата определялось рентгенографическим способом. Фазовый состав гипсового вяжущего до и после старения представлен в табл. 2.

В результате проведенных исследований были получены ССС на основе МГВ с физико-техническими характеристиками, представленными в табл. 3.

В результате проведенных исследований можно сделать выводы, что применение улучшенного строительного гипса в производстве сухих строительных смесей

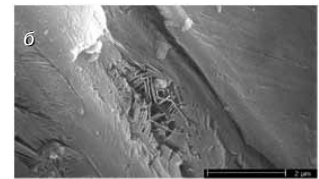
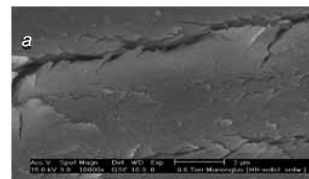
Список литературы

1. Некрасова С.А., Гаркави М.С., Е.Н. Булдыжова. Сухие строительные смеси на основе стабилизированного гипсового вяжущего // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 32–33.
2. Алтыкис М.Г. Экспериментально-теоретические основы получения композиционных и многофазовых гипсовых вяжущих веществ для сухих строительных смесей и материалов. Дисс... д-ра техн. наук. Казань. 2003. 435 с.
3. Фишер Х.-Б., Новак С., Острадецкий И. Влагопоглощающая способность полугидратов сульфата кальция // *Инновации и моделирование в строительном материаловедении. Сборник научных трудов* Тверь. 2014. С. 128–134.
4. Garkavi M., Nekrasova S., Melchaeva O., Garkavi S., Fischer H.-B., Nowak S. Thermodynamic explanation of rational conditions of the «aging» of plaster binder. *18 ibausil. Internationale Baustofftagung*. Weimar. 2012. P. 1-0741-0748.

Таблица 3

Физико-технические характеристики сухих строительных смесей

Показатели	Штукатурные сухие строительные смеси	
	без стабилизации строительного гипса	при стабилизации строительного гипса
Время начала схватывания, мин	70	90
Водоудерживающая способность, %	93	97
Прочность сцепления с основанием, МПа	0,71	0,79
Прочность при сжатии, МПа	16,7	19,5



Дефекты на поверхности гипсовых частиц с увеличением $\times 1000$: а – до искусственного старения; б – после искусственного старения

на основе МГВ положительно влияет на их строительные характеристики; позволяет снизить расход функциональных добавок, а следовательно, получить значительный экономический эффект при производстве ССС.

В качестве перспективы можно предложить исследование получения МГВ не механическим смешиванием фаз, а из природного гипсового камня путем его обжига при определенных режимах, с последующим использованием процесса стабилизации фаз при рациональных условиях.

References

1. Nekrasov S.A., Garkavi M.S., Buldyzhova E.N. Dry building mixes on the basic of stabilized gypsum binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 32–33. (In Russian).
2. Altykis M.G. Experimental and theoretical fundamentals of composites and multiphase gypsum binders for dry construction mixtures and materials. Dr. Diss. (Engineering). Kazan. 2003. 435 p. (In Russian).
3. Fisher H.-B., Nowak S., Ostradetskiy I. Absorbing ability of calcium sulfate hemihydrates *Innovations and modeling in building materials. Collection of scientific papers*. Tver. 2014, pp. 128–134. (In Russian).
4. Garkavi M., Nekrasova S., Melchaeva O., Garkavi S., Fischer H.-B., Nowak S. Thermodynamic explanation of rational conditions of the «aging» of plaster binder. *18 ibausil. Internationale Baustofftagung*. Weimar. 2012, pp. 1-0741-0748.

Ю.В. ТОКАРЕВ¹, канд. техн. наук (tokarev_01@list.ru), Е.О. ГИНЧИЦКИЙ¹, бакалавр (umbertu2002@gmail.com), Г.И. ЯКОВЛЕВ¹, д-р техн. наук; А.Ф. БУРЬЯНОВ², д-р техн. наук

¹ Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

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

Эффективность модификации гипсового вяжущего углеродными нанотрубками и добавками различной дисперсности

Изучено влияние однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ) совместно с добавками различной дисперсности на физико-механические свойства и структуру гипсового камня посредством механических испытаний, ИК спектрального метода и РЭМ. ОУНТ совместно с добавками различной природы и дисперсности по-разному влияют на физико-механические показатели гипсового вяжущего. Наилучшие результаты получены при использовании ОУНТ (0,002%) и портландцемента (3%) с формированием плотной структуры с большим количеством кристаллогидратов, что подтверждено ИК-анализом и РЭМ. При использовании ОУНТ микрокремнезема и метакаолина достигается незначительное улучшение механических показателей. Вероятно, это связано с неравномерностью распределения частиц в объеме гипсовой матрицы. Следует отметить, что при использовании модификаторов, вводимых как совместно, так и отдельно, образуются новообразования, сильно отличающиеся по форме и размеру от контрольных образцов.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее, однослойные углеродные нанотрубки, портландцемент, микрокремнезем, метакаолин.

Yu.V. TOKAREV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (tokarev_01@list.ru), E.O. GINCHITSKY¹, Bachelor (umbertu2002@gmail.com), G.I. YAKOVLEV¹, Doctor of Sciences (Engineering), A.F. BUR'YANOV², Doctor of Sciences (Engineering)

¹ Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya Street, 426069, Izhevsk, Russian Federation)

² Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

Efficiency of Modification of a Gypsum Binder with Carbon Nanotubes and Additives of Various Dispersity

The influence of one-layer carbon nanotubes (OCNT) with additives of different dispersity on physical-mechanical properties and structure of gypsum stone has been studied with the use of mechanical tests, IR spectral method and REM. OCNT in combination with additives of various nature and dispersity differently impacts on physical-mechanical characteristics of the gypsum binder. The best results with the formation of dense structure with a great number of crystalline hydrates are obtained when OCNT (0.002%) and Portland cement are used, this is confirmed by the IR-analysis and REM. An insignificant improvement of mechanical characteristics is reached when OCNT, microsilica, and metakaolin are used. Probably, it is connected with the irregularity of particles distribution in the gypsum matrix volume. It is necessary to note that when modifiers, introduced jointly or separately, are used, new formations that differ in shape and size from control samples are generated.

Keywords: gypsum binder, one-layer carbon nanotubes, Portland cement, microsilica, metakaolin.

Гипсовые вяжущие, обладая комплексом полезных свойств, не находят должного применения в строительстве из-за недостаточной водостойкости и долговечности. Условия протекания гидратации и формирования кристаллогидратных структур оказывают существенное влияние на количество кристаллов и пористость искусственного камня, плотность и прочность контактов между кристаллами и соответственно на физико-механические характеристики. Использование наноструктур, обладающих огромной удельной поверхностью и избыточной поверхностной энергией, можно регулировать структуру гидратных новообразований [1–3]. При этом наносистемы могут рассматриваться как центры кристаллизации [4] при использовании наночастиц, как микронаполнители с армирующим эффектом – при использовании нановолокон [5].

Применение наноразмерных частиц позволяет ускорить кинетику набора прочности бетона, повысить марку по морозостойкости и водонепроницаемости [6], уплотнить и упрочнить цементный камень как в объеме, так и на границе раздела фаз [7]. Эффективность действия наносистем в вяжущей матрице зависит от вида и типа наноструктур, геометрических размеров и концентрации наночастиц, однородности их распределения в объеме матрицы. В то же время эффективность углеродных наносистем значительно зависит и от наличия других добавок, которые также влияют на процессы растворения и гидратообразования гипсового вяжущего [8, 9]. Кроме того, в многокомпонентных системах за счет явления самоорганизации возможно приобретение системой новых свойств или их значительное улучшение. Таким образом, остаются недостаточно изученны-

ми механизм действия наноструктур совместно с другими типами добавок на свойства и структуру, а также совместимость различных добавок в составе гипсового вяжущего.

Целью данной работы являлось изучение влияния однослойных углеродных нанотрубок совместно с добавками различной дисперсности на свойства и структуру гипсового камня и оценка эффективности модификации гипсового вяжущего.

При изготовлении образцов применялся гипс строительный нормально твердеющий марки Г-5. В качестве наноструктур использовались однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ) компании OCSiAl (Россия), которые вводились в виде суспензии. Диспергирование нанотрубок проводилось в течение 75 мин при помощи гидродинамической кавитации. В качестве ультрасперсных добавок использованы материалы с различной удельной поверхностью – портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Б(ПЦ), микрокремнезем (МК) и высокоактивный метакаолин (ВМК).

Микрокремнезем – это попутный продукт производства ферросплавов Челябинского электрометаллургического комбината, который образуется в результате окисления монооксида кремния в электродуговых печах. Удельная поверхность микрокремнезема 200000 см²/г, средний размер частиц 300 нм. Кроме того, содержит в своем составе аморфную фазу. Метакаолин (ВМК) – аморфный силикат алюминия (Al₂O₃·2SiO₂), состоящий из кристаллов пластинчатой формы, производимый ГК «Синерго». Удельная поверхность метакаолина 16000–18000 см²/г.

Для определения прочностных характеристик изготавливались стандартные образцы-балочки со сторона-

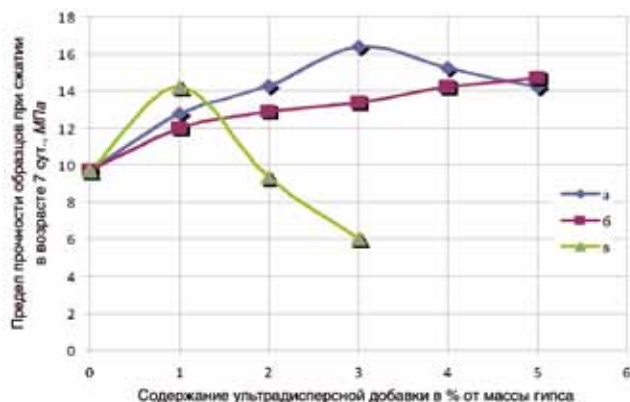


Рис. 1. Зависимость прочности гипсового вяжущего через 7 сут от содержания добавок: а – с портландцементом; б – с микрокремнеземом; в – с метакаолином

ми 4×4×16 см с последующим проведением механических испытаний. Микроструктура образцов изучалась на электронном микроскопе Phenom G2 pure. ИК-спектральный анализ проводился с помощью ИК-Фурье-спектрометра IRAffinity-1.

На первом этапе изучено влияние ультрадисперсных добавок – портландцемента, микрокремнезема и метакаолина на прочностные характеристики гипсового вяжущего. Содержание добавок варьировалось в интервале 0–5%. Анализ результатов механических испытаний показал (рис. 1), что прочностные характеристики гипсового вяжущего повышаются на 45–65 % в зависимости от вида добавки при оптимальных значениях в интервале 1–5%. При этом наилучшие результаты достигаются при использовании 3% портландцемента от массы вяжущего. Вероятно, это связано с тем, что частицы цемента выступают как центры кристаллизации, по поверхности которых формируются дигидраты сульфата кальция, а также образуются гидросиликаты кальция, уплотняющие гипсовую матрицу. Несмотря на то что микрокремнезем и метакаолин имели более высокую удельную поверхность, результаты испытаний оказались ниже по сравнению с цементом. Очевидно, это связано с тем, что частицы МК и ВМК объединяются в агломераты и при этом теряют полезные свойства.

На следующем этапе добавки вводились в матрицу при оптимальных значениях совместно с ОУНТ в количестве 0–0,005%. Анализ результатов механических испытаний показал (рис. 2), что при использовании комплекса добавок прочностные показатели увеличиваются на 50–85 % в зависимости от вида добавки при оптимальных значениях ОУНТ 0,001–0,003%. При этом наилучшие результаты достигаются при использовании ПЦ (3 %) и ОУНТ (0,002%). Добавки, имеющие средство с ионами гипса, являются более эффективными. Следует отметить, что совместное использование ПЦ и ОУНТ более эффективно по сравнению с раздельным исполь-

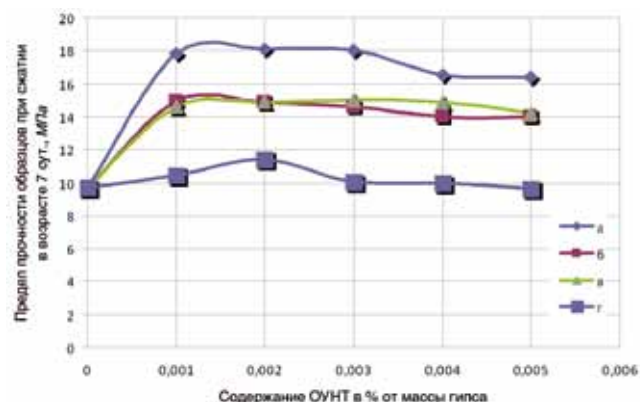


Рис. 2. Зависимость прочности гипсового вяжущего через 7 сут от содержания ОУНТ: а – с портландцементом; б – с микрокремнеземом; в – с метакаолином; г – без добавок

зованием. При использовании МК и ВМК механические характеристики увеличиваются незначительно. При использовании ОУНТ без добавок прочностные показатели увеличиваются незначительно, что возможно, связано с недостаточным диспергированием нанотрубок и равномерностью их распределения в гипсовой матрице.

Для выявления изменений в структуре образцов проводился ИК спектральный анализ. Анализ ИК-спектров (рис. 3, 4) показал, что в структуре образцов имеются существенные отличия. Значительно увеличивается интенсивность полос в интервале 600–750 см⁻¹, соответствующих сульфатам, и деформационных колебаний воды в интервале 1600–1700 см⁻¹, что свидетельствует о большем содержании двухводного гипса. В интервале частот 1050–1100 см⁻¹ можно идентифицировать полосы, соответствующие гидросиликатам кальция. При этом следует отметить, что при использовании комплекса добавок формируется большее количество гидросиликатов кальция.

Таким образом, при использовании комплекса добавок создаются лучшие условия для протекания гидратации гипсового вяжущего и портландцемента. В интервале частот 3300–3600 см⁻¹ появляются новые полосы, связанные с ОН-группами и адсорбированной водой (H₂O), что свидетельствует о появлении небольшого количества гидросиликатов кальция в структуре гипсовой матрицы. Кроме того, отмечается сильный сдвиг частот полос, соответствующих сульфатам (1176,58 и 1184,29) и гидросиликатам кальция (1095,57 и 1087,85), что означает появление кристаллогидратных структур, отличающихся от традиционных.

Для подтверждения результатов механических испытаний и ИК спектрального анализа проводился микроструктурный анализ образцов. Анализ микроструктуры показал (рис. 5), что при использовании ПЦ формируется более плотная структура, состоящая из

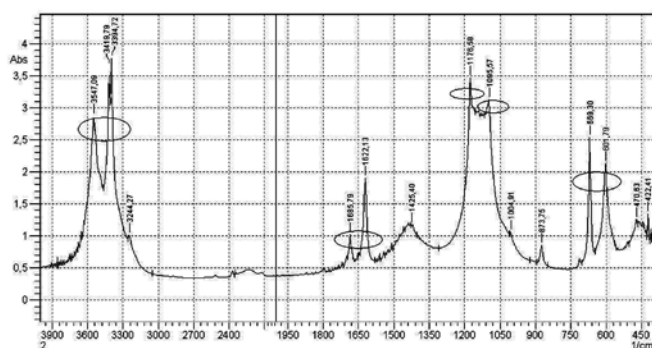


Рис. 3. ИК-спектр образца с добавлением ПЦ (3 %)

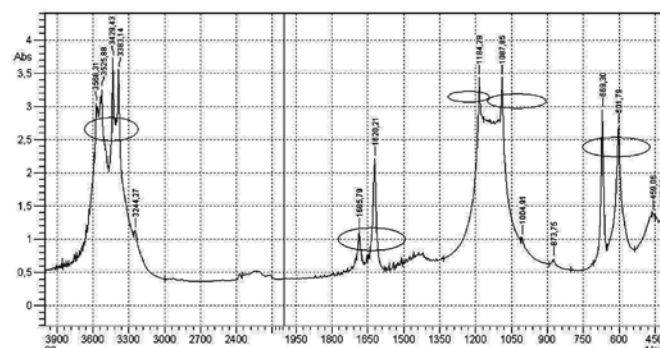


Рис. 4. ИК-спектр образца с добавлением ОУНТ и ПЦ

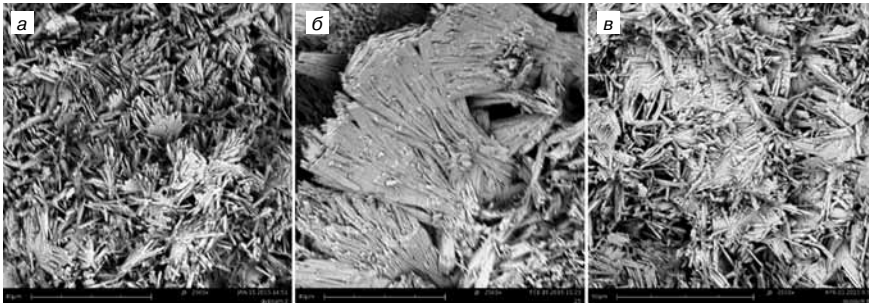


Рис. 5. Микроструктура гипсовой матрицы: а – без добавок; б – с ПЦ ($\times 2500$) – крупные пластинчатые кристаллы с плотной упаковкой; в – с ПЦ и ОУНТ ($\times 2500$)

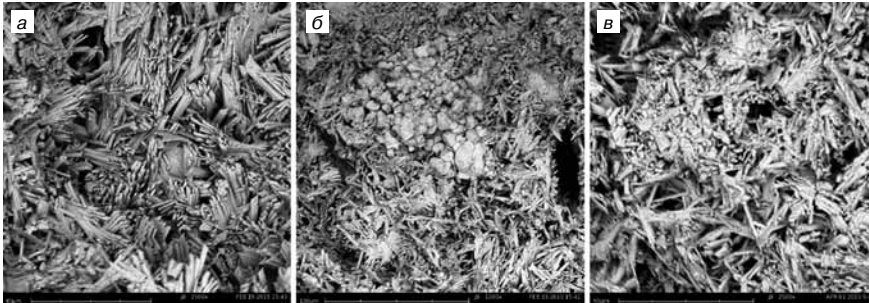


Рис. 6. Микроструктура гипсовой матрицы: а – с МК ($\times 2500$) – хорошо сформированные кристаллы с плотной упаковкой; б – с МК ($\times 1000$) – агрегирование частиц микрокремнезема; в – с МК и ОУНТ ($\times 2500$) – аморфная масса, обволакивающая кристаллы двуводного гипса

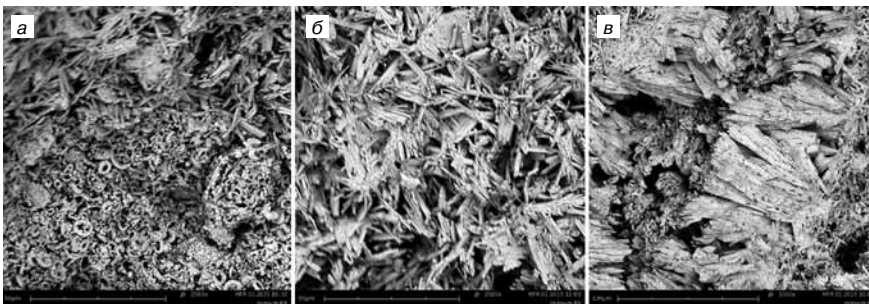


Рис. 7. Микроструктура гипсовой матрицы: а – с ВМК ($\times 2500$) – гелевидные новообразования поллой формы; б – с ВМК и ОУНТ ($\times 2500$); в – с ВМК и ОУНТ ($\times 1000$) – крупные протяженные новообразования

кристаллов пластинчатой и волокнистой форм. Кроме того, формируются крупные гидратные новообразования с плотной упаковкой кристаллов (рис. 5, б), дополнительно уплотняющие матрицу. При использовании ПЦ и ОУНТ поверхность кристаллов покрывается аморфной массой, что способствует уплотнению структуры гипсового камня (рис. 5, в).

При добавлении МК образуется плотная структура с хорошо сформированными кристаллами (рис. 6, а), обеспечивающая повышение физико-механических характеристик. Однако в структуре имеется скопление частиц

микрокремнезема (рис. 6, б), по поверхности которых в первую очередь будет происходить разрушение материала. Очевидно, необходимо проводить диспергирование МК для равномерного распределения в объеме матрицы.

Частицы микрокремнезема играют роль центров кристаллизации, по поверхности которых происходит формирование кристаллогидратов двуводного гипса. При использовании МК и ОУНТ поверхность кристаллов дополнительно покрывается аморфной массой (рис. 6, в), что способствует уплотнению и формированию непроницаемой структуры. При использовании метакрилатов наряду с пластинчатыми кристаллами возникают аморфные новообразования поллой формы (рис. 7). Кроме того, появляются крупные протяженные новообразования.

Таким образом, ОУНТ совместно с добавками различной природы и дисперсности по-разному влияют на физико-механические показатели гипсового вяжущего. Наилучшие результаты были получены при использовании ОУНТ (0,002%) и портландцемента (3%) с формированием плотной структуры с большим количеством кристаллогидратов, что подтверждено ИК-анализом и РЭМ. Несмотря на то что удельная поверхность ПЦ самая низкая из всех добавок, обеспечиваются более высокие прочностные характеристики, что можно объяснить сродством добавки по отношению с ионами гипса. При использовании ОУНТ, микрокремнезема и метакрилатов достигается незначительное улучшение механических показателей. Вероятно, это связано с неравномерностью распределения частиц в объеме гипсовой матрицы. Следует отметить, что при использовании модификаторов, вводимых как совместно, так и отдельно, появляются новообразования, сильно отличающиеся по форме и размеру от контрольных образцов. Для идентификации новообразований и подтверждения сделанных выводов необходимо выполнить дополнительное исследование структуры модифицированных образцов.

Список литературы

1. Яковлев Г.И., Первущин Г.Н., Корженко А., Бурьянов А.Ф. и др. Применение дисперсий многослойных углеродных нанотрубок при производстве силикатного газобетона автоклавного твердения // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 25–29.
2. Павленко Н.В., Бухало А.Б., Строкова В.В., Нелубова В.В., Сумин А.В. Модифицированное вяжущее с использованием нанокристаллических компонентов для ячеистых композитов // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 20–24.
3. Гаркави М.С., Некрасова С.А., Трошкина Е.А. Кинетика формирования контактов в наномодифицированных гипсовых материалах // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 38–40.
4. Изряднова О.В., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Фишер Х.-Б.

References

1. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Korzhenko A., Bur'yanov A.F., etc. Applying multi-walled carbon nanotubes dispersions in producing autoclaved silicate cellular concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 25–29. (In Russian).
2. Pavlenko N.V., Bukhalo A.B., Strokov V.V., Nelubova V.V., Sumin A.V. Nanocrystalline components based modified binder for cellular composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 20–24. (In Russian).
3. Garkavi M.S., Nekrasova S.A., Troshkina E.A. Kinetics of contact formation in nano-modified gypsum materials *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 38–40. (In Russian).
4. Izryadnova O.V., Gordina A.F., Yakovlev G.I., Fisher X.-B.



- Регулирование морфологии кристаллогидратов структуре гипсовой матрицы ультра- и нанодисперсными добавками // *Известия КГАСУ*. 2014. № 3. С. 108–112.
5. Нуртдинов М.Р., Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф. Мелкозернистые бетоны, модифицированные нановолокнами AlOOH и Al₂O₃ // *Строительные материалы*. 2015. № 2. С. 68–71.
 6. Хузин А.Ф., Габидуллин М.Г., Бадертдинов И.Р. и др. Комплексные добавки на основе углеродных нанотрубок для высокопрочных бетонов ускоренного твердения // *Известия КГАСУ*. 2013. № 1. С. 221–226.
 7. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Структурообразование и свойства конструкционных высокопрочных легких бетонов с применением наномодификатора BisNanoActivus // *Строительные материалы*. 2014. № 1, 2. С. 33–37.
 8. Халиуллин М.И., Рахимов Р.З, Гайфуллин А.Р. Влияние комплексной модифицирующей добавки на состав, структуру и свойства искусственного камня на основе композиционного гипсового вяжущего // *Известия КГАСУ*. 2014. № 3. С. 148–155.
 9. Яковлев Г.И., Полянских И.С. (Маева), Токарев Ю.В., Гордина А.Ф. Оценка влияния ультрадисперсной пыли и углеродных наносистем на структуру и свойства гипсовых вяжущих // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2013. № 1. С. 185–188.
- Н.-В. Regulation morphology crystalline structure of gypsum matrix and ultra nanodispersnymi additives. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 3, pp. 108–112. (In Russian).
5. Nurtdinov M.R., Solov'ev V.G., Bur'yanov A.F. Fine Concretes Modified with AlOOH and Al₂O₃ Nanofibers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 2, pp. 68–71. (In Russian).
 6. Khuzin A.F., Gabidullin M.G., Badertdinov I.R., etc. Complex additives based on carbon nanotubes for high-strength concrete accelerated hardening. *Izvestiya KGASU*. 2013. No. 1, pp. 221–226. (In Russian).
 7. Inozemtsev A.S., Korolev E.V. Structuring and properties of the structural high-strength lightweight concretes with nanomodifier BisNanoActivus. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1, 2, pp. 33–37. (In Russian).
 8. Khaliullin M.I., Rakhimov R.Z, Gaifullin A.R. Influence of complex builder on the composition, structure and properties of the artificial stone, based on composite gypsum binder. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 3, pp. 148–155. (In Russian).
 9. Yakovlev G.I., Polyanskikh I.S. (Maeva), Tokarev Yu.V., Gordina A.F. Assessing the impact of ultrafine dust and carbon nanosystems on the structure and properties of gypsum binders. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2013. No. 1, pp. 185–188. (In Russian).

Международная научно-практическая конференция



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

9–13 ноября 2015 г., Казань, Россия

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

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

Темы конференции

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

Контакты

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

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

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

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

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

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

УДК 666.914.5

П.Г. ВАСИЛИК¹, инженер, (vasilik@eurohim.ru); Р.В. КАЛАШНИКОВ², инженер;
А.Ф. БУРЬЯНОВ³, д-р техн. наук; Х.-Б. ФИШЕР⁴, д-р-инженер

¹ЗАО «ЕВРОХИМ-1» (115432, г. Москва, ул. Трофимова, 2а)

²«ГК «ЮНИС» (115088, г. Москва, ул. 1-я Машиностроения, 5а)

³Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

⁴Веймарский строительный университет (Geschwister-Scholl-Strasse, 8, Weimar, 99423 DE)

Исследование причин возникновения трещин в материалах на основе гипсового вяжущего

Рассмотрены причины появления трещин в различных видах сухих строительных смесей на основе гипсовых вяжущих. Проанализировано влияние растворимого ангидрита на основные свойства и усадку материалов из многофазного гипсового вяжущего. Исследованы различные химические добавки для замедления сроков схватывания, влияющие на процессы зародышеобразования кристаллов гипса. Изучена эффективность различных типов полиолов в рецептуре шпатлевки на базе многофазового гипса, а также влияние различного количества растворимого ангидрита на трещиностойкость шпатлевок

Ключевые слова: сухие строительные смеси, растворимый ангидрит, трещиностойкость, усадка

P.G. VASILIK¹, Engineer (vasilik@eurohim.ru), R.V. KALASHNIKOV², Engineer, A.F. BUR'YANOV³, Doctor of Sciences (Engineering), H.-B. FISHER⁴, Doctor-Engineer

¹ZAO «EUROHIM-1» (2a, Trofimova Street, 115432, Moscow, Russian Federation)

²«GK «UNIS» (5a, 1-ya Mashinostroyeniya Street, 115088, Moscow, Russian Federation)

³Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

⁴Weimar University of Civil Engineering (Geschwister-Scholl-Strasse, 8, Weimar, 99423 DE)

Research in Reasons for Crack Initiation in Materials on the Basis of a Gypsum Binder

Reasons for the crack initiation in various types of dry building mixes on the basis of gypsum binders are considered. The impact of soluble anhydrite on the main properties and shrinkage of materials with a multiphase gypsum binder is analyzed. Various chemical additives for deceleration of setting time influencing on the processes of nucleation of gypsum crystals are studied. The efficiency of different types of polyols in the formulation of putties on the basis of multiphase gypsum as well as the influence of different amounts of the soluble anhydrite on the putty crack resistance are studied.

Keywords: dry building mixes, soluble anhydrite, crack resistance, shrinkage

Причины появления трещин в материалах на основе гипсовых вяжущих различны. Это и конструкционные дефекты, и усталостные явления в материалах при работе изделий под нагрузкой, и разрушение в результате пластических и контракционных напряжений [1]. Производителям сухих строительных смесей приходится сталкиваться с трещинами в отделочных материалах, которые труднообъяснимы. Так, при переходе с одного вида гипсового вяжущего на другое, в зависимости от сезонности или в зависимости от партии могут проявляться трещины в тонких слоях. При этом

вяжущее, на первый взгляд, может иметь идентичный фазовый состав (чаще входной контроль предполагает только проверку начала и конца схватывания гипса и очень редко количество двуводного гипса). Но после выдерживания сухой смеси во влажном воздухе трещины уже не образуются. В то же время в связи с увеличением количества установок по варке гипса, работающих по непрерывному циклу и отсутствием на заводах установок по искусственному старению на рынке возрастает доля материала, содержащего повышенное количество растворимого ангидрита (ангидрид III α- и

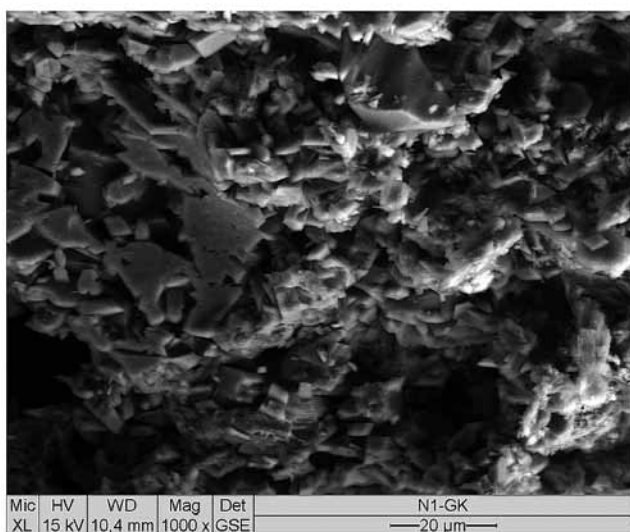


Рис. 1. Микрофотография исследуемой гипсовой шпатлевки

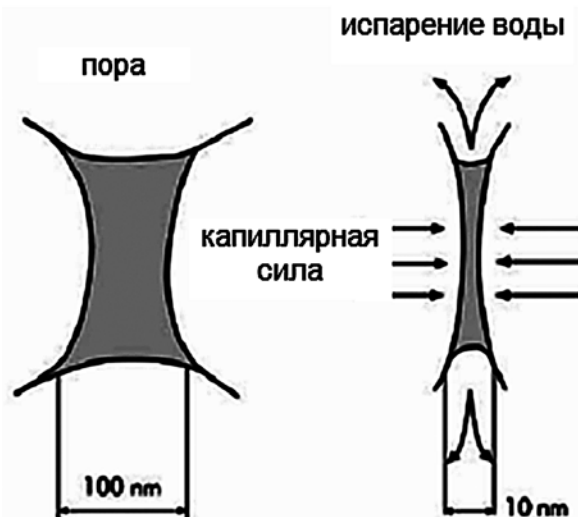


Рис. 2. Усадочные явления при высыхании материала

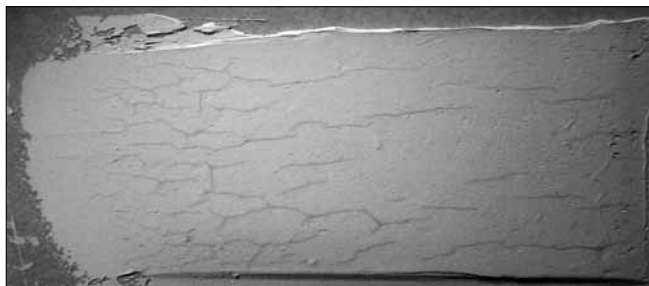


Рис. 3. Клиновой тест на трещиностойкость гипсовой шпатлевки без полиолов. Содержание ангидрита III — 4,6%



Рис. 4. Клиновой тест на трещиностойкость гипсовой шпатлевки с полиолом Sitren PSR 100

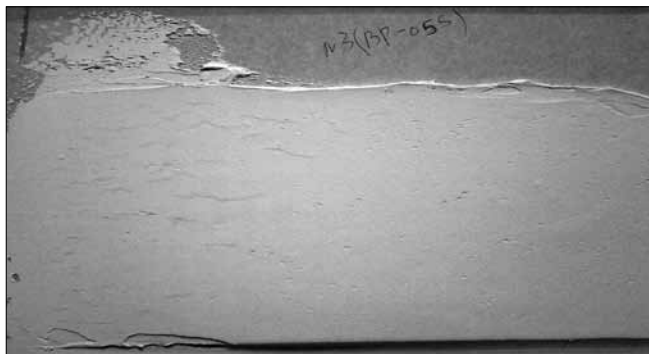


Рис. 5. Клиновой тест на трещиностойкость гипсовой шпатлевки с поливиниловым спиртом

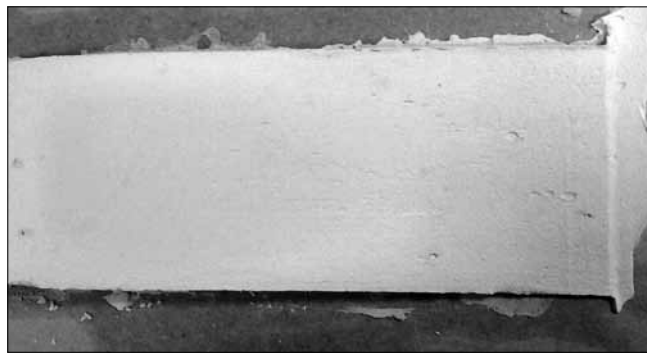


Рис. 6. Клиновой тест на трещиностойкость гипсовой шпатлевки без полиолов. Содержание ангидрита III – 2,4%

β- модификаций). Действующий ГОСТ 125-79 «Вязущие гипсовые. Технические условия» не регламентирует ни фазового состава, ни методик его определения.

При использовании замедлителей схватывания и зародышеобразователей (дигидрата гипса), а также эфиров целлюлозы при производстве гипсовых шпатлевок, штукатурок и наливных полов наблюдается образование мелких кристаллов с дефектной структурой (рис. 1). Это приводит к преобладанию деформаций влажностной усадки над деформациями расширения, связанными с ростом кристаллов гипса. Особенно сильно это проявляется при повышенном В/Т и тонком наполнителе в шпатлевках. Присутствие раство-

римого ангидрита приводит к быстрому снижению свободной воды и схлопыванию капилляров.

В работе [2] уже изучалось влияние различных типов замедлителей на многофазовые гипсы в рецептурах самовыравнивающихся полов. При этом рассматривались экзотермические эффекты и приводились доводы о самонапряжении системы в следствии неодновременности перехода различных фаз гипса в двухводные кристаллогидраты.

Трещины, которые рассматриваются в данном случае, возникают вследствие высоких внутренних напряжений, превышающих прочность материала в данном конкретном временном отрезке, т. е. если изменить кинетику гидратации (ускорить/замедлить набор проч-

Компоненты	№1, содержание растворимого ангидрита 4,6%	№2, содержание растворимого ангидрита 4,6%	№3, содержание растворимого ангидрита 4,6%	№4, содержание растворимого ангидрита 2,4%
Гипс	800	800	800	800
Silverbond 30 (наполнитель)	177	177	177	177
Ca(OH) ₂	10	10	10	10
Mecellose FMC 7150 (эферы целлюлозы)	2,8	2,8	2,8	2,8
Amitrolit 8882 (эфир крахмала)	0,5	0,5	0,5	0,5
Laolin 1 (зародышеобразователь)	4,4	4,4	4,4	4,4
Винная кислота (замедлитель)	2,7	2,7	2,7	2,7
Esapon 1850 (диспергатор)	0,1	0,1	0,1	0,1
Melment F15 (суперпластификатор)	2	2	2	2
Sitren PSR 100 (комплекс полиолов с длиной цепи 6-12)	-	0,5	-	-
BP-05S (частично гидролизованный поливиниловый спирт со степенью полимеризации 500)	-	-	0,5	-
Трещиностойкость на поверхности стены	есть	нет	есть	нет
Трещиностойкость, клин на гипсокартоне	есть	нет	есть	нет

ности), то при одном и том же вяжущем и рецептуре можно получить или не получить трещины. Но что делать, если жестко регламентированы рамки сроков технологических переделов нанесения отделочного материала?

Одним из путей решения проблемы является снижение внутренних напряжений в твердеющем материале. Как известно, напряжения, связанные с испарением воды, как правило, намного превышают контрактационные (рис. 2). Эфиры целлюлозы, являясь сильным водоудерживающим агентом, замедляют процесс испарения воды. При этом если рассматривать штукатурные составы, то, исходя из практических знаний многих производителей сухих строительных смесей, увеличение дозировки эфиров целлюлозы (ЭЦ) на 20–30% полностью убирает проблемы с подобными трещинами. ЭЦ не только удерживают воду, но и приводят к загущению. При повышенных дозировках происходит потеря удобоукладываемости.

Для снижения усадки в цементных системах широко применяются полиолы — многоатомные спирты. Эти органические соединения успешно снижают поверхностное натяжение растворов и, как следствие, капиллярные силы, что приводит к меньшим внутренним напряжениям.

В работе была изучена эффективность различных типов полиолов в рецептуре шпатлевки на базе многофазового гипса, а также влияние различного количества ангидрита III на трещиностойкость шпатлевок.

Растворимый ангидрит проверялся по следующей методике [2]:

Список литературы

1. Василик П.Г., Голубев И.В. Трещины в штукатурках // *Строительные материалы*. 2003. №4. С. 14–16.
2. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. М.: Высшая школа. 1973. 504 с.
3. Fischer H.-B., Stark J. Haftung von Gipsputz an glatten Betonflächen // *ZKG*. 2005. № 12. S. 79–92.
4. Fischer H.-B. Gipsputzhaftung auf Beton. *Ibausil, Tagungsband*. Weimar. 2003. S. 1007–1028.
5. Gathemann B., Henning O., Eggert O., Fischer H.-B. Untersuchungen zum Haftverbund von Fliesen auf Untergründen aus verschiedenen Gipsarten in Feuchträumen // *ZKG*. 2000. № 11. S. 648–656.
6. Fischer H.-B., Vtorov B., Stark J. Haftbrücken im System Gipsputz auf Beton // *ZKG*. 2002. №12. S. 79–86.
7. Гонтарь Ю.В., Чалова А.И., Бурьянов А.Ф. Сухие строительные смеси на основе гипса и ангидрита. М.: Де-Нова. 2010, 214 с.

• сухую навеску гипса 1–2 г выдерживают 24–30 ч над концентрированным раствором NaCl;

• навеску высушивают и взвешивают;

• количество растворимого ангидрита вычисляют по формуле:

$$m_{\text{CaSO}_4 \text{ растр}} = 1,51 \cdot m_1 \cdot 100/m,$$

где m_1 — разность массы навески до и после выдерживания над концентрированным раствором NaCl, г; m — исходная навеска, г.

Было исследовано два гипсовых вяжущих с содержанием ангидрита III в количестве 4,6 и 2,4%. Рецептура шпатлевки представлена в таблице. Трещиностойкость проверялась на клиньях, нанесенных, как на бетонное основание, так и на гипсокартонные листы (рис. 3–6). Трещины наблюдаются в тонком слое. Из чего можно сделать вывод, что в связи с интенсивным испарением в тонком слое напряжения возрастают значительно быстрее, чем материал набирает прочность.

Из результатов видно, что Sitren PSR 100, даже в незначительных количествах введенный в состав, обеспечивает значительное повышение трещиностойкости в материале, содержащем ангидрит III. При этом снижение содержания ангидрита с 4,6 до 2,4% также приводит к исчезновению трещин.

Таким образом, полиол Sitren PSR 100 можно рекомендовать в качестве добавки, повышающей трещиностойкость и снижающей усадку, не только в цементные составы, но и в гипсовые.

References

1. Vasilik P.G., Golubev I.V. Cracks in the plaster. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2003. No. 4, pp. 14–16. (In Russian).
2. Butt Yu.M., Timashev V.V. Praktikum po khimicheskoi tekhnologii vyazhushchikh materialov [Workshop on chemical technology of binders]. Moscow: Vysshaya shkola. 1973. 504 p.
3. Fischer H.-B., Stark J. Haftung von Gipsputz an glatten Betonflächen. *ZKG*. 2005. No. 12, pp. 79–92.
4. Fischer H.-B. Gipsputzhaftung auf Beton. *Ibausil, Tagungsband*. Weimar. 2003, pp. 1007–1028.
5. Gathemann B., Henning O., Eggert O., Fischer H.-B. Untersuchungen zum Haftverbund von Fliesen auf Untergründen aus verschiedenen Gipsarten in Feuchträumen. *ZKG*. 2000. No. 11, pp. 648–656.
6. Fischer H.-B., Vtorov B., Stark J. Haftbrücken im System Gipsputz auf Beton. *ZKG*. 2002. No. 12, pp. 79–86.
7. Gontar' Yu.V., Chalova A.I., Bur'yanov A.F. Sukhie stroitel'nye smesi na osnove gipsa i ангидрита [Dry building mixtures based on gypsum and anhydrite]. Moscow: De-Nova. 2010. 214 p.

Оставайтесь
с нами!

Уважаемые коллеги!

Вы держите в руках журнал «Строительные материалы» № 6, который завершает подписной период I полугодия 2015 г. Если вы еще не подписались на II полугодие 2015 г., то сделать это можно в редакции на все полугодие или на почте.

Для подписки через редакцию необходимо прислать заявку в произвольной форме по тел./факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36 или по эл. почте: mail@rifsm.ru. В заявке надо указать название организации (для выставления счета), юридический и почтовый адреса, телефон и контактное лицо.

На почте подписку можно оформить

По объединенному каталогу «Пресса России» индекс **70886**

По каталогу агентства «Роспечать» индекс **79809**

В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести специальную литературу

Книга Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента»

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

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).

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

Книга «Сухие строительные смеси. Состав, свойства»

Авторы – Корнеев В.И., Зозуля П.В.

Изложены основы современных представлений о сухих строительных смесях и растворах. Приведены основные определения и классификации сухих смесей. Охарактеризованы составляющие: вяжущие, заполнители, наполнители, функциональные добавки. Показана методика проектирования составов. Описаны основные группы ССС, их состав и свойства. В приложении даны основные применяемые термины и определения, наиболее употребляемые единицы измерения, перечень российских и зарубежных стандартов и др.



Для приобретения специальной литературы обращайтесь
в издательство «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»

Тел./факс: (499) 976-22-08, 976-20-36 E-mail: mail@rifsm.ru

НОВОСТИ

На рынке появился облицовочный материал на основе баклажанов и тростника

Голландская строительная компания Nova Lignum представила свой новый продукт – прочный высококачественный материал Segapex, разработанный для облицовки фасадов.

Segapex – композитные панели средней плотности, производящиеся по запатентованной технологии MOXY на основе воды, порошка и «волокон». В процессе приготовления, не требующем значительных затрат тепла и энергии, эти компоненты смешиваются и превращаются в твердый композитный материал.

По словам производителя, инновационный материал уникален тем, что почти на 90% состоит из волокон растительного происхождения, в основном из отходов от баклажанов и тростника. При этом в его составе нет ни диоксида кремния, ни других продуктов нефтепереработки, но в то же время Segapex сочетает в себе преимущества древесины, волокнистого цемента и пластика. В качестве альтернативы могут быть использованы любые другие источники сырья, такие как отходы от лесного хозяйства и деревообрабатывающей промышленности, вроде шлифовальной пыли от станков, целлюлозно-бумажной промышленности, а также макулатура, солома и другие остатки от сбора урожая зерновых культур. Более того, облицовочные панели на 100% подлежат вторичной переработке.

Стоит отметить и прочие достоинства материала: инертность к кислотам и агрессивным средам, стойкость к коррозии, влагостойкость, огнестойкость, устойчивость к атмосферным осадкам и ультрафиолетовым лучам, вследствие чего он не выцветает на солнце, а также устойчивость к появлению грибков и гниению. Как и обычная древесина, панели легко обрабатываются любыми подручными инструментами.

По материалам <http://www.vzavtra.net/>

Новый асфальтобетонный завод в Магадане

28 мая 2015 г. состоялось открытие нового завода по производству асфальтобетонной смеси для дорожного строительства в г. Магадане. При выходе на проектную мощность производительность установки составит 120 т смеси в час. Планируется, что к октябрю предприятия выдст 15 тыс. т асфальтобетонной смеси. Муниципальные службы обещают уложить новое покрытие на 80 тыс. м² городских дорог и дворов. Завод приобрели за 60 млн. рублей за счет средств бюджета г. Магадана. Работы по сборке и наладке нового оборудования заняли восемь месяцев. За несколько дней до запуска предприятия специалисты проверили готовность оборудования и пополнили запасы расходных материалов.

Приглашенный на торжественную церемонию мэр города С.В. Абрамов рассказал, что на текущий год и последующие имеются грандиозные планы по благоустройству. Он также выразил уверенность в том, что новое оборудование позволит реализовать поставленные задачи не только в срок, но и более качественно, а объемы с учетом производительности новой установки, будут увеличиваться.

Почетное право запустить новое оборудование для производства первой тонны асфальта было предоставлено губернатору Магаданской области В.П. Печеному. По его словам, новый завод позволит быстро и эффективно решать задачи по приведению в порядок дорожной сети областного центра. Высокая производительность нового оборудования даст возможность оперативнее проводить ремонтные работы, а высокое качество асфальта сделает дороги более долговечными.

По материалам <http://sdelanounas.ru/>

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья — это сочинение небольшого размера (до 3-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

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

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

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

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

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

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

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

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

ВНИМАНИЕ! С 1 января 2014 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!

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

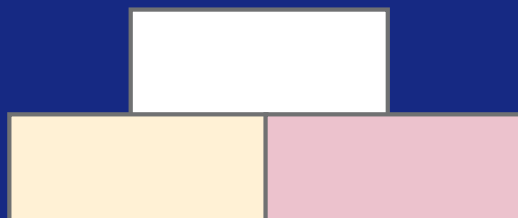
- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/7>

СИЛИКАТЭКС



IX Международная научно-практическая конференция

21–22 октября 2015 г.

Воронеж



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



Организатор конференции – журнал «Строительные материалы»® **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®**

Генеральный спонсор:



Спонсоры конференции:

«ИНВЕСТ-ТЕХНОЛОГИЯ»



Оргкомитет:

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

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

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

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3,

редакция журнала «Строительные материалы»®

ЗАВОДЫ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СУХИХ СМЕСЕЙ

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

