

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®]

№6



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

ИЮНЬ 2016 г. (738)

HRIZOPRO

СТАБИЛИЗИРУЮЩАЯ ДОБАВКА
В ЦМА

ДОСТОЙНЫЕ
ДОРОГИ РОССИИ

hrizopro.ru

служба клиентской поддержки hrizopro: 8 800 200 53 10

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АГЕНТСТВО «КВИНТЕТ»

приглашают принять участие

В 16-й международной конференции BALTIMIX-2016

г. Калининград

Отель «Radisson Kaliningrad»

16 – 18 августа 2016 года

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

- Рынок ССС РФ: итоги полугодия и краткосрочные перспективы.
- Передовые технологии фасовки, паллетирования и упаковки сухих смесей.
- Техника и решения для механизации отделочных работ.
- Конкурентная ситуация на российском рынке ССС.
- Рынок наружных систем теплоизоляции.
- Внедрение высокотехнологичных решений на производствах ССС.
- Состояние российского рынка цемента, извести и микрокальцита.
- Использование специальных химических добавок для оптимизации рецептур ССС.
- Сухие строительные смеси специального назначения.
- ССС для реставрации, ремонта и санирования зданий.
- Эффективные транспортные решения для производства ССС.

BaltiMix
КАЛИНИНГРАД • 2016

КВИНТЕТ



По всем вопросам, связанным с участием в конференции, обращайтесь:
Мария Суслова (прием заявок на участие в конференции, реклама), msuslova@baltimix.ru
Евгений Беляев (прием на рассмотрение докладов), ebelyaev@baltimix.ru
Тел./факс: +7 (812) 703-10-19, 350-54-11
www.baltimix.ru

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

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

№6

Основан в 1955 г.

(738) июнь 2016 г.

Главный редактор:

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ШТАКЕЛЬБЕРГ Д. И.,
 д-р техн. наук, профессор (Израиль)

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

Доклады VII Академических чтений «Техническое регулирование в строительстве. Актуальные вопросы строительной физики»

Д. В. МИХЕЕВ

Актуальные вопросы развития стройиндустрии и промышленности строительных материалов 4

В. Н. ЯРМАКОВСКИЙ

Физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов 6

И. Я. КИСЕЛЕВ

Метод ускоренного определения равновесной сорбционной влажности легких и ячеистых бетонов 12

Т. А. КОРНИЛОВ, И. Р. КЫЧКИН

Наружные ограждающие конструкции с применением автоклавного пенобетона для каркасно-монолитных зданий Якутска 15

В. С. СЕМЕНОВ, Т. А. РОЗОВСКАЯ, А. Ю. ГУБСКИЙ

Перспективы применения вторичных полиэфирных волокон для производства тепло- и звукоизоляционных материалов 21

А. Д. ЖУКОВ, Е. Ю. БОБРОВА, И. В. БЕССОНОВ, И. Б. ЗЕЛЕНЩИКОВ

Методология оценки свойств теплоизоляционных изделий 25

С. С. ВАЙСЕРА, О. В. ПУЧКА, В. С. ЛЕСОВИК, И. В. БЕССОНОВ, С. В. СЕРГЕЕВ

Эффективные акустические стеклокомпозиты 28

В. Г. ГАГАРИН, В. В. КОЗЛОВ, К. И. ЛУШИН, Н. Ю. ПЛЮЩЕНКО

Учет теплопроводных включений и вентилируемой прослойки при расчетах сопротивления теплопередаче стены с навесной фасадной системой (НФС) 32

В. С. РОЙФЕ

Расчет распределения влаги по толщине ограждающей конструкции в натуральных условиях 36

В. Н. КУПРИЯНОВ, А. С. ПЕТРОВ

Влажностное состояние ограждающих конструкций с учетом переменного значения паропроницаемости материалов 40

Н. В. КУЗНЕЦОВА, Д. А. ЯКОВЛЕВ, А. Д. СЕЛЕЗНЕВ

Проектирование составов смесей цементных теплоизоляционных материалов с использованием древесных отходов 44

В. А. ЕЗЕРСКИЙ, Н. В. КУЗНЕЦОВА, О. С. БАРИНОВА

Модификация цементных смесей с использованием отходов производства цементно-стружечных плит 47

Л. А. ГУЛАБЯНЦ

Инженерный метод прогностической оценки концентрации радона в проектируемом здании 50

Д. Ю. ЖЕЛДАКОВ, А. А. ФРОЛОВ, С. Ю. ИВАНОВ

Исследования прочности кладки стен в здании Кадашевских бань 55

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
 журнал «Строительные материалы»®, 2016

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

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

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

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

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROITEL'NYE MATERIALY®

№6

Founded in 1955

(738) June 2016 r.

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

SHTACKELBERG D.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Israel)

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

Reports of the VII Academic reading

«Technical regulation in construction. Actual issues of building physics»

D.V. MIKHEYEV

Topical Issues of Development of Building Industry and Industries of Construction Materials.....4

V.N. YARMAKOVSKIY

Physical-Chemical and Structural-Technological Bases of Producing High-Strength and High-Durable Structural Lightweight Concretes.....6

I.Ya. KISELEV

Method for Accelerated Determination of Equilibrium Sorption Humidity of Light and Cellular Concretes.....12

T.A. KORNILOV, I.R. KYCHKIN

External Enclosing Structures with the Use of Autoclaved Concrete for Frame-Monolithic Buildings of Yakutsk.....15

V.S. SEMENOV, T.A. ROZOVSKAYA, A.Yu. GUBSKIY

Prospects of Using Recycled Polyester Fibers for Manufacturing Heat- and Sound Insulation Materials.....21

A.D. ZHUKOV, E.Yu. BOBROVA, I.V. BESSONOV, I.B. ZELENHCHIKOV

Methodology of Assessment of Heat Insulating Products Properties.....25

S.S. VAISERA, O.V. PUCHKA, V.S. LESOVIK, I.V. BESSONOV, S.V. SERGEEV

Efficient Acoustic Glass Composites.....28

V.G. GAGARIN, V.V. KOZLOV, K.I. LUSHIN, N.Yu. PLYUSHCHENKO

Accounting of Heat-Conducting Inclusions and a Ventilated Layer When Calculating the Resistance to Heat Transfer of a Wall with Hinged Façade System (HFS).....32

V.S. ROYFE

Calculation of Moisture Distribution through the Thickness of an Enclosing Structure under Natural Conditions.....36

V.N. KUPRIYANOV, A.S. PETROV

Moisture Condition of Enclosing Structures with Due Regard for Variable Value of Vapor Permeability of Materials.....40

N.V. KUZNETSOVA, D.A. YAKOVLEV, A.D. SELEZNYOV

Design of Mixes of Cement Heat Insulation Materials with the Use of Wood Waste...44

V.A. EZERSKIY, N.V. KUZNETSOVA, O.S. BARINOVA

Modification of Cement Mixtures Using Waste Cement-Bonded Particleboards.....47

L.A. GULABYANTS

Engineering Method for Predictive Valuation of Radon Concentration in a Designed Building.....50

D.Yu. ZHELDAKOV, A.A. FROLOV, S.Yu. IVANOV

Study of Masonry Durability in the Kadashovski Baths Building.....55

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

Материалы и оборудование

В.Г. КУЗНЕЦОВ, И.П. КУЗНЕЦОВ, А.В. ЛЯПУНОВ, А.П. БЛЮДЕНОВ, Б.Ю. ГОНТАРЕНКО

Применение полимерных материалов для устранения налипания влажного магнетитового концентрата на рабочие поверхности технологического оборудования цеха обогащения АО «ЕВРАЗ КГОК» 59

К 100-летию со дня рождения Г.И. Горчакова

Исследование долговечности, состава, структуры и свойств цементных систем (Информация)..... 62

Р.А. ПЛАТОВА, В.А. РАССУЛОВ, Ю.Т. ПЛАТОВ, Т.М. АРГЫНБАЕВ, З.В. СТАФЕЕВА

Люминесцентный контроль пуццолановой активности метаксаолина 67

А.В. КОЧЕТКОВ, Ш.Н. ВАЛИЕВ, С. Ю. АНДРОНОВ, Д. А. КЛИМОВ

Рекомендации по определению теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов 74

Stroitel'nye Materialy No. 6

Materials and equipment

V.G. KUZNETSOV, I.P. KUZNETSOV, A.V. LYAPUNOV, A.P. BLYUDENOV, B.Yu. GONTARENKO

The Use of Polymeric Materials to Eliminate the Buildup of Wet Magnetitic Concentrate on Work Surfaces of Equipment on Enrichment Plant AO «EVRAZ KGOK» 59

On the 100th Anniversary of Grigoriy I. Gorchakov

Study of Durability, Composition, Structure and Properties of Cement Systems (Information)..... 62

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

Luminescence Control of Pozzolanic Activity of Metakaolin 67

A.V. KOCHETKOV, Sh.N. VALIYEV, S.Yu. ANDRONOV, D.A. KLIMOV

Recommendations for Determining Thermal-Physical Properties of Road-Building Materials and Soils 74

Уважаемые коллеги!

Подписку на журнал «Строительные материалы»®
всегда можно оформить через редакцию.

Для этого 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.

Открыта подписка на электронную версию журнала:

<http://rifsm.ru/page/5/>



На почте подписку можно оформить:

По объединенному каталогу «Пресса России»

индекс **70886**



По каталогу агентства «Роспечать»

индекс **79809**

Оставайтесь
с нами!

УДК 69.003

Д.В. МИХЕЕВ, канд. экон. наук (info@faufcc.ru), директор

Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве
(109316, г. Москва, Волгоградский пр-т, 45, стр. 1)

Актуальные вопросы развития стройиндустрии и промышленности строительных материалов

Строительная отрасль фактически формирует заказ промышленности строительных материалов в части параметров технических характеристик материалов, изделий и конструкций, а также их объемов производства. Технические параметры строительных материалов установлены стандартами, а требования по их применению при проектировании и строительстве – сводами правил, составляющими единую систему технического регулирования в строительстве. Только благодаря целостности системы технического нормирования возможно эффективное внедрение инновационных технологий в строительстве. Государственное задание, реализация которого началась в середине текущего года, предусматривает формирование научной базы для разработки и пересмотра нормативных технических документов с учетом появления новых технологий и строительных материалов. Впервые за последние 20 лет государством финансируется организация и проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обеспечивающих определение нормируемых параметров, содержащихся в нормативных технических документах в сфере строительства. Таким образом, системный подход в техническом нормировании в строительстве, комплексность государственного регулирования строительной отрасли и обеспечение согласованности требований безопасности к зданиям и сооружениям, строительным конструкциям, материалам и изделиям позволят осуществить эффективное внедрение инновационных технологий.

Ключевые слова: инновации, строительные материалы, техническое нормирование.

D.V. MIKHEYEV, Candidate of Sciences (Economics) (info@faufcc.ru), Director
Federal center of rationing Standardization and a technical evaluation of compliance in construction
(str. 1, 45, Volgogradskiy Avenue, 109316, Moscow, Russian Federation)

Topical Issues of Development of Building Industry and Industries of Construction Materials

The construction branch actually forms the order of the industry of construction materials regarding parameters of technical characteristics of materials, products and designs, and also their outputs. Technical parameters of construction materials are set by standards, and requirements for their application at design and construction – the sets of rules making uniform system of technical regulation in construction. Only thanks to integrity of system of technical rationing perhaps effective introduction of innovative technologies in construction. The state task which realization has begun in the middle of the current year provides formation of scientific base for development and revision of normative technical documentation taking into account emergence of new innovative technologies and construction materials. For the first time for the last 20 years the state finances the organization and carrying out the research and developmental works providing determination of the normalized parameters, which are contained in normative technical documentation in the sphere of construction. Thus system approach in technical rationing in construction, complexity of state regulation of construction branch and ensuring coherence of safety requirements to buildings and constructions, building constructions, materials and products will allow to carry out effective introduction of innovative technologies.

Keywords: innovations; construction materials; technical rationing.

Для стабильного развития строительной отрасли необходимо обеспечить эффективное нормативно-техническое регулирование. В реализации возложенных на Минстрой России полномочий важная роль отводится вопросам нормативно-технического регулирования в строительстве. Строительная отрасль фактически формирует заказ промышленности строительных материалов в части параметров технических характеристик материалов, изделий и конструкций, а также их объемов производства. Технические параметры строительных материалов установлены стандартами, а требования по их применению при проектировании и строительстве – сводами правил, составляющими единую систему технического регулирования в строительстве.

Только благодаря целостности системы технического нормирования возможно эффективное внедрение инновационных технологий в строительстве.

В настоящее время Минстрой России обладает всеми необходимыми инструментами для внедрения инновационных решений в строительной отрасли. Впервые, это *Технический комитет ТК 465 «Строительство»*, который проводит комплексную экспертизу проектов всех документов в области стандартизации – сводов правил и стандартов. Именно единая струк-

тура ТК, обеспечивающая взаимную согласованность требований к строительной продукции и строительным материалам, позволяет принимать экспертные решения, гарантирующие соблюдение требований Технического регламента о безопасности зданий и сооружений.

Во-вторых, это система разработки и утверждения сводов правил в Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, сформированная на основе принятого недавно Порядка.

Утвержденный Порядок должен обеспечить своевременную разработку новых, пересмотр действующих и актуализацию принятых ранее сводов правил.

Кроме того, государственное задание, реализация которого началась в середине 2015 г., предусматривает формирование научной базы для разработки и пересмотра нормативных технических документов с учетом появления новых технологий и строительных материалов. Впервые за последние 20 лет государством финансируется организация и проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обеспечивающих определение нормируемых параметров, содержащихся в нормативных технических документах в сфере строительства.

Начиная с 2015 г. на регулярной основе будет осуществляться мониторинг и анализ нормативных технических документов с целью выявления пробелов в отечественной нормативной базе для своевременного включения в план новых, необходимых отрасли нормативных технических документов.

В результате в период до 2017 г. данные решения позволяют разработать и утвердить востребованные отраслью документы, содержащие инновационный подход и решения в проектировании и строительстве. Например, уже в настоящее время очевидно, что назрела необходимость создания нормативных документов, обеспечивающих применение в дорожном строительстве инновационных материалов, таких как полимербитумные вяжущие и полимерасфальтобетонные смеси. Применение этих покрытий позволит повысить сроки их службы в 2–3 раза за счет повышения трещиностойкости, сдвигоустойчивости и долговременной прочности.

В России в последние годы начинают активно использоваться геосинтетические материалы при строительстве, ремонте и реконструкции различных зданий и сооружений, в том числе в суровых климатических условиях.

Существуют инновационные разработки в области отопления, вентиляции и кондиционирования, направленные на экономию материальных и энергетических ресурсов, например применение горизонтальной поквартирной разводки системы отопления, использование воздушного отопления на газовых нагревателях, расширение использования малых источников тепла.

По результатам инновационных разработок будут внесены соответствующие изменения в действующие и разработаны новые нормативные документы.

Минстроем России подготовлена программа разработки документов в области стандартизации, расширяющих спектр применения полимерных композитов в области проектирования и строительства на 2014–2016 гг., включающая 20 сводов правил и восемь стандартов, регламентирующих применение в строительстве изделий из полимерных композитов.

До конца 2016 г. запланирована разработка сводов правил «Трубопроводы промышленные из полимерных композитов», «Трубопроводы систем водоснабжения подземные из полимерных композитов», «Трубопроводы систем канализации и дренажа подземные из полимерных композитов», «Конструкции каменные и армокаменные. Правила ремонта и усиления полимерными композитами», «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой», «Конструкции фибробетонные с применением штапельных химических волокон», «Конструкции бетонные и железобетонные. Правила проектирования, ремонта и усиления полимерными композитами», «Конструкции металлические. Правила ремонта и усиления полимерными композитами».

В 2014 г. Минстроем России утвержден План поэтапного внедрения технологий BIM в области промышленного и гражданского строительства. Среди основных преимуществ применения BIM-технологий – точность проектов, исключение проектных ошибок и коллизий, экономия времени проектирования и строительства, уменьшение стоимости строительства и эксплуатации. Технологии информационного моделирования зданий станут предпочтительными для работы с типовыми проектами. В 2016 г. Минстроем России запланирована разработка четырех сводов правил по технологиям информационного моделирования.

В качестве примеров разработки нормативных технических документов в целях внедрения инноваций можно привести утверждение в 2014 г. Минстроем России сводов правил «Здания и комплексы многофункциональные», «Сталежелезобетонные пролетные строения автодорожных мостов», «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами».

Утвержден свод правил «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей», который позволяет улучшить показатель теплозащиты на 30%.

Также до конца 2016 г. запланирована разработка сводов правил, содержащих инновационные решения, в их числе: «Водоснабжение и водоотведение. Правила проектирования и производства работ при восстановлении гибкими полимерными рукавами», «Инженерные системы высотных зданий», «Бетонные и железобетонные конструкции из высокопрочных бетонов», «Сталежелезобетонные конструкции», «Конструкции стальные из тонкостенных холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов», «Ограждающие конструкции из трехслойных панелей. Правила проектирования», «Бетонные и железобетонные конструкции из легких бетонов. Правила проектирования».

Таким образом, системный подход в техническом нормировании в строительстве, комплексность государственного регулирования строительной отрасли и обеспечение согласованности требований безопасности к зданиям и сооружениям, строительным конструкциям, материалам и изделиям позволят осуществить эффективное внедрение инновационных технологий.

СТРОЙ ЭКСПО КРЫМ | **VI СТРОИТЕЛЬНАЯ ВЫСТАВКА В КРЫМУ**

21–23 ОКТЯБРЯ 2016

Место проведения:
ГК «ЯЛТА-ИНТУРИСТ»

hotel YALTA-INTOURIST
★★★★

Организатор:
ЭКСПОКРЫМ
группа компаний

+7 (978) 900 90 90 ■ www.expocrimea.com

Мы в соцсетях: #ЭКСПОКРЫМ

12+

УДК 693.9: 699.841

В.Н. ЯРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук, почетный член РААСН (yarmakovsky@yandex.ru)

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

Физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов

Разработаны физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов (ВКЛБ), необходимые для определения их оптимальных составов и нормируемых параметров. Определены экспериментально-теоретическим путем (с помощью структурно-имитационных моделей) условия формирования оптимальной структуры таких бетонов, в том числе контактной зоны компонентов бетона. Сформулированы технологические основы использования результатов этих исследований для разработки оптимальных составов ВКЛБ и для получения таких бетонов с оптимальными нормируемыми параметрами.

Ключевые слова: легкие бетоны, макро- и микроструктура, химико-минералогический состав, контактная зона, морозостойкость, водонепроницаемость, прочность, деформативность.

V.N. YARMAKOVSKIY, Candidate of Sciences (Engineering), Honorary member of RAACS (yarmakovsky@yandex.ru)
Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (RAACS)
(21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Physical-Chemical and Structural-Technological Bases of Producing High-Strength and High-Durable Structural Lightweight Concretes

Physical-chemical and structural-technological bases of producing high-strength and high-durable structural lightweight concretes (HSLC) necessary for determination of their optimal compositions and regulated parameters have been developed. Conditions of the formation of optimal structure of these concretes including the contact zone of concrete components have been defined by the experimental-theoretical way (with the help of structural-simulation models). Technological bases for using results of these studies for development of optimal compositions of HSLC with optimal regulated parameters have been formulated.

Keywords: lightweight concretes, macro- and microstructure, chemical-mineralogical composition, contact zone, frost resistance, waterproofness, strength, deformability.

В статье [1] обоснована актуальность разработки «Свода правил по проектированию конструкций из легких бетонов» — документа, необходимого для внедрения в практику строительства высокоэффективных легких бетонов новых модификаций, в том числе высокопрочных и высокодолговечных, при преимущественном использовании низкоэнергоемких в производстве пористых заполнителей на основе продуктов переработки техногенных образований металлургии и топливной энергетики [2]. Исходя из этого целью исследований, результаты которых представлены в настоящей статье, явилась разработка физико-химических и структурно-технологических основ получения высокопрочных (классов по прочности при сжатии до В60 вкл.) легких бетонов с высокими показателями долговечности, а именно с марками по морозостойкости до F1500 вкл., марками по водонепроницаемости до максимально нормируемой в СП 28.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 2.03.11–85» — W20.

Результаты этих исследований используются для разработки оптимальных составов высокопрочных и высокодолговечных легких бетонов, определения нормируемых прочностных и деформативных характеристик таких бетонов и показателей их долговечности [1] для разработки в дальнейшем «Свода правил по проектированию конструкций из легких бетонов» в развитие действующего СП 63.13330.2012.

1. Определение условий формирования оптимальной структуры высокопрочного и высокодолговечного конструкционного легкого бетона (ВКЛБ) с позиций основ физикохимии силикатов и структурно-технологических основ

Одной из основных особенностей изготовления КЛБ и его дальнейшего твердения является процесс влагообмена между зернами сухого крупного пористого

заполнителя и окружающей их оболочкой из твердеющего цементного теста и далее — из цементного камня. В процессе изготовления легкого бетонной смеси сначала после затворения водой происходит ее миграция из растворной части бетона в зерна сухого крупного пористого заполнителя, а через некоторое время в процессе твердения бетонной смеси — обратная миграция воды в окружающую оболочку за счет *развития* в основном *осмотического давления* [2].

В дальнейшем миграция влаги в твердеющей бетонной смеси периодически может менять направление, до тех пор пока в системе не установится равновесное влажностное состояние. Таким образом, легкого бетонная смесь ведет себя как саморегулируемая система, до тех пор пока в ней не устанавливается равновлажное и равновесное с окружающей средой состояние. Процесс установления равновесной влажности в рассматриваемой системе подчиняется, по существу, *закону маятника*. Практический вывод из этого: применяемый для изготовления легкого бетонной смеси заполнитель должен быть сухим.

Другой особенностью легкого бетона в сравнении с тяжелым на природных плотных заполнителях является существенно более высокое (в 1,7–2,5 раза) сцепление крупного пористого заполнителя с растворной частью.

При этом прочность сцепления растворной части с водонасыщенным пористым заполнителем меньше, чем прочность сцепления с сухим заполнителем. Эти особенности строения легкого бетона оказывают значительное влияние на его прочностные свойства (особенно на прочность при растяжении), деформативные и другие свойства, и это следует учитывать при создании основ технологии КЛБ.

При затворении водой легкого бетонной смеси зерна сухого пористого заполнителя могут набухать (в различной степени в зависимости от вида заполнителя и его

оболочки). Поскольку влажностный коэффициент линейного расширения (КЛТР) зерна заполнителя может быть больше соответствующего значения для цементно-песчаного раствора, зерно пористого заполнителя может подвергаться трехосному сжатию со стороны твердеющей растворной части. При этом сцепление таких компонентов бетона усиливается и тем самым повышается прочность его контактной зоны.

Такой процесс должен способствовать повышению водонепроницаемости КЛБ в сравнении с равнопрочным тяжелым бетоном на природных плотных заполнителях, поскольку в соответствии с работами М.З. Симонова [3] и Л.П. Орендлихер [4] основными путями проникновения влаги в бетон является именно контактная зона. Так, если крупный заполнитель плотный (типа гранита или доломита), то возможно определенное скопление воды под зерном такого заполнителя, опускающегося (при воздействии гравитационных сил) в цементном тесте бетонного изделия. Эта вода затем в процессе твердения бетона может испаряться, образуя пустоты под зернами заполнителя. Происходит так называемая внутренняя *седиментация бетонной смеси*, которая существенно ослабляет сцепление зерен плотного заполнителя с растворной частью бетона.

В целом же, если исходить из основ физикохимии силикатов [5], классических основ физики бетонов и их технологии [3–6], то значительные преимущества в плотности и, соответственно, прочности контактной зоны (КЗ) крупного заполнителя с растворной частью в легком бетоне в сравнении с тяжелым бетоном того же класса по прочности обусловлены:

Во-первых, существенно меньшей *величиной истинного водоцементного отношения* ($V_{ист}/Ц = V_{затв} - V_{зан}$, где $V_{затв}$ – вода затворения бетонной смеси, а $V_{зан}$ – вода, поглощенная зернами сухого заполнителя) в контактной зоне (КЗ) в сравнении с цементной матрицей или растворной частью бетона. Толщина КЗ в конструкционном легком бетоне составляет, по различным данным, от 40 до 150 мкм в зависимости от вида, структуры, химико-минералогического и фазового составов зерна крупного заполнителя, от состава бетона и, соответственно, его растворной части (в том числе и от вида и структуры мелкого заполнителя), а также от условий твердения бетона (пропаривание или нормально-влажностное).

Величина $V_{ист}/Ц$ уменьшается при приближении из центра матрицы – растворной части бетона (из центра расстояния между зернами крупного пористого заполнителя) к поверхностной зоне этих зерен. Это вызвано отмеченными выше процессами миграции воды затворения (отсоса) из зерен пористого заполнителя в растворную часть бетона.

С уменьшением $V_{ист}/Ц$ повышается плотность и соответственно прочность формирующейся контактной зоны. Последнему способствует и обратная миграция воды затворения из зерна заполнителя в цементную матрицу в процессе твердения бетона. Это усиливает процессы гидратации в цементном камне, в него включаются дополнительно непрогидратированные еще зерна цементного клинкера. Такой процесс способствует формированию мелкопористой структуры легкого бетона с минимальным объемом сообщающихся поркапилляров. Последнее благоприятно отражается на

показателях долговечности бетона (морозостойкости и водонепроницаемости), а также на таких его характеристиках напряженно-деформированного состояния, как границы области микротрещинообразования (особенно нижней границы образования обратимых микротрещин), и соответственно, на прочности бетона при растяжении.

Во-вторых, формирование прочной контактной зоны в КЛБ обусловлено *уплотнением ее новообразованиями – продуктами химической реакции минералов зерна пористого заполнителя с соответствующими минералами цементного камня*. Это характерно для пористых шлаковых заполнителей, особенно для заполнителей из гидравлически активных доменных шлаков. Как установлено многими исследователями в петрографических наблюдениях [6–11], в результате взаимодействия минералов поверхностной зоны пористого зерна шлакового заполнителя (особенно с высоким содержанием аморфизированной фазы) и минералов цемента в цементном тесте в зоне их контакта возникают новообразования. Последние и должны являться основным носителем прочности сцепления шлакового заполнителя и цементного теста. Состав возможных новообразований, получающихся при гидратации доменного шлака с помощью активизаторов (минералов цементного камня), достаточно полно освещен в соответствующей литературе.

Так, из работ Ю.М. Бутта, А.А. Майера, Б.Г. Варшала [12] известно, что при гидратации кристаллической составляющей мелилита (минерала доменного шлака) с известью образуется единственная фаза – гидрогранаты. Гидратация аморфизированного стекла поверхностной зоны пористого шлакового заполнителя, соответствующего составу мелилита, протекает особенно энергично, приводит также к образованию гидрогранатов и, кроме того, *гидросиликатов кальция $C_2SH(A)$ и $CSH(B)$* .

Таким образом, продукты *гидратации и твердения шлаков в присутствии активизатора – цементного клинкера* существенно различаются в зависимости от фазового состава шлака: в случае стекловидного (с аморфизированной структурой) шлака процесс гидратации в контактной зоне идет более энергично и приводит при тепловлажностной обработке легкого бетона, изготовленного на пористых шлаковых заполнителях, к образованию низкоосновных, главным образом мелкокристаллических гидросиликатов кальция. Последнее существенно способствует повышению прочности контактной зоны легкого бетона и в целом показателей его прочности и долговечности.

К этому же выводу приводят результаты исследований, выполненных в МХТИ им. Д.И. Менделеева В.С. Горшковым, С.Е. Александровым и их учениками [13] в области гидравлических и вяжущих свойств шлаковых стекол в системе $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO-Fe_2O_3$.

Результаты определения сцепления между образцами из доменного шлака (как стекловидного, так и кристаллического) и цементным камнем, а также, для сравнения, между плотным гранодиоритом и цементным камнем при различных условиях твердения, полученные в УралНИИСтромпроект в исследованиях Г.В. Геммерлинга и Л.Б. Цимерманиса [14], приведены в таблице.

Вид материала заполнителя	Прочность сцепления в контактной зоне при растяжении, МПа	
	Пропаривание 6 ч + 14 сут НВТ	Нормально-влажностные условия твердения (НВТ), 28 сут
Стекловидный шлак	6,4	4,2
Кристаллический шлак	2,8	2,2
Гранодиорит	0,1	0,8

Проанализировав данные таблицы, можно заключить, что явно наибольшее сцепление в контактной зоне бетона наблюдается в случае использования заполнителя из стекловидного шлака независимо от условий твердения образцов. Это обусловлено относительно высокой активностью минералов шлаковых стекол, причем главным образом минералов изотропной разновидности стекла (геленита, окерманита, мелилита, псевдоволастонита и др.) [5, 7, 15].

Плотная контактная зона тормозит развитие магистральных трещин в бетоне, которые образуются слиянием микротрещин при силовых или температурно-климатических воздействиях на бетон, и тем самым препятствует его разрушению. Отсюда понятно, что для достижения наибольшей прочности легкого бетона на пористых заполнителях следует стремиться к наиболее однородной монолитной его структуре, которую должна обеспечивать достаточно плотная бездефектная, а следовательно, и прочная структура контактной зоны. Особенно это касается:

- прочности бетона на растяжение и на растяжение при изгибе;
- показателей долговечности бетонов (водонепроницаемости и морозостойкости), как показано в трудах Л.П. Орентлихер и Г.И. Горчакова;
- параметрических точек напряженно-деформированного состояния КЛБ, как установлено в ранних исследованиях автора статьи [16] (см. далее разд. 3).

Следовательно, в соответствии с вышеизложенным, при разработке технологий переработки техногенных образований, в частности шлаков черной металлургии и тепловой энергетики, следует стремиться к максимально возможной (исходя из регламентируемой прочности) остеклованности шлакового заполнителя или по крайней мере поверхностной зоны или оболочки зерна шлакового заполнителя.

2. Определение условий формирования оптимальной структуры высокопрочного КЛБ с помощью структурно-имитационной модели (СИМ-модель) при действии кратковременной сжимающей нагрузки¹

В излагаемых ниже исследованиях использовали основы механики разрушения бетона, разработанные профессорами Ю.В. Зайцевым [17] и Н.И. Карпенко [18]. Структура бетона рассматривается на макроуровне и включает матрицу (растворную часть бетона) с включениями-заполнителями в виде выпуклых многоугольников, на границе которых имеется контактная зона с отличными от матрицы и включений свойствами. Основным начальным дефектом структуры бетона являются крупные поры, которые моделируются круглыми отверстиями с выходящими на их контур двумя коллинеарными микротрещинами, расположенными стохастически как в матрице, так и во включениях. Процесс разрушения бетона рассматривается в виде накопления развивающихся с ростом нагрузки первоначальных дефектов и завершается их слиянием в магистральную трещину, пересекающую бетонный образец-пластину единичной толщины.

Ранжирование параметров макроструктуры по степени их влияния на прочность бетона устанавливали по результатам выполненного вычислительного эксперимента на модели-аналоге КЛБ в следующей последовательности: а) определяется прочность на модели-аналоге бетона $q_{ан}$ при заданных ее геометрических и физических параметрах; б) изменяется исследуемый параметр макроструктуры в модели-аналоге и снова определяют ее прочность q_p ; в) определяется степень влияния ис-

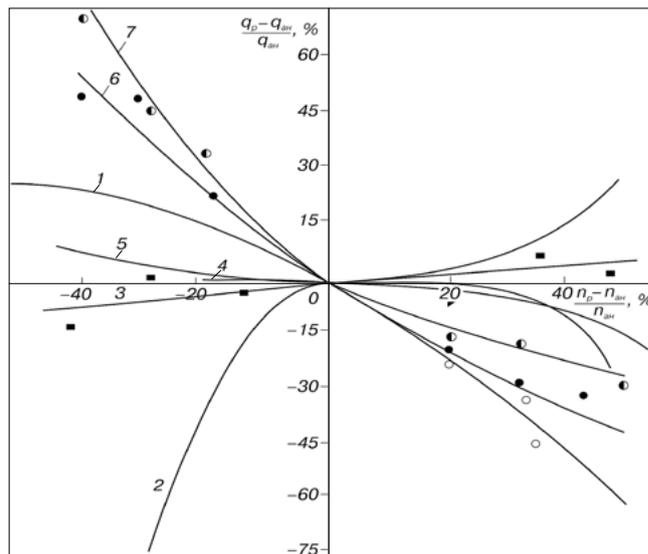


Рис. 1. Влияние параметров макроструктуры на прочность КЛБ: 1 — неоднородность включений-заполнителей; 2 — прочность контактной зоны; 3 — ширина контактной зоны; 4 — коэффициент формы включений-заполнителей; 5 — диаметр включений — крупных пор; 6, 7 — диаметр и количество начальных дефектов структуры

следуемого параметра на прочность бетона по величине соотношения $(q_p - q_{ан})/q_{ан}, \%$.

На основании результатов вычислительных экспериментов на СИМ-модели по влиянию параметров макроструктуры КЛБ на его прочность (рис. 1) можно сформулировать следующие основные условия формирования ее как оптимальной (перечисляются в порядке степени их влияния). Это, по существу, определяет излагаемые ниже основы технологических приемов получения высокопрочных легких бетонов:

- обеспечение прочного (не ниже прочности компонентов) контакта матрицы затвердевшей растворной части бетона с включениями (зернами крупного заполнителя);
- улучшение поровой структуры компонентов бетона (и растворной части — матрицы бетона, и зерна заполнителя) в направлении уменьшения размера пор и их количества (пористости); как показали результаты исследований, выполненные автором в НИИСФ, это условие обеспечивается таким эффективным технологическим приемом, как использование при изготовлении высокопрочного легкого бетона модификатора его структуры [19], способствующего трансформации крупнопористой структуры бетона в мелкопористую с равномерным распределением пор по объему;
- обеспечение однородности включений, под которыми понимаются здесь зерна заполнителя; в рассмотренном случае — однородность по величине модуля упругости зерна.

3. Экспериментальные исследования контактной зоны основных компонентов КЛБ различных модификаций и параметрических уровней напряженно-деформированного состояния при осевом сжатии

Исследования контактной зоны проводились на образцах КЛБ класса по прочности при сжатии В45, изготовленных на пористых заполнителях двух видов: высокопрочном керамзитовом гравии Новочебоксарского ДСК и пористом шлаковом гравии (ПШГ) с остеклованной оболочкой, изготовленном в шлакоперерабатывающем цехе Новолипецкого металлургического комбината.

¹ Исследования выполнялись в рамках проекта РФФИ № 09-08-13560 (руководитель В.Н. Ярмаковский с участием В.И. Кондращенко).

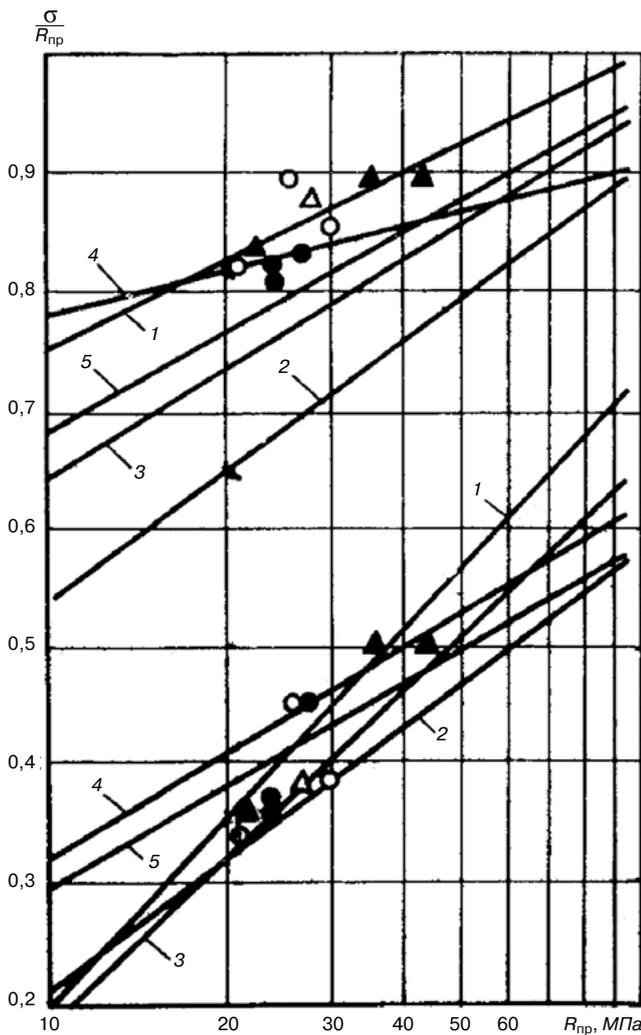


Рис. 2. Нижняя ($R'_i/R_{пр}$) и верхняя ($R''_i/R_{пр}$) границы области микротрещинообразования конструкционного легкого бетона, изготовленного на пористых заполнителях различных видов, в зависимости от его призмочной прочности ($R_{пр}$), в сравнении с равнопрочным тяжелым бетоном: 1 – бетон на шлакостеклогрануляте и кварцевом песке; 2 – тяжелый бетон; 3 – керамзитобетон на пористом песке; 4 – керамзитобетон на кварцевом песке; 5 – бетон на безобжиговом зольном гравии и кварцевом песке; Δ – бетон воздушно-сухого твердения; \circ – бетон нормально-влажностного твердения

С помощью прибора ПМТ-3 с алмазной пирамидкой были определены значения напряжений в зоне контакта зерна крупного пористого заполнителя с затвердевшей растворной частью бетона H_{μ}^{K3} и непосредственно в цементно-песчаном камне H_{μ}^{K1} – растворной части между зернами крупного заполнителя. Максимальная величина микротвердости установлена в контактной зоне H_{μ}^{K3} , что обусловлено следующим характерным для КЛБ технологическим условием: $V_{цст}/Ц < V_3/Ц$, где $V_{цст} = V_0 - V_3$ (V_0 – общая вода затворения бетонной смеси, V_3 – вода, поглощенная зерном пористого заполнителя в процессе приготовления смеси, которая в процессе твердения бетона мигрирует обратно в растворную часть и тем самым способствует благоприятным условиям дальнейшего твердения бетона и формированию его мелкопористой структуры).

Осредненные значения H_{μ}^{K3} составили в проведенных экспериментальных исследованиях для легкого бетона на ПШГ – 1580 кНс/мм², для керамзитобетона – 1255 кНс/мм², а осредненные значения H_{μ}^{K1} – соответственно 860 и 880 кНс/мм². Таким образом, величина отношения $H_{\mu}^{K3}/H_{\mu}^{K1}$ выше более чем на 25% у бетона на

пористом шлаковом гравии в сравнении с традиционным керамзитобетоном.

Последнее определяет следующие процессы и условия образования и сохранения плотной и прочной контактной зоны в легком бетоне на пористых заполнителях из металлургических шлаков, в частности доменного производства:

а) гидратация минералов шлака (мелилита и др.) стекловидной оболочки зерна ПШГ в присутствии сильного активатора (цементного клинкера) → образование высокопрочных гидрогранатов и гидросиликатов кальция $C_2SH(A)$ и $CSH(B)$;

б) преимущественное содержание в оболочке зерна ПШГ шлаковых стекол наиболее гидравлически активной изотропной разновидности системы $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO-Fe_2O_3$;

в) близость значений модулей упругости и коэффициентов линейного температурного расширения компонентов бетона, определяемая близостью значений минералогического состава цементного камня и доменного шлака, из расплавов которого производится пористый заполнитель.

Указанными характеристиками контактной зоны зерен пористых заполнителей (особенно шлаковых) с растворной частью КЛБ и обусловлены вышеизложенные существенные преимущества в показателях и водонепроницаемости и морозостойкости конструктивных легких бетонов, в том числе и высокопрочных, в сравнении с равнопрочными бетонами на природных плотных заполнителях. Что касается преимуществ в морозостойкости КЛБ в сравнении с равнопрочным тяжелым бетоном, то оно обусловлено дополнительно наличием буферной зоны (поровой структуры заполнителя), которая в значительной степени может снижать эффект развития гидравлического давления в порах-капиллярах растворной части бетона при фазовом переходе в лед содержащейся в них воды, сопровождающемся, как известно, перестройкой молекул воды с увеличением в объеме.

4. Параметрические точки процесса напряженно-деформированного состояния КЛБ при осевом сжатии

На конечном этапе работы определяли с использованием метода ультразвуковых волн, распространяющихся по поперечной и продольной плоскостям в разных сечениях опытных образцов бетонных призм, нижнюю R'_i и верхнюю R''_i границы областей микротрещинообразования конструкционного легкого бетона класса по прочности при сжатии до В45 вкл. При этом для изготовления КЛБ использовали различные виды заполнителей: на керамзитовом гравии с пористым (в одном варианте) и с плотным песком (в другом), на пористом шлаковом гравии с остеклованной оболочкой (шлакостеклогрануляте) и кварцевом песке, на безобжиговом зольном гравии и кварцевом песке. Для сравнения определялись границы области микротрещинообразования равнопрочных тяжелых бетонов.

Установлено, что величины уровней напряжений, определяющих эти области для КЛБ, составляют: $R'_i/R_{пр}$ – от 0,34 до 0,5; $R''_i/R_{пр}$ – от 0,82 до 0,89, повышаясь с увеличением прочности бетона на сжатие. Все эти значения существенно выше, чем для равнопрочного тяжелого бетона, что коррелируется с вышеописанным (см. разд. 3) соответствующим состоянием контактной зоны равнопрочных легкого и тяжелого бетонов.

Наибольшие величины уровней напряжений $R'_i/R_{пр}$ и $R''_i/R_{пр}$ установлены при использовании в легком бетоне в качестве заполнителя шлакостеклогранулята (рис. 2). Последнее хорошо коррелируется с вышеизложенными результатами исследований контакт-

ной зоны КЛБ на пористых заполнителях различных видов. Установлено, что эти характеристики для КЛБ на шлакостеклогрануляте аппроксимируются уравнениями:

$$R_t^o/R_{np} = 0,525 \lg R_{np} - 0,327;$$

$$R_t^v/R_{np} = 0,239 \lg R_{np} + 0,517.$$

Совместный анализ графиков зависимостей уровней напряжений осевого сжатия σ/R_{np} , соответствующих нижней и верхней границам области микротрещинообразования от величины призмочной прочности R_{np} , показал, что в отличие от тяжелого бетона конструкционные легкие бетоны имеют менее выраженную нижнюю границу области микротрещинообразования R_t^o . Особенно это относится к конструкционному легкому бетону на шлакостеклогрануляте и соответствующем пористом песке. Здесь эта граница как бы несколько размыта в области напряжений от 0,2 до 0,4 R_{np} . Это вполне объяснимо, учитывая:

- во-первых, что прочность контактной зоны этого вида бетона существенно выше, чем легких бетонов на других видах заполнителей;
- во-вторых, что нижняя граница определяет, как известно, уровень напряжений, соответствующих развитию частично обратимых микротрещин, а верхняя граница — уже необратимых микротрещин, которые при повышении уровня нагружения σ/R_{np} сливаются в магистральную трещину, что и приводит к разрушению бетона.

Как видно из рис. 2, уровни напряжений R_t^o/R_{np} и R_t^v/R_{np} , так же как и для других видов бетонов, превышают соответствующие характеристики равнопрочного тяжелого бетона на 15–30%, особенно при высоких значениях R_{np} . Это коррелируется со значительным преимуществом легких бетонов (особенно на основе шлакостеклогранулята) в прочности контактной зоны по сравнению с равнопрочными тяжелыми бетонами на природных плотных заполнителях (см. разд. 3).

При этом немаловажно отметить, что уровень напряжений сжатия, соответствующий и нижней и особенно верхней границам области микротрещинообразования бетона на основе шлакостеклогранулята, выше минимумом на 20–25%, чем для равнопрочных керамзитобетона и аглопорита. Это также может быть обусловлено:

Список литературы

1. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. К нормированию физико-механических характеристик высокопрочных легких бетонов и методам расчета конструкций из них // *Жилищное строительство*. 2016. № 7. С. 25–28.
2. Петров В.П., Макридин Н.И., Соколова Ю.А., Ярмаковский В.Н. Технология и материаловедение пористых заполнителей и легких бетонов: Монография. М.: Изд. «Палеотип»: РААСН, 2013. 332 с.
3. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов. М.: Стройиздат, 1973. 583 с.
4. Орендликер Л.П. Бетоны на пористых заполнителях в сборных железобетонных конструкциях. М.: Стройиздат, 1983. 144 с.
5. Красильников К.Г., Никитина Л.В., Скоблинская Н.Н. Физикохимия собственных деформаций цементного камня. М.: Стройиздат, 1980. 252 с.
6. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 456 с.
7. Kosmatka S.H., Kerkhoff B. Design and control of concrete mixtures // Guide to application, methods, and materials. Ottawa, Cement Association of Canada, 2011, 411 p.

- лучшим состоянием контактной зоны бетона на шлакостеклогрануляте, а также большей однородностью структуры такого бетона (рис. 2);
- большей относительной прочностью растворной части бетона на шлакостеклогрануляте благодаря интенсивному отсосу воды затворения зерном шлакового пористого заполнителя и, соответственно, меньшей величиной истинного водоцементного отношения;
- меньшей разницей в величинах модуля упругости зерна крупного заполнителя и растворной части у бетона на шлакостеклогрануляте, меньшей разницей в реологических свойствах этих компонентов бетона и наличием плавной переходной по прочности зоны от зерна крупного пористого заполнителя к цементно-песчаному раствору.

Выводы.

Разработаны физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов, изготавливаемых преимущественно с использованием низкоэнергетических в производстве пористых заполнителей — продуктов переработки техногенных образований металлургии и топливной энергетики.

При этом обоснованы результатами теоретических и специальных экспериментальных исследований существенно более высокие показатели морозостойкости и водонепроницаемости (марок соответственно F1500 и W20) высокопрочных легких бетонов на пористых заполнителях различных видов в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами на природных плотных заполнителях.

Определены экспериментально-аналитическим путем (с помощью структурно-имитационных моделей) условия формирования оптимальных структур таких бетонов на макроуровне. При этом качественно и количественно установлено влияние контактной зоны компонентов бетона.

Результаты проведенных исследований позволяют определить оптимальные составы высокопрочных легких бетонов и необходимые для проектирования железобетонных конструкций нормируемые параметры прочности, деформативности и долговечности таких бетонов.

References

1. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N. To the Standardization of Physical- Mechanical Properties of High Strength Lightweight Aggregate Concrete and to the Calculation Methods of Structures Made of them *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 7, pp. 25–28. (In Russian).
2. Petrov V.P., Makridin N.I., Sokolova Yu.A., Yarmakovskii V.N. Tekhnologiya i materialovedenie poristyx zapolnitelei i legkikh betonov. Monografiya [Technology and materials porous aggregates and lightweight concrete. Monograph]. Moscow: "Paleotip": RAACS. 2013. 332 p.
3. Simonov M.Z. Osnovy tekhnologii legkikh betonov [Technology basics of lightweight concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1973. 583 p.
4. Orendlikher L.P. Betony na poristyx zapolnitelyakh v sbornykh zhelezobetonnykh konstruktivnykh [Concrete with porous aggregates in precast concrete structures]. Moscow: Stroyizdat. 1983. 144 p.
5. Krasil'nikov K.G., Nikitina L.V., Skoblinskaya N.N. Fizikokhimiya sobstvennykh deformatsii tsementnogo kamnya [Physical chemistry of its own strain of cement paste]. Moscow: Stroyizdat. 1980. 252 p.
6. Akhverdov I.N. Osnovy fiziki betona [Fundamentals of physics concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1981. 456 p.

8. FIP Manual of Lightweight Aggregate Concrete. Third Edition. Glasgow and London. Surrey University Press, 2003. 255 p.
9. Yarmakovskiy V.N., Pustovgar A.P. The scientific basis for the creation of a composite binders class, characterized of the low heat conductivity and low sorption activity of cement stone // *Proceeding of XXIV R-S-P seminar. Theoretical Foundation of Civil Engineering (24RSP). Procedia Engineering*. 2015. 111, pp. 864–870.
10. Каушанский В.Е. Применение техногенных материалов при производстве цемента // *Труды международной научно-практической конференции «Наука и технология силикатных материалов – настоящее и будущее». РХТУ им. Д.И. Менделеева*. 14–17 октября 2003 г. Т. IV. С. 36–50.
11. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Школьник Я.Ш. Состояние и перспективы использования продуктов переработки техногенных образований в строительной индустрии // *Экология и промышленность России*. 2012. № 10. С. 50–54.
12. Бутт Ю.М., Майер А.А., Варшал Б.Г. Гидратация минералогических составляющих доменных шлаков. В кн.: *Вопросы шлакопереработки: Труды Челябинского «ПромстройНИИпроекта»*, 1960. С. 418–446.
13. Горшков В.С., Александров С.Е., Ивашенко С.И., Горшкова И.В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве. М.: Стройиздат, 1985. 273 с.
14. Геммерлинг Г.В., Цимерманис Л.Б. Шлакопемзобетон. М.: Стройиздат, 1969. 135 с.
15. Ботвинкин О.К. Физическая химия силикатов. М.: Стройиздат, 1955. 287 с.
16. Ярмаковский В.Н. О методе расчета железобетонных конструкций повышенной морозостойкости // *Труды НИИЖБ «Повышение стойкости бетона и железобетона при воздействии агрессивных сред»*. М.: Стройиздат, 1975. С. 34–38.
17. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. М.: Стройиздат, 1982. 196 с.
18. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 208 с.
19. Патент РФ 2421421. *Модификатор бетона и способ его получения* / Ярмаковский В.Н., Торпищев Ш.К., Торпищев Ф.Ш. Заявл. 27.10.2009. Опубл. 20.06.2011. Бюл. № 17.
7. Kosmatka S.H., Kerkhoff B. Design and Control of Concrete Mixtures. Guide to Application, Methods, and Materials. Ottawa, Cement Association of Canada, 2011, 411 p.
8. FIP Manual of Lightweight Aggregate Concrete. Third Edition. Glasgow and London. Surrey University Press. 2003. 255 p.
9. Yarmakovskiy V.N., Pustovgar A.P. The scientific basis for the creation of a composite binders class, characterized of the low heat conductivity and low sorption activity of cement stone. *Proceeding of XXIV R-S-P seminar. Theoretical Foundation of Civil Engineering (24RSP). Procedia Engineering*. 2015. 111, pp. 864–870.
10. Kaushanskiy V.E. The use of man-made materials in the manufacture of cement. *Proceedings of the International scientific-practical conference “Science and technology of silicate materials – present and future date.” MUCTR. D.I. Mendeleev*. 14–17 oct. 2003, pp. 36–50. (In Russian).
11. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N., Shkol'nik Ya.Sh. Status and prospects of the processed products of man-made structures in the construction industry. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2012. No. 10, pp. 50–54. (In Russian).
12. Butt Yu.M., Maier A.A., Marshal B.G. Hydration mineralogical components of blast furnace slag. In the book: *Questions of slag. Proceedings of the Chelyabinsk “PromstroyNIIProekt”*. 1960, pp. 418–446. (In Russian).
13. Gorshkov V.S., Aleksandrov S.E., Ivashchenko S.I., Gorshkova I.V. Kompleksnaya pererabotka i ispol'zovanie metallurgicheskikh shlakov v stroitel'stve [Complex processing and utilization of metallurgical slag in construction]. Moscow: Stroyizdat. 1985. 273 p.
14. Gemmerling G.V., Tsimermanis L.B. Shlakopemzobeton. [Shlakopemzobeton. Moscow: Stroyizdat. 1969. 135 p.
15. Botvinkin O.K. Fizicheskaya khimiya silikatov [Physical chemistry of silicates]. Moscow: Stroyizdat. 1955. 287 p.
16. Yarmakovskiy V.N. On the method of calculation of reinforced concrete structures increased frost resistance. *Proceedings NIIZhB “Improving the durability of concrete and reinforced concrete when exposed to aggressive environments”*. Moscow: Gosstrois SSSR Stroyizdat. 1975. pp. 34–38. (In Russian).
17. Zaitsev Yu.V. Modelirovanie deformatsiy i prochnosti betona metodami mekhaniki razrusheniya [Simulation of deformation and strength of concrete methods of fracture mechanics]. Moscow: Stroyizdat. 1982. 196 p.
18. Karpenko N.I. Obshchie modeli mekhaniki zhelezobetona [General mechanics model of reinforced concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1996. 208 p.
19. Patent RF 2421421. *Modifikator betona i sposob ego polucheniya* [Modifier concrete and its production method]. Yarmakovskiy V.N., Torpishchev Sh.K., Torpishchev F.Sh.; Declared 27.10.2009. Published. 20.06.2011. Bulletin No. 17. (In Russian).

НОВОСТИ

В Рязани открыто новое производство теплоизоляционных материалов

В Рязани 24 мая 2016 г. компания ТехноНИКОЛЬ открыла новый завод по производству теплоизоляционных материалов из жесткого пенополиизоцианурата под торговой маркой LOGICPIR.

Производственные мощности завода составляют 30 млн м² продукции в год. Общий объем инвестиций в проект составил 1,7 млрд р. На новом предприятии будут изготавливать современные плиты PIR, которые обладают широким спектром преимуществ – низкой горючестью (Г1), высокая теплосберегающая способность (коэффициент теплопроводности 0,022 Вт/(м·К)), прочностью при сжатии более 120 кПа, а также высоким сопротивлением пешеходной нагрузке в составе систем плоских кровель.

В рамках реализации данного проекта компания ТехноНИКОЛЬ создала на территории завода научную лабораторию, которая не толь-

ко контролирует параметры качества готовой продукции, но и занимается разработками уникальных рецептов, соответствующих быстрорастущим потребностям рынка.

Новый завод соответствует высоким стандартам безопасности окружающей среды. Гарантией безопасности на производстве является сотрудничество с крупнейшими химическими концернами, которые специализируются на производстве сырья: Bayer, Basf, Dow Chemical, Huntsman Polyurethanes. Данные поставщики являются членами европейской ассоциации ISOPA и работают в соответствии с установленными строгими правилами перевозки, приема, хранения и слива сырьевых компонентов.

По материалам компании ТехноНИКОЛЬ

УДК 536.2:69.022

И.Я. КИСЕЛЕВ, д-р техн. наук (ikiselyov@bk.ru)

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

Метод ускоренного определения равновесной сорбционной влажности легких и ячеистых бетонов

Разработан метод экспериментального определения равновесной сорбционной влажности строительных материалов. Комнатный воздух барботируют через слой воды и таким образом увлажняют его до относительной влажности примерно 95%. Путем охлаждения полученного воздуха его относительную влажность доводят до 100%. Затем воздух нагревают до той температуры, при которой необходимо определить равновесную сорбционную влажность материала. Подготовленный таким образом воздух, имеющий заданную температуру и относительную влажность, непрерывно прокачивают через образец материала до достижения им равновесной влажности. Экспериментально доказано, что метод позволяет определить равновесную сорбционную влажность легких и ячеистых бетонов: за 6–8 ч, т. е. в 300–400 раз быстрее, чем эксикаторным методом; в диапазоне температуры 10–30°C и при относительной влажности воздуха 40–97%; с относительной погрешностью, не превышающей 10%.

Ключевые слова: строительные материалы, равновесная сорбционная влажность, метод ускоренного определения, ячеистый бетон, легкий бетон.

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

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

Method for Accelerated Determination of Equilibrium Sorption Humidity of Light and Cellular Concretes

The method for experimental determination of the equilibrium humidity of building materials has been developed. Room air is bubbled through the water layer and humidifies it up to the relative humidity of about 95%. By cooling the obtained air, its relative humidity is brought up to 100%. Then the air is heated to the temperature at which it is necessary to determine the equilibrium humidity of the material. Thus prepared air, having a predetermined temperature and relative humidity, is continuously pumped through the material sample till reaching its equilibrium humidity. It is experimentally shown that this method makes it possible to determine the equilibrium humidity of light and cellular concretes during 6–8 hours, that is 300–400 times faster than by the desiccator method, in the temperature range of 10–30°C and the air relative humidity of 40–97%, with a relative error not exceeding $\pm 10\%$.

Keywords: building materials, equilibrium sorption humidity, method for accelerated determination, cellular concrete, light concrete.

Равновесная сорбционная влажность строительных материалов в значительной мере определяет ход процессов тепло- и влагопереноса через наружные ограждающие конструкции зданий, а следовательно, и сопротивление теплопередаче этих конструкций в реальных условиях эксплуатации [1–3]. Поэтому при расчете сопротивления теплопередаче конструкций необходима информация о сорбционной влажности материалов, из которых изготовлена конструкция [4–6].

Эксперименты по определению равновесной сорбционной влажности строительных материалов эксикаторным методом длительны и трудоемки. Как правило, длительность эксперимента по определению равновесной сорбционной влажности одного строительного материала при положительной температуре эксикаторным методом составляет 3–4 месяца. Для материалов со сложной поровой структурой, например ячеистых бетонов, длительность эксперимента может достигать шести месяцев. Очевидно, что традиционный эксикаторный метод неприменим в тех случаях, когда значения равновесной сорбционной влажности строительного материала необходимо определить быстро, например при исследовании влияния технологии производства или состава исходного сырья и добавок на сорбционную влажность исследуемого материала. Из вышеизложенного следует, что необходимо разработать метод ускоренного определения равновесной сорбционной влажности строительных материалов.

На первом этапе разработки этого метода был проведен патентно-информационный поиск, предметом которого были приборы и методы исследования процессов адсорбции. В патенте С.Б. Лоуэлла (S.B. Lowell) [7] для ускорения процесса сорбции предложено непрерывно

прокачивать газообразный адсорбат через образец адсорбента.

Сущность метода ускоренного определения равновесной сорбционной влажности строительных материалов, реализованного в созданной экспериментальной установке, заключается в следующем. Комнатный воздух барботируют через слой воды и этим увлажняют его до относительной влажности, равной примерно 95%. Путем охлаждения полученной паровоздушной смеси ее доводят до насыщения, таким образом, относительная влажность воздуха становится равной 100%. Затем его нагревают до той температуры, при которой необходимо определить равновесную сорбционную влажность испытываемого материала. Подготовленный воздух непрерывно прокачивают через размещенный в боксе образец испытываемого материала до достижения им равновесной влажности.

Температура, до которой следует охладить воздух после его барботирования, зависит от температуры и относительной влажности воздуха, при которых необходимо определить равновесную сорбционную влажность материала. В табл. 1 приведены значения температуры, до которых следует охладить воздух при определении равновесной сорбционной влажности материалов при температуре +10, +20 и +30°C.

Первые эксперименты по определению равновесной сорбционной влажности ускоренным методом на одноканальной установке были проведены на образцах газобетона плотностью 300 и 700 кг/м³, керамзитоперлитобетона плотностью 850 кг/м³, а также на образцах растворной части керамзитобетона, плотность которого равнялась 1200 кг/м³. Эти эксперименты были проведены при температуре +20°C.

Таблица 1

Относительная влажность воздуха, прокачиваемого через бюксу, %	40	60	80	90	95	
Требуемое значение температуры охлажденного воздуха, °С, при температуре воздуха, °С, в бюксе	+10	-3	+2,6	+6,7	+8,4	+9,2
	+20	+6	+12	+16,4	+18,3	+19,2
	+30	+14,7	+21,1	+25,9	+27,9	+28,8

Таблица 2

Относительная влажность воздуха, %	40	60	80	90	95	
Равновесная сорбционная влажность газобетона, %, при температуре, °С	+10	—	5,5	9,2	13,1	16,4
	+30	2,3	3,5	5,1	8,3	11,5

Таблица 3

Материал	Плотность, γ_0 , кг/м ³	Равновесная сорбционная влажность, %, при относительной влажности воздуха, %				
		40	60	80	90	97
Керамзитобетон	1100	1/0,7	-/1,4	2,3/2,3	3,1/3,2	4,2/4,5
Керамзитоперлитобетон	850	2,3/2,3	3,5/3,4	5,6/5,3	7,6/7	8,8/9/5
Шунгзитобетон	1200	-/0,8	1,2/1,2	2,3/2,2	3,1/3,2	5,4/4/3
Шунгзитобетон	1300	1,8/-	2/1,8	3,5/3,2	4,9/-	6,9/7,3
Газобетон	650	1,8/2	2,3/2,6	3,2/3,5	5,2/5,6	16/18
Пенобетон	700	19/2	2,6/2,8	5,1/5,4	7,1/7,4	9,8/11

Примечание. Над чертой — значения, полученные методом ускоренного определения; под чертой — значения, полученные эксикаторным методом.

При проведении экспериментов образцы газобетона, керамзитоперлитобетона и растворной части керамзитобетона помещались в бюксу в виде кусочков размером 2–4 или 6–8 мм. Эксперименты показали, что время, необходимое для того, чтобы образцы материалов размерами 2–4 мм достигли равновесного влажностного состояния с прокачиваемым воздухом, составляет 6–8 ч. Это время практически не зависит от относительной влажности прокачиваемого воздуха. Для образцов указанных материалов в виде кусочков размерами 6–8 мм это время составляет 9–10 ч. Следовательно, для бетонов оптимальными размерами кусочков являются 2–4 мм. Дальнейшее уменьшение их размеров нецелесообразно, так как поток прокачиваемого воздуха может начать перемешивать кусочки материала в бюксе.

Эксперименты показали, что:

- оптимальная скорость прокачки воздуха через бюксу составляет 1 л/мин, так как при уменьшении скорости увеличивается время достижения образцом равновесного влажностного состояния, а при увеличении скорости возможен вынос кусочков материала из бюксы потоком воздуха;

- абсолютное изменение фактической относительной влажности прокачиваемого воздуха за 8 ч работы установки не превышает $\pm 1\%$.

Длительность эксперимента по определению равновесной сорбционной влажности бетонов эксикаторным методом составляет не менее 3–4 мес. Из изложенного следует, что длительность эксперимента по определению равновесной сорбционной влажности бетонов ускоренным методом в 300–400 раз меньше, чем длительность эксперимента по определению этого показателя эксикаторным методом.

На следующем этапе обработки метода ускоренного определения равновесной сорбционной влажности строительных материалов была экспериментально подтверждена возможность определения равновесной сорбционной влажности материалов при температуре, большей или меньшей +20°С, а именно при +10 и +30°С. В качестве испытываемого материала был взят газобетон с плотностью 700 кг/м³.

Эксперименты показали, что время, необходимое для того, чтобы образец материала достиг равновесного влажностного состояния с прокачиваемым воздухом при температурах +10 и +30°С, также составляет 6–8 ч. Результаты экспериментов, подтверждающих возможность определения равновесной сорбционной влажности материалов методом ускоренного определения при температуре +10 и +30 °С, представлены в табл. 2.

При проведении экспериментов, результаты которых представлены в табл. 2, температура воздуха в бюксе поддерживалась равной +10 и +30°С соответственно. Значения температуры воздуха, до которых было необходимо охлаждать воздух после барботирования для получения потока с различной относительной влажностью, приведены в табл. 1.

Отработка метода ускоренного определения равновесной сорбционной влажности при температуре +20°С была проведена:

- для легких бетонов на примере керамзитобетона плотностью 1100 кг/м³; керамзитоперлитобетона плотностью 850 кг/м³, шунгзитобетона плотностью 1200 и 1300 кг/м³;
- для ячеистых бетонов на примере газобетона плотностью 650 кг/м³ и пенобетона плотностью 700 кг/м³.

При проведении экспериментов образцы этих материалов помещались в бюксу в виде кусочков размерами 2–4 мм. Эксперименты подтвердили возможность получения равновесной сорбционной влажности всех вышеперечисленных материалов методом ускоренного определения. Для всех материалов время, необходимое для достижения образцом равновесного влажностного состояния с прокачиваемым воздухом, также составляет 6–8 ч, не зависит от относительной влажности прокачиваемого воздуха. Результаты этих экспериментов даны в табл. 3. Для сопоставления в табл. 3 представлены результаты определения равновесной сорбционной влажности этих материалов эксикаторным методом. Если считать эксикаторный метод эталонным, то относительная погрешность определения равновесной сорбционной влажности всех материалов методом ускоренного определения не превышает 10%. Такое различие может быть объяснено погрешностями, которые имеют место при определении относительной влажности воздуха при проведении экс-

периментов обоими методами, и различиями в поровой структуре образцов-близнецов, использованных при проведении экспериментов этими двумя методами.

Из вышеизложенного следует, что разработанный метод позволяет определить равновесную сорбционную влажность легких и ячеистых бетонов:

Список литературы

1. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 7–9.
2. Пастушков П.П., Павленко Н.В., Коркина Е.В. Использование расчетного определения эксплуатационной влажности теплоизоляционных материалов // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 4. С. 168–172.
3. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Чеботарев А.Г. Развитие методов нормирования теплозащиты энергоэффективных зданий // *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 19–21.
4. Гагарин В.Г., Пастушков П.П., Реутова Н.А. К вопросу о назначении расчетной влажности строительных материалов по изотерме сорбции // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 4. С. 152–155.
5. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Чеботарев А.Г., Матвеева О.И. Совершенствование теплотехнического проектирования зданий в климатических условиях Республики Саха (Якутия) // *Жилищное строительство*. 2015. № 7. С. 12–17.
6. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Определение расчетной влажности строительных материалов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 8. С. 28–33.
7. Patent USA № 3.555.912. *Incremental method for surface area and pore size determination*. Lowell S.B. Declared 19.01.1991.

- за 6–8 ч, т. е. в 300–400 раз быстрее, чем эксикационным методом;
- в диапазоне температуры +10–+30°C и относительной влажности воздуха 40–97%;
- с относительной погрешностью, не превышающей 10%.

References

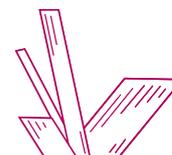
1. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Quantitative Assessment of Energy Efficiency of Energy Saving Measures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 7–9. (In Russian).
2. Pastushkov P.P., Pavlenko N.V., Korkina E.V. Using the calculated determination of the operational humidity of thermal insulation materials. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015. No. 4, pp. 168–172. (In Russian).
3. Umnyakova N.P., Butovsky 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. 19-21. (In Russian).
4. Gagarin V.G., Pastushkov P.P., Reutova N.A. On the question of the appointment of the estimated moisture content of building materials for sorption isotherm. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015. No. 4, pp. 152–155. (In Russian).
5. Umnyakova N.P., Butovsky I.N., Chebotarev A.G., Matveeva O.I. Improvement of Thermotechnical Design of Buildings Under Climatic Conditions of the Sakha Republic (Yakutia). *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No 7, pp. 12–17. (In Russian).
6. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Determination of the estimated moisture content of building materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 8, pp. 28–33. (In Russian).
7. Patent USA № 3.555.912. *Incremental method for surface area and pore size determination*. Lowell S.B. Declared 19.01.1991.

Институт строительных материалов им. Ф.А. Фингера (FIB)
Университета Bauhaus-Universität г. Веймар (Германия)



организует III Веймарскую гипсовую конференцию

Гипс в строительстве, и не только



Гипсовая конференция проводится в Веймаре в третий раз и за это время стала площадкой для широкого научного обмена идеями в области вяжущих на основе сульфата кальция и их применения учеными и инженерами стран востока и запада

г. Веймар (Германия)

14–15 марта 2017 г.

Основные темы конференции:

- Вяжущие вещества на основе сульфата кальция
- Вяжущие вещества, содержащие сульфат кальция
- Гидратация и переработка
- Добавки и их эффект
- Стройматериалы и изделия на основе сульфата кальция
- Другие виды применения сульфата кальция
- Сульфаты кальция и сохранение исторического наследия
- Изделия на основе сульфата кальция и их безотказное длительное использование

В рамках конференции будет проходить специализированная выставка.

Заявки компаний на участие в выставке принимаются до 14 октября 2016 г.

Заявки на участие в конференции с докладами принимаются до 25 октября 2016 г.

Планируется синхронный перевод: немецкий, английский, русский.

ibausil@uni-weimar.de ibausil@uni-weimar.de ibausil@uni-weimar.de

УДК 699.86:691.327.33

Т.А. КОРНИЛОВ, д-р техн. наук, И.Р. КЫЧКИН, инженер

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова (677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58)

Наружные ограждающие конструкции с применением автоклавного пенобетона для каркасно-монолитных зданий Якутска

С учетом климатических особенностей Крайнего Севера и на основе опыта строительства разработаны конструктивные решения стен из пенобетонных блоков автоклавного твердения для каркасно-монолитных зданий. В торцах железобетонных перекрытий в качестве дополнительной теплозащиты предложены термовкладыши из минераловатных плит. Дан анализ полученных температурных полей для стеновых конструкций с разной толщиной термовкладышей. Приведены результаты тепловизионного обследования многоэтажного дома с наружными стенами из пенобетонных блоков в Якутске. Выполнено сравнение теоретических значений температуры на поверхности стены с фактическими данными. Рассмотрены дополнительные пути повышения теплозащитных свойств стеновых ограждений с применением пенобетонных блоков.

Ключевые слова: тепловая защита, автоклавный пенобетон, энергоэффективность, температурные поля, ограждающие конструкции, тепловизионная съемка.

T.A. KORNILOV, Doctor of Sciences (Engineering), I.R. KYCHKIN, Engineer
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University (58, Belinsky Street, Yakutsk, 677000, Russian Federation)

External Enclosing Structures with the Use of Autoclaved Concrete for Frame-Monolithic Buildings of Yakutsk

Structural concepts of walls made of foam concrete blocks of autoclaved hardening for frame-monolithic buildings have been developed with due regard for climatic features of the Far North and on the basis of construction experience. Heat-insulating inserts made of mineral wool are proposed to use in the ends of reinforced concrete floors as additional heat protection. The analysis of temperature fields obtained for wall structures with different thickness of heat-insulating inserts is made. Results of the thermal imaging inspection of a high-rise building with external walls made of foam concrete in Yakutsk are presented. The comparison of theoretical values of temperature on the wall surface with factual data is made. Additional ways of improving heat protection properties of wall enclosures with the use of foam concrete blocks are considered.

Keywords: heat protection, autoclaved foam concrete, energy efficiency, temperature fields, enclosing structures, thermal imaging survey.

Ежегодно в Якутске вводится в эксплуатацию около 200 тыс. м² жилых многоэтажных зданий с железобетонным каркасом. При этом в качестве стеновых ограждений традиционно используются бетонные блоки с наружной теплоизоляцией из минераловатных или пенополистирольных плит. Бетонные блоки являются теплопроводными включениями и снижают сопротивление теплопередаче наружного ограждения в угловом соединении «стена—цокольное перекрытие» [1]. В данной статье рассмотрена возможность применения пенобетонных блоков автоклавного твердения конструктивно-теплоизоляционного класса в наружных ограждениях многоэтажных зданий с монолитным железобетонным каркасом в условиях Крайнего Севера. В настоящее время малым инновационным предприятием СВФУ «Стройкомпозит» на основе разработанного технологического регламента организовано производство пенобетонных блоков автоклавного твердения с использованием местного сырья.

Известно, что автоклавный ячеистый бетон характеризуется отличными теплоизоляционными и звукоизоляционными показателями. При использовании блоков из ячеистого бетона появляется возможность уменьшения толщины наружного теплоизоляционного слоя или полного отказа от него. Стеновые ограждения этого типа обладают повышенной ремонтпригодностью, так как высокие теплозащитные свойства автоклавного пенобетона позволяют проводить монтаж теплоизоляционного слоя стенового ограждения в холодный период года. Кроме того, немаловажным фактором для холодных регионов является высокая теплоаккумулирующая способность стенового ограждения с применением бло-

ков из автоклавного пенобетона. Как показал опыт запуска тепла в 9-этажном жилом доме в Якутске, длительность предварительного обогрева здания с предлагаемыми ниже конструкциями стен с использованием блоков из автоклавного пенобетона составляет не более 12 ч при температуре наружного воздуха -30°C, тогда как для зданий с традиционными решениями стен этот процесс занимает 2 сут и более.

В России многими крупными производителями газобетонных блоков разработаны рекомендации по проектированию и возведению стен с использованием своей продукции [2–4]. В основном предлагаются конструктивные решения стен домов на фундаментах мелкого заложения с самонесущими или несущими стенами с применением ячеистого бетона в виде конструктивно-теплоизоляционного материала. Для многоэтажных зданий с железобетонным каркасом рекомендуется использовать автоклавный газобетон в виде теплоизолирующего слоя или предусмотреть перфорацию плиты газобетонными теплоизоляционными вкладышами D400.

В 2013 г. Национальной ассоциацией производителей автоклавного газобетона издан стандарт организации СТО НААГ 3.1–2013 «Конструкции с применением автоклавного газобетона в строительстве зданий и сооружений. Правила проектирования и строительства». Предложенные в этом стандарте конструктивные решения стен являются наиболее оптимизированным обобщением опыта строительства, накопленного в России и за рубежом в последние годы. Авторами [5, 6] рассмотрены различные варианты сопряжения наружных стен с монолитным междуэтажным перекрытием и балкон-

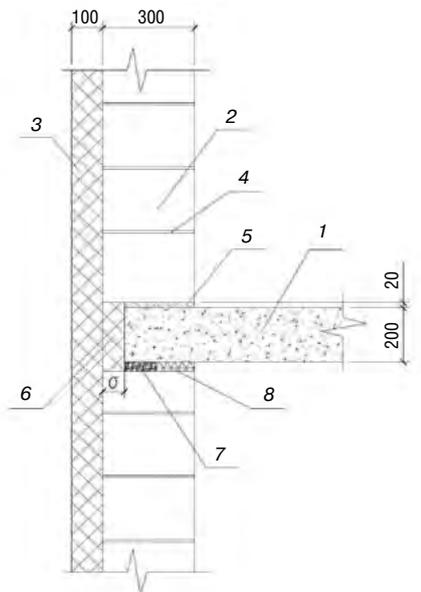


Рис. 1. Конструктивное решение наружной стены из автоклавного пенобетона: 1 – монолитная плита перекрытия ($\lambda=1,92$ Вт/(м·°C)); 2 – авто-клавные пенобетонные блоки D600 ($\lambda=0,16$ Вт/(м·°C)); 3 – минераловатные плиты марки П125 ($\lambda=0,042$ Вт/(м·°C)); 4 – клеевой раствор ($\lambda=0,7$ Вт/(м·°C)); 5 – цементно-песчаный раствор ($\lambda=0,76$ Вт/(м·°C)); 6 – теплоизоляционный вкладыш из минераловатной плиты П125 ($\lambda=0,042$ Вт/(м·°C)); 7 – пакля ($\lambda=0,06$ Вт/(м·°C)); 8 – пенополиуретан ($\lambda=0,036$ Вт/(м·°C))

ной плитой с целью повышения энергоэффективности зданий. Вместе с тем многие конструктивные решения стен и узлов зданий недостаточно учитывают высокие требования по тепловой защите зданий в сложных климатических условиях Крайнего Севера.

В многоэтажных зданиях с железобетонным каркасом мостики холода возникают на участках расположения монолитных перекрытий. Вопрос влияния теплотехнической неоднородности на теплозащитные свойства не раз поднимался разными авторами [7–9]. С учетом этой проблемы при выборе конструктивного решения стен рассматривались двухслойные конструкции: кладка из пенобетонных блоков автоклавного твердения толщиной 300 мм и наружная теплоизоляция из минераловатных плит плотностью 125 кг/м³ толщиной 100 мм с учетом нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче (рис. 1). При таком конструктивном решении минераловатные плиты создают не только теплоизоляционный слой, но и перекрывают торцы железобетонных плит. Для обеспечения прочности крепления кронштейнов вентилируемого фасада предлагается использовать пенобетонные блоки автоклавного твердения плотностью D600. При кладке используется специальный раствор (клей), который позволяет снизить толщину швов до 1–3 мм, тем самым повышая теплозащитные свойства стены.

Кладка выполняется с некоторым свесом на каждом этаже, что позволяет также заполнить создаваемое пространство теплоизоляционным вкладышем. Однако, как показывает опыт строительства каркасных зданий, здесь имеется проблема отклонения краев монолитных перекрытий по вертикали. Например, в результате геодезической съемки железобетонного каркаса 9-этажного жилого дома в Якутске установлено, что при выполнении монолитных работ отклонения плит между собой по вертикали составляют от 0 до 80 мм. С учетом этого рассмотрены различные варианты опирания кладки из блоков без свеса и со свесом до 80 мм с дополнительным

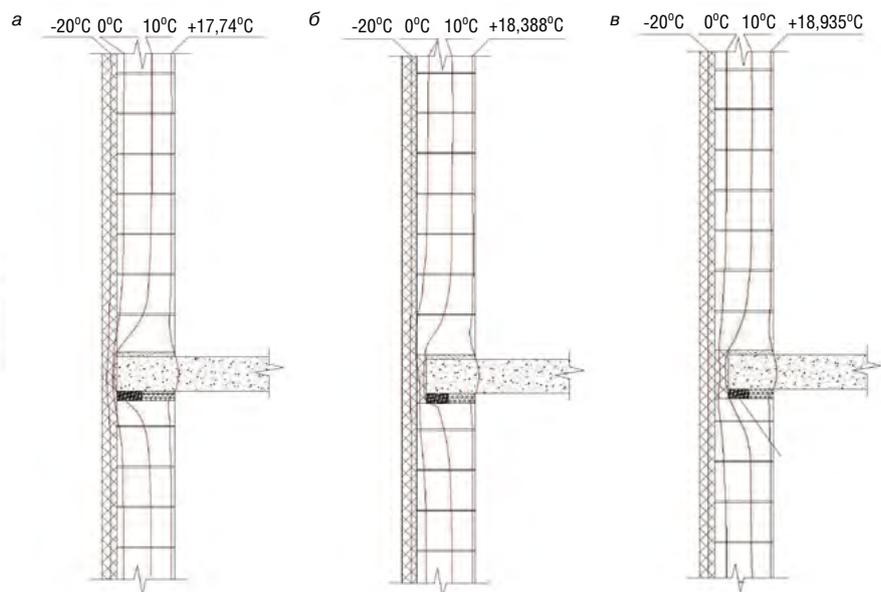


Рис. 2. Результаты расчета распределения температуры в стеновом ограждении при температуре наружного воздуха -52°C : а – без свеса кладки; б – со свесом кладки 40 мм и при наличии термовкладыша; в – со свесом кладки 80 мм и при наличии термовкладыша

теплоизоляционным вкладышем между торцом междуэтажного перекрытия и наружным теплоизоляционным слоем. Следует отметить, что наиболее трудоемким технологическим процессом является кладка верхнего ряда блоков, где между верхним краем кладки и междуэтажным перекрытием невозможно качественно уложить раствор. На этом участке предлагается горизонтальный зазор проконопатить льняной паклей и заполнить пенополиуретаном (рис. 1). Преимущества такого технологического решения в последующем подтверждены практикой.

Для определения теплотехнических параметров предлагаемой ограждающей конструкции с применением автоклавного пенобетона для каркасно-монолитных зданий использована сертифицированная программа SHADDAN 3D ST. Программа позволяет определять пространственные температурные поля конструкций любой сложной конфигурации, граничащие со средами с различными параметрами. Задача решается методом сеток с помощью разностной схемы второго порядка точности по пространственным переменным на неравномерной прямоугольной сетке [10]. Расчет температурных полей стеновых ограждений выполнен при расчетной температуре наружного воздуха $t_n = -52^{\circ}\text{C}$ для Якутска и внутреннего воздуха $t_b = +20^{\circ}\text{C}$. Для расчета рассмотрен фрагмент ограждающей конструкции в зоне расположения междуэтажного перекрытия высотой 3 м и шириной 1,5 м.

Результаты расчета показали, что в стеновой конструкции без свеса кладки линия с нулевой температурой вне участка перекрытия проходит внутри кладки из пенобетонных блоков на расстоянии примерно 100 мм от границы с теплоизоляционным слоем (рис. 2, а). Температурные линии на участке расположения железобетонного перекрытия резко преломляются и сдвигаются в наружную сторону, что связано с высокой теплопроводностью железобетонного перекрытия. Наименьшая температура на внутренней поверхности стены наблюдается в угловой зоне примыкания кладки и плиты перекрытия $t_{b \min} = +17,75^{\circ}\text{C}$, что выше температуры выпадения конденсата ($t_d = +11,6^{\circ}\text{C}$ при $\phi_{int} = 55\%$). Температура в угловых зонах с внутренней стороны сверху и снизу перекрытия примерно одинакова. Средняя температура на поверхности стенового ограждения составляет $t_b = +18,96^{\circ}\text{C}$, что выше нормируемого

значения температуры (рис. 2, а). Отдельным расчетом установлено, что тарельчатый дюбель для крепления теплоизоляционных плит из стеклопластика играет незначительную роль при формировании температурного поля стенового ограждения, а стальной кронштейн фасадной конструкции оказывает локальное влияние на распределение температуры.

Для исследования влияния плиты перекрытия на теплозащитные свойства стенового ограждения отдельно проведены расчеты температурного поля стены со свесом кладки наружу на 40 и 80 мм и соответственно с теплоизолирующим вкладышем из минераловатной плиты. При применении дополнительного теплоизолирующего вкладыша минимальная температура на внутренней поверхности немного повышается на 0,64 и 1,19°C соответственно при свесе кладки 40 и 80 мм. При наличии дополнительного теплоизолирующего вкладыша линия с нулевой температурой смещается вовнутрь по толщине плиты (рис. 2, б, в).

Согласно расчетам приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции с кладкой без свеса и с термовкладышами толщиной 40 и 80 мм составляет соответственно 4,1 4,27 и 4,38 м²·°C/Вт, что ниже нормируемого значения. Вместе с тем действующие нормы по теплозащите зданий позволяют снизить нормируемого значения приведенного сопротивления для стен при выполнении расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

Для примера выполнен расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление объекта «Жилой дом с общественными помещениями по ул. Сергеляхская, 2/4 в Якутске» (рис. 3). На данном объекте в качестве наружного ограждения применена предлагаемая стеновая конструкция с использованием пенобетонных блоков из автоклавного пенобетона D600, теплоизоляции толщиной 100 мм из минераловатных плит и вентилируемого фасада. Толщина термовкладышей по торцам железобетонных перекрытий каркаса здания в среднем составила 50 мм. Результаты расчета с учетом площадей стеновых ограждений, окон, дверей, цокольного перекрытия, покрытия и климатических условий для Якутска показали, что удельный расход тепловой энергии на отопление для рассматриваемого объекта составляет 64,82 кДж/(м²·°C·сут), что ниже требуемого расхода 96,2 кДж/(м²·°C·сут). Таким образом, нормируемое значение приведенного сопротивления стен с применением блоков из пенобетона автоклавного твердения можно принять $R_o^{норм}=5,1 \cdot 0,8=4,08$ м²·°C/Вт.

Для оценки теплозащитных свойств предлагаемых решений ограждающих конструкций проведены натурные обследования 9-этажного жилого дома с железобетонным каркасом, построенного по проекту авторов статьи (рис. 3). Результаты тепловизионной съемки показали, что в целом предлагаемые решения наружных ограждений отвечают требованиям норм по теплозащите зданий. На наиболее проблемных зонах – участках примыкания кладки из пенобетонных блоков к нижней стороне междуэтажного перекрытия утечки тепла не наблюдается. Анализ термограмм на нижних этажах, где инфильтрация воздуха гораздо выше, чем на верхних, показал, что предлагаемые технологические решения примыкания кладки к перекрытию обеспечивают воздухопроницаемость и соответственно теплозащитные свойства на данных участках ограждения отвечают нормам.

На рис. 4 приведены термограммы участков стеновых ограждений со свесом кладки 30, 50 и 80 мм. При этом тепловизионная съемка угловых участков примыкания стеновых ограждений проведена с нижней и верхней сторон междуэтажного перекрытия. Для сравнения



Рис. 3. Монолитно-каркасный жилой дом с применением пенобетонных блоков автоклавного твердения в Якутске

с действительной картиной выполнены температурные расчеты при температуре наружного воздуха $t_{н}=-30^{\circ}\text{C}$ в день проведения обследования и при различной температуре внутреннего воздуха $t_{в}$ на разных отметках здания. В таблице приведено сравнение теоретических и фактических значений температуры по гряди стен (линии 1 и 4) и угловой зоне (линии 2 и 3). Расхождение теоретических и фактических значений температуры на поверхности стены составляет от +0,12 до +2,8°C, в угловой зоне – от -1,93 до +1,93°C. Следует отметить, что с учетом фактического нестационарного процесса и влияния имеющихся отопительных приборов в целом расхождение значений температуры находится в допустимых пределах.

Теплозащитные свойства предлагаемого стенового ограждения можно повысить путем перфорации железобетонного перекрытия с термовкладышами из пенополистирола, как это принято делать проектировщиками в местах расположения балконов зданий [5, 6]. Такой конструктивный подход несколько улучшает температурный режим на этом участке стенового ограждения. Однако, как показывает опыт строительства каркасных зданий, при этом значительно повышается трудоемкость монолитных работ на строительной площадке и соответственно увеличивается время возведения каркаса, что нежелательно в условиях короткого строительного сезона в северных районах.

С учетом результатов натурных обследований и первого опыта строительства каркасного здания с применением блоков из автоклавного пенобетона предлагается кладку верхнего ряда блоков выполнять заподлицо с торцом железобетонного перекрытия (рис. 5, а). В этом случае теплоизоляционный вкладыш будет надежно перекрывать стык верхнего ряда кладки с железобетонным перекрытием. Минимальная температура в угловой

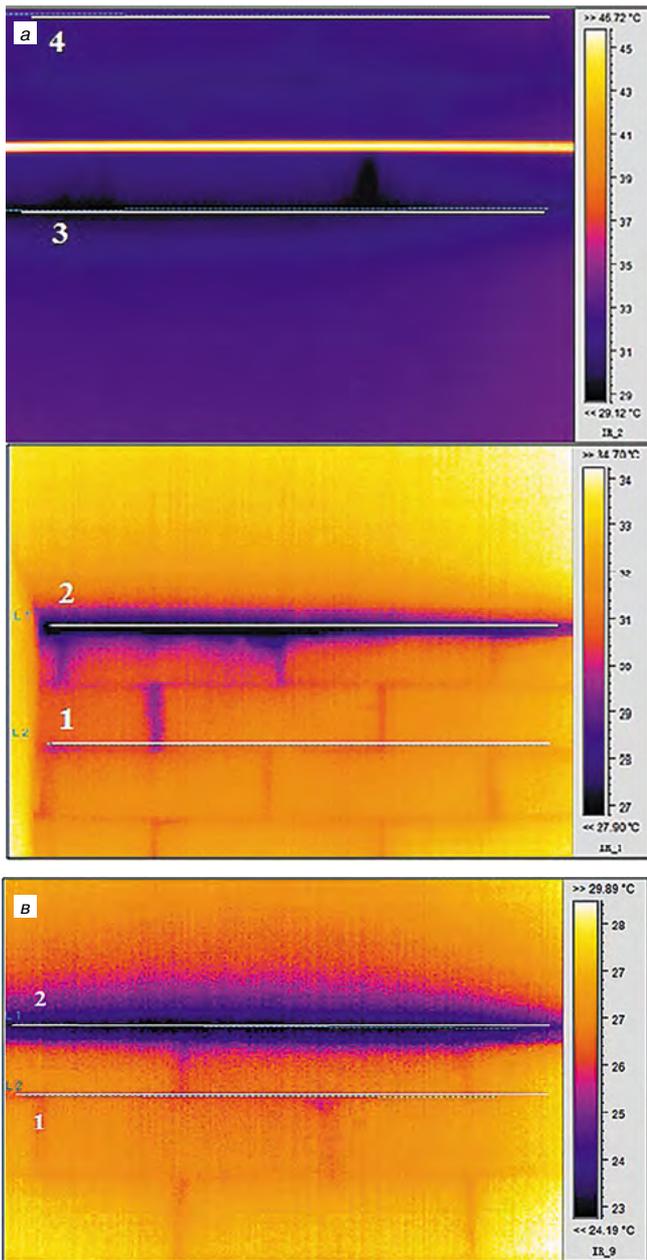


Рис. 4. Термограммы участков стенового ограждения с верхней и нижней отметки междуэтажного перекрытия при температуре наружного воздуха -30°C : а – со свесом 30 мм; б – со свесом 50 мм; в – со свесом 80 мм

Сравнение теоретических и фактических значений температуры

$t_{в}, ^{\circ}\text{C}$	Величина свеса кладки, мм	Среднее значение температуры по линиям, $^{\circ}\text{C}$				
		1	2	3	4	
+30,5	30	$t_{теор}$	+29,14	+27,78	+28,32	–
		$t_{факт}$	+31,9	+28,08	+29,15	–
+28,5	50	$t_{теор}$	+27,2	+26,06	+26,53	+27,2
		$t_{факт}$	+29,15	+24,12	+24,96	+28,2
+28	80	$t_{теор}$	+27,2	+25,83	–	–
		$t_{факт}$	+27,32	+24,08	–	–

Примечание. 1 и 4 – линии по глади стены; 2 и 3 – линии по углу участка.

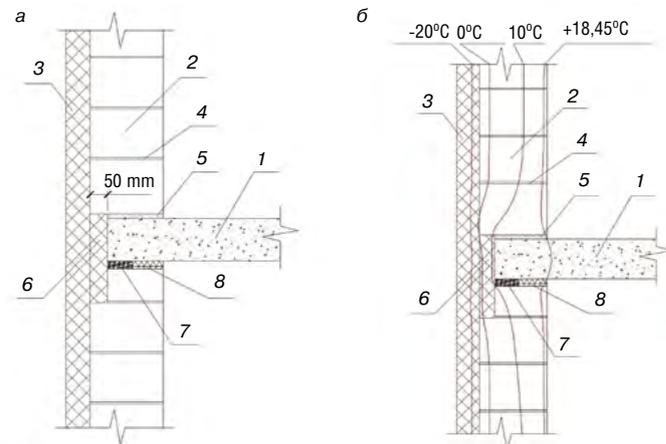
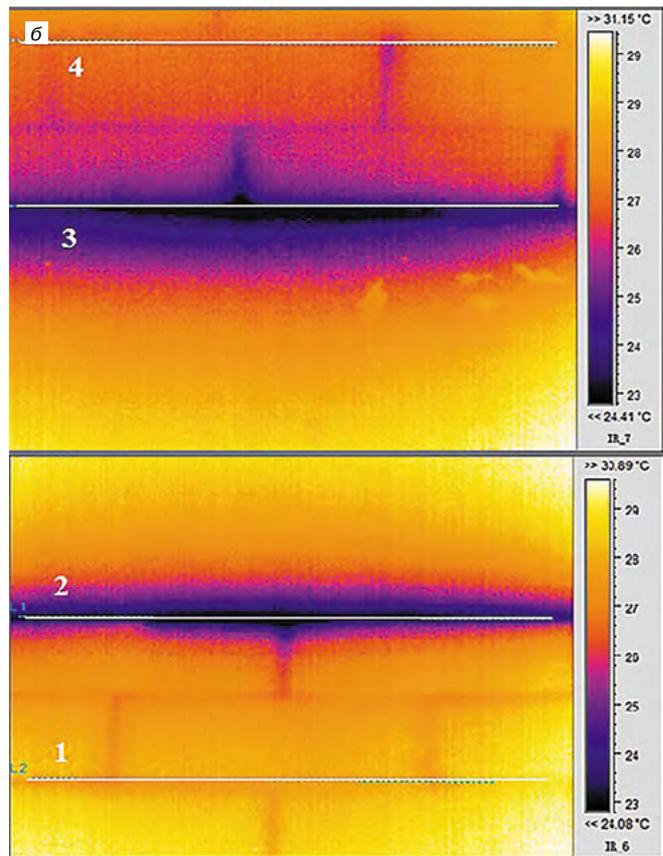


Рис. 5. Конструктивное решение стенового ограждения с исполнением верхнего ряда блоков заподлицо с торцом железобетонного перекрытия: а – конструктивное решение; б – температурное поле; 1 – монолитная плита перекрытия ($\lambda=1,92 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$); 2 – автоклавные пенобетонные блоки D600 ($\lambda=0,16 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$); 3 – минераловатные плиты марки П125 ($\lambda=0,042 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$); 4 – клеевой раствор ($\lambda=0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$); 5 – цементно-песчаный раствор ($\lambda=0,76 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$); 6 – теплоизоляционный вкладыш из минераловатной плиты П125 ($\lambda=0,042 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$); 7 – пакля ($\lambda=0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$); 8 – пенополиуретан ($\lambda=0,036 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$)

зоне при расчетной температуре наружного воздуха для Якутска составляет $18,45^{\circ}\text{C}$, приведенное сопротивление $4,32 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ (рис. 5, б).

Таким образом, предлагаемые решения стеновых наружных ограждений многоэтажных зданий с монолитным железобетонным каркасом в целом отвечают требованиям теплозащиты зданий в условиях Крайнего Севера. В дальнейшем планируется проведение длительного мониторинга многоэтажных каркасных зданий с применением пенобетонных блоков в Якутске и совершенствование отдельных элементов и узлов рассматриваемых типов зданий с целью повышения их энергетической эффективности.

Список литературы

1. Данилов Н.Д., Собакин А.А., Федотов П.А. Оптимальное утепление стыка стен каркасно-монолитных зданий с проветриваемыми подпольями // *Жилищное строительство*. 2016. № 1–2. С. 28–31.
2. АТР БГБ 4.1–2015. Альбом узлов и технических решений для применения в проектах жилых и общественных зданий этажностью более 3 этажей в районах с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов. Иркутск: Байкальский газобетон. 2015. 180 с.
3. Альбом технических решений для строительства жилых и общественных зданий с использованием газобетонных блоков автоклавного твердения Build Stone[®], выпускаемых ОАО «ГлавБашСтрой» в г. Уфе. Уфа: Институт «БашНИИСтрой». 2011. 182 с.
4. Альбом технических решений по применению изделий из автоклавного газобетона торговая марка «Н+Н» в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. Материалы для проектирования и рабочие чертежи узлов. СПб.: «Н+Н». 2014. 182 с.
5. Умнякова Н.П., Егорова Т.С., Черкас В.Е., Белогуров П.Б., Андрейцева К.С. Повышение энергоэффективности зданий за счет повышения теплотехнической однородности наружных стен в зоне сопряжения с балконными плитами // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 17–19.
6. Умнякова Н.П., Егорова Т.С., Андрейцева К.С., Смирнов В.А., Лобанов В.А. Новое конструктивное решение сопряженных наружных стен с монолитными междуэтажными перекрытиями и балконными плитами // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 28–31.
7. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 14–16.
8. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ватин Н.И. О теплотехнической неоднородности двухслойной стеновой конструкции // *Энергосбережение*. 2014. № 7. С. 58–63.
9. Кузнецов А.В., Утепление узлов сопряжения стен с диском перекрытия в монолитных домах. // *Жилищное строительство*. 2013. № 8. С. 32–35.
10. Данилов Н.Д., Собакин А.А., Слободчиков Е.Г., Федотов П.А., Прокопьев В.В. Анализ формирования температурного поля наружной стены с фасадной железобетонной панелью // *Жилищное строительство*. 2013. № 11. С. 46–49.

References

1. Danilov N.D., Sobakin A.A., Fedotov P.A. Optimal insulation of wall junction of frame-monolithic buildings with ventilated cellars. // *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2016. No. 1–2, pp. 28–31. (In Russian).
2. АТР БГБ 4.1–2015. Al'bom uzlov i tekhnicheskikh reshenii dlya primeneniya v proektakh zhilykh i obshchestvennykh zdaniy etazhnost'yu bolee 3 etazhei v raionakh s seismichnost'yu 7, 8 i 9 ballov [Album components and technical solutions for use in projects of residential and public buildings building over 3 floors in areas with seismicity of 7, 8 and 9 points]. Irkutsk: Baikalskiy gazobeton. 2015. 180 p.
3. Album of technical solutions for the construction of residential and public buildings with concrete autoclaved blocks Build Stone[®], produced by JSC «GlavBashStroy» in Ufa. Ufa: Institute «BashNIISTroy». 2011. 182 p.
4. Album of technical solutions for the use of products made of autoclaved aerated concrete trademark “Н+Н” in the

- construction of residential, public and industrial buildings. Materials for the design and working drawings of units (second edition, revised and enlarged). Sankt-Peterburg: «Н+Н». 2014. 182 p.
5. Umnyakova N.P., Egorova T.S., Cherkas V.E., Belogurov P.B., Andreytseva K.S. Rise of energy efficiency level in buildings by increasing the heat engineering uniformity of external walls in pairing area with balcony slabs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 6, pp. 17–19. (In Russian).
6. Umnyakova N.P., Egorova T.S., Andreytseva K.S., Smirnov V.A., Lobanov V.A., The new design solution coupled with monolithic external walls of intermediate floors and balcony slabs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 28–31. (In Russian).
7. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. Account of thermal non-uniformities during estimation of thermal performance of building enclosures in Russia and European countries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
8. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I. About thermotechnical heterogeneity of the two-layer wall construction. *Energoberezhnie*. 2014. No. 7, pp. 58–63. (In Russian).
9. Kuznetsov A.V. Thermal insulation for interface with the disk walls overlap in monolithic homes. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2013. No. 8, pp. 32–35. (In Russian).
10. Danilov N.D., Sobakin A.A., Slobodchikov E.G., Fedotov P.A., Prokop'ev V.V. Analysis of the formation of the temperature field of the outer wall with reinforced concrete faade panel. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2013. No. 11, pp. 46–49. (In Russian).

На завод
ООО «Камастройиндустрия»
в г. Набережные Челны
требуется

ГЛАВНЫЙ ТЕХНОЛОГ

Мы рассматриваем кандидатов с:

- высшим технологическим химическим образованием;
- опытом работы главным технологом на производстве кирпича, керамогранита, санфаянса не менее трех лет.

Условия трудоустройства:

- трудоустройство по ТК РФ;
- заработная плата обсуждается с успешным кандидатом на интервью.

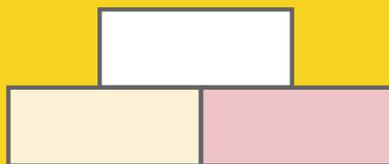
Звоните или присылайте свое резюме:

Тел.: (843) 205-60-02
Jbasharova@abdev.ru

Организатор конференции –
журнал

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**

СИЛИКАТЭКС



X Международная конференция «Развитие производства силикатного кирпича»

19–20 октября 2016

г. Липецк, отель «Меркюр Липецк центр»



В программе конференции:

- пленарное заседание
- посещение ОАО «Липецкий силикатный завод»



Генеральный спонсор:

LASCO UMFORMTECHNIK
WERKZEUGMASCHINENFABRIK



Спонсоры конференции:



Оргкомитет:

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

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

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

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

УДК 629.4.042

В.С. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук (science-isa@yandex.ru),
Т.А. РОЗОВСКАЯ, канд. техн. наук (tamara.roz@yandex.ru),
А.Ю. ГУБСКИЙ, инженер (levian21@bk.ru)

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

Перспективы применения вторичных полиэфирных волокон для производства тепло- и звукоизоляционных материалов

Рассмотрены перспективы применения продукта переработки изношенных автомобильных шин – вторичных полиэфирных волокон текстильного корда – в качестве сырья для получения эффективных тепло- и звукоизоляционных материалов. Изготовлены образцы и определены основные свойства теплоизоляционных материалов на основе вторичных полиэфирных волокон с различной средней плотностью – 50; 75 и 100 кг/м³, установлены зависимости влияния расхода связующего на основные свойства материала. Приведены результаты исследования звукоизолирующей способности разработанных материалов. Проанализирована экономическая целесообразность применения вторичных полиэфирных волокон для производства тепло- и звукоизоляционных материалов. Получены полужесткие тепло- и звукоизоляционные материалы со средней плотностью 50–100 кг/м³, коэффициентом теплопроводности 0,041–0,048 Вт/(м·°С), водопоглощением по массе 24–39%, нормальным коэффициентом звукопоглощения в диапазоне 500–4000 Гц – 0,2–0,97 при прогнозируемой себестоимости материала в 3–5 раз ниже стоимости традиционных теплоизоляционных материалов.

Ключевые слова: теплоизоляционный материал, звукоизоляционный материал, текстильный корд, полиэфирное волокно, вторичное сырье.

V.S. SEMENOV, Candidate of Sciences (Engineering) (science-isa@yandex.ru),
T.A. ROZOVSKAYA, Candidate of Sciences (Engineering) (tamara.roz@yandex.ru),
A.Yu. GUBSKIY, Engineer (levian21@bk.ru)
National Research Moscow State University of Civil Engineering
(26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Prospects of Using Recycled Polyester Fibers for Manufacturing Heat- and Sound Insulation Materials

The article considers the prospects of the use of recycled polyester fibers (textile tire cord fibers from waste automobile tires) as a raw material for the production of effective thermal and acoustic insulation materials. The research works have been carried out in accordance with standard test methods. The basic properties of insulation materials with recycled polyester fibers (with average density values of 50 kg/m³, 75 kg/m³ and 100 kg/m³) have been studied; the influence of the binder amount on the basic properties of the materials has been studied as well. The results of study of the sound-insulating ability of the developed materials are given. The economic expediency of the use of recycled polyester fibers for the production of thermal and acoustic insulation materials has been analyzed. The semi-rigid thermal and acoustic insulation materials with the average density of 50–100 kg/m³, the thermal conductivity coefficient of 0.041–0.048 W/(m·°C), the water absorption (by mass) of 24–39%, the normal sound absorption coefficient of 0.2–0.97 (within the range of 500–4000 Hz) were obtained, and the predicted material cost is by 3–5 times less than the cost of traditional insulating materials.

Keywords: thermal insulation material, acoustic insulation material, textile tire cord fibers, polyester fibers, recycled raw materials.

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности зданий и сооружений – одно из основных направлений развития строительной науки. Этим фактом обусловлен широкий выбор теплоизоляционных материалов на строительном рынке, который в настоящее время представлен в основном изделиями из минерального волокна, ячеистыми пластмассами, пеностеклом, материалами на основе древесного сырья, ячеистыми бетонами.

Перечисленные материалы имеют как преимущества, так и недостатки. Теплоизоляция должна быть в первую очередь безопасной, негорючей, иметь заданную эксплуатационную стойкость в конструкции [1]. Этим требованиям вполне соответствуют изделия на основе минерального волокна, обладающие рядом положительных свойств – низкой средней плотностью и теплопроводностью, химической стойкостью, сохраняемостью геометрических размеров в течение всего срока эксплуатации (для жестких плит). В то же время минераловатные изделия имеют высокую гигроскопичность и содержат токсичные вещества – терморезактивное связующее. К недостаткам минеральной ваты также можно отнести достаточно высокую стоимость. Доля ячеистых пластмасс на российском рынке составляет 18–22% [2]. К ним относятся пенополистирол, пенополиэтилен, пенополипропилен, пенополиуретаны. К достоинствам этих материалов можно отнести низкую среднюю плотность и теплопроводность, эксплуатаци-

онную стойкость, а к недостаткам – горючесть, высокое дымообразование и токсичность при горении, ограниченный диапазон рабочей температуры [2]. Ячеистые бетоны, имеющие среднюю плотность не ниже 250–300 кг/м³, менее эффективны по сравнению с минераловатными изделиями и ячеистыми пластмассами. Теплоизоляционные материалы на основе растительного сырья отличаются высокими водопоглощением и гигроскопичностью, горючестью Г2–Г3. Наиболее оптимальным по теплофизическим и эксплуатационным свойствам, а также наиболее экологичным теплоизоляционным материалом может считаться пеностекло, обладающее, однако, высокой стоимостью [3, 4].

Таблица 1

Показатель	Стекловата	Каменная вата	ПЭ волокна
Средний диаметр волокна, мкм	4–12	4–12	10–20
Средняя длина волокна, мм	15–40	16	5–15
Насыпная плотность, кг/м ³	15–65	20–80	40–100
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,035–0,05	0,038–0,047	0,038–0,048

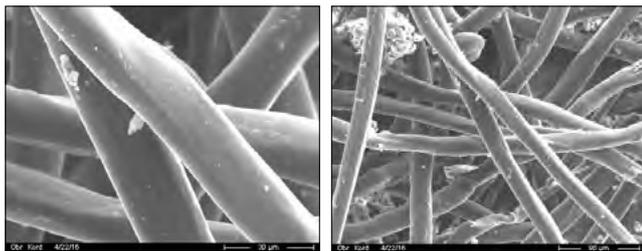


Рис. 1. Микрофотографии полиэфирных волокон



Рис. 2. Теплоизоляция на основе вторичных полиэфирных волокон: а – внешний вид вторичных ПЭ волокон; б – образец теплоизоляционного материала на их основе; в, г – определение физико-механических характеристик образцов

В последнее время на рынке появляются и новые теплоизоляционные материалы, к которым относятся, например, материалы на основе полиэфирных волокон [5], поставляемые в виде плит или рулонов. Они изготавливаются из спиралевидного пустотелого волокна, обладающего повышенной упругостью и состоящего из 100% полиэстера. Сырьем для производства полиэфирных утеплителей служит полиэтилентерефталат (ПЭТ). Данный вид утеплителя характеризуется низкой средней плотностью (10–30 кг/м³), низким коэффициентом теплопроводности (0,033 Вт/(м·°C)), хорошими звуко-изоляционными свойствами, химической стойкостью, устойчивостью к биовредителям, отсутствием эмиссии микроволокон и токсичных веществ в процес-

се эксплуатации, прогнозируемой долговечностью до 50 лет (Полиэфирный утеплитель. URL: http://www.favoright.ru/catalog/teploizolyacionnye_mater/poliefirnyj_uteplitel/). Снижение пожарной опасности утеплителей на основе полиэфирных волокон обеспечивается обработкой антипиренами. Такой теплоизоляционный материал пользуется спросом, представлен на российском рынке одной-двумя торговыми марками, имеет стоимость порядка 3 тыс. р./м³.

Между тем существует достаточно обширная сырьевая база производства таких материалов, представленная вторичным полиэфирным волокном, полученным при утилизации автомобильных шин. Есть различные системы утилизации шин, однако средний мировой уровень их переработки не превышает 20–25% [6]. В РФ ежегодно образуется порядка 850 тыс. т изношенных шин, при этом только 17% от этого объема перерабатывается, а 20% сжигается [7, 8]. Наиболее перспективным и экологичным способом утилизации является механическая переработка шин, в результате которой получают резиновую крошку, металлический и текстильный корд.

Резиновая крошка находит широкое применение в различных отраслях промышленности [9, 10], в том числе для изготовления кровельных материалов, материала для покрытия спортивных и детских площадок, в качестве добавки при изготовлении новых шин и др. Металлический корд может быть переработан или использован в качестве фибры для бетонов. Текстильный корд в данный момент не находит применения в промышленности, спрос на этот отход практически отсутствует.

Таким образом, перспективным представляется применение для производства теплоизоляционных материалов вторичных полиэфирных волокон – отходов, свойства которых в сравнении со свойствами традиционно применяемых минеральных волокон представлены в табл. 1. Микрофотографии полиэфирных волокон показаны на рис. 1, внешний вид волокна в рыхлом состоянии – на рис. 2, а.

Целью исследований явилось установление возможности получения эффективных тепло- и звукоизоляционных материалов на основе вторичных полиэфирных волокон.

Для изготовления образцов теплоизоляционного материала из вторичных полиэфирных волокон в качестве связующего применялась водная эмульсия клея ПВА. Волокна перемешивались вместе со связующим и послонью укладывались в форму. В зависимости от усилия прессования были получены образцы с различной средней плотностью – 50; 75 и 100 кг/м³. Для определения влияния расхода связующего на свойства материала испытаны образцы с различным содержанием связующего – 40; 70 и 100% от массы волокон. Для повышения эксплуатационных свойств и снижения пожарной опасности образцы обрабатывались антипиреном – водным раствором тетрабората натрия и

Таблица 2

Средняя плотность, кг/м ³	50			75			100		
	40	70	100	40	70	100	40	70	100
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C), в сухом состоянии	0,041			0,044			0,048		
Расход связующего, % от массы волокон	40	70	100	40	70	100	40	70	100
Прочность при сжатии при 10%-й линейной деформации, кПа	2,5	3	6	2,5	4	11	3	7	20
Предел прочности на растяжение, кПа	0,5	1	2	0,7	1,5	2,5	1	2,5	3
Сжимаемость, %	26	17	14	25	16	9	22	14	6
Водопоглощение по массе, %	39	37	35	32	28	25	26	24	24
Термостойкость при температуре 150°C	без изменения внешнего вида и структуры								

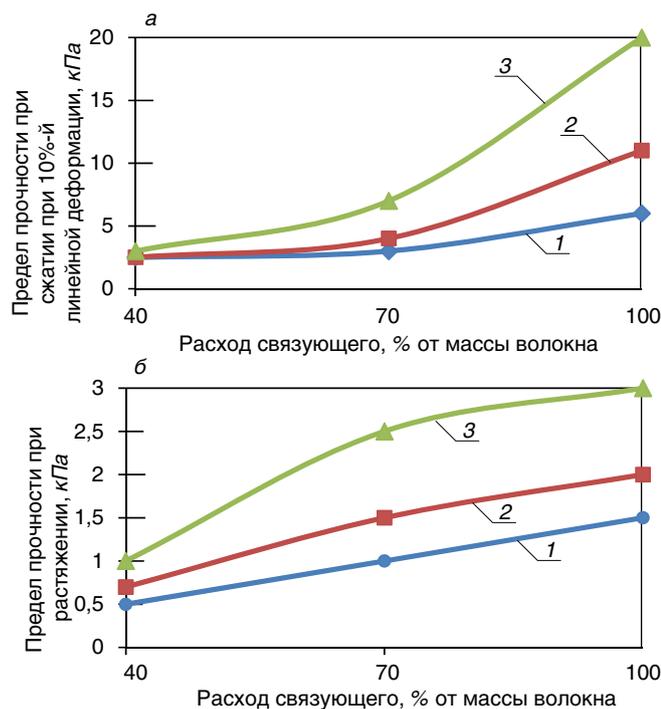


Рис. 3. Зависимости физико-механических характеристик теплоизоляционных материалов на основе вторичных ПЭ волокон от расхода связующего: а – предела прочности при сжатии; б – предела прочности при растяжении; 1 – средняя плотность 50 кг/м³; 2 – средняя плотность 75 кг/м³; 3 – средняя плотность 100 кг/м³

гидрофобизатором на основе кремнийорганических соединений. После изготовления образцы высушивались в течение 1,5 ч при температуре 110°C. Внешний вид полученного образца представлен на рис. 2, б. Далее определялись основные свойства полученных изделий в соответствии с требованиями ГОСТ 17177–94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний» – средняя плотность, коэффициент теплопроводности, прочность при сжатии и на растяжение, сжимаемость, водопоглощение по массе. Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Из табл. 2 видно, что расход связующего оказывает значительное влияние на физико-механические характеристики образцов и не влияет на их теплопроводность. При изменении расхода связующего от 40 до 100% от массы волокон предел прочности образцов при растяжении увеличивается в 2,5–6,5 раза, при сжатии – в 3–4 раза в зависимости от средней плотности материала (рис. 3), существенно снижается сжимаемость. По существующей классификации полученные теплоизоляционные материалы относятся к полужестким (сжимаемость от 6 до 30%).

Сравнивая полученные результаты с требованиями ГОСТ 9573–2012 «Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные. Технические условия», можно заключить, что свойства образцов со средней плотностью 50; 75 и 100 кг/м³ с содержанием связующего 100% от массы волокна соответствуют нормативным характеристикам минераловатных изделий.

Коэффициент теплопроводности полученных материалов находится в пределах 0,041–0,048 Вт/(м·°C), что соответствует аналогичной характеристике традиционных волокнистых теплоизоляционных материалов. Водопоглощение по массе составляет 24–39%. Нагрев материала до температуры 150°C не оказывает влияния на его структуру и внешний вид.

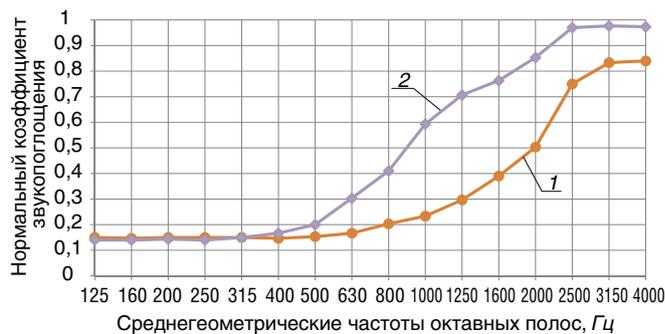


Рис. 4. Частотная характеристика нормального коэффициента звукопоглощения материала из вторичных полиэфирных волокон: 1 – среднее значение при плотности 50 кг/м³; 2 – среднее значение при плотности 100 кг/м³

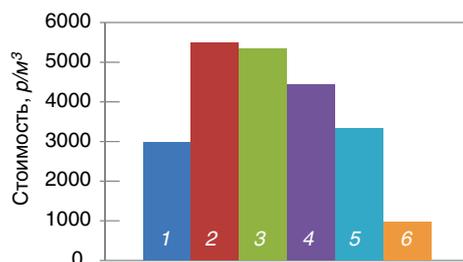


Рис. 5. Сравнение стоимости теплоизоляционных материалов: 1 – полиэстеровый утеплитель «Вауплит»; 2 – льняной утеплитель «ТермоЛЕН»; 3 – минеральная вата Isoroc Isorooft; 4 – минеральная вата Rockwool Флор Баттс; 5 – полиэфирный утеплитель Шелтер ЭкоСтрой Стандарт; 6 – разработанный утеплитель

Были проведены исследования звукоизолирующей способности материалов на основе вторичных полиэфирных волокон. Определение нормального коэффициента звукопоглощения проводилось на образцах толщиной 25 мм со средней плотностью 50 и 100 кг/м³ с расходом связующего 40% массы волокон. Измерения проводились в третьоктавных полосах частот в диапазоне 125–4000 Гц. Результаты испытаний приведены на рис. 4.

Нормальный коэффициент звукопоглощения для образца толщиной 25 мм со средней плотностью 100 кг/м³ в диапазоне 500–4000 Гц составляет 0,2–0,97, что соответствует акустическим параметрам минераловатных изделий.

Для определения эффективности применяемого антипирена образцы материала были подвергнуты воздействию открытого пламени. Испытание показало, что горючесть материала с антипирином заметно снизилась, самостоятельное горение продолжалось не более 1–2 с, после чего происходило самозатухание.

Была проанализирована экономическая целесообразность применения вторичных полиэфирных волокон для производства тепло- и звукоизоляционных материалов. С учетом не востребоваемости сырья (текстильного корда) и его низкой стоимости, необходимости технологических переделов по его очистке, сортировке, формованию, сушке и т. д. прогнозируемая себестоимость материала не превысит 1000 р./м³, что в 3–5 раз ниже стоимости традиционных теплоизоляционных материалов (рис. 5).

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о возможности применения вторичных ПЭ волокон для производства тепло- и звукоизоляционных материалов со средней плотностью 50 кг/м³ и выше. Основные эксплуатационные свойства полученных материалов удовлетворяют требованиям нормативных документов.



Список литературы

1. Румянцев Б.М., Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Смирнова Т.В. Технологические аспекты эксплуатационной стойкости минеральных волокон // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 1. С. 32–36.
2. Жуков А.Д., Орлова А.М. Методика оптимизации свойств пенополистирола // *Научное обозрение*. 2015. № 12. С. 159–162.
3. Минько Н.И., Пучка О.В., Евтушенко Е.И., Нарцев В.М., Сергеев С.В. Пеностекло – современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 6–4. С. 849–854.
4. Осипов А.Н. Энергоэффективный, пожаробезопасный теплоизоляционный материал – пеностекло // *Кровельные и изоляционные материалы*. 2013. № 2. С. 17–18.
5. Евменов С.Д., Силинина Е.Б. Получение волокнистых теплоизоляционных материалов как способ утилизации вышедшей из употребления тары из полиэтилентерефталата // *Вестник КузГТУ*. 2009. № 2. С. 186–189.
6. Перлина Ж.В., Марьев В.А., Шувалов Ю.А. Переработка использованных шин: международный опыт // *Твердые бытовые отходы*. 2012. № 12. С. 58–63.
7. Беседин С.А., Хабарова Е.И. Пути уменьшения отходов шинной промышленности // *Вестник МИТХТ. Серия: Социально-гуманитарные науки и экология*. 2015. № 2. Т. 2. С. 55–61.
8. Marijana Serdar, Ana Baričević, Stjepan Lakušić, Dubravka Bjegović Special purpose concrete products from waste tyre recycles // *Gradevinar*. 2013. No. 65, pp. 793–801.
9. Иванов К.С., Сурикова Т.Б. Утилизация изношенных автомобильных шин // *Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров: Материалы 65-й Международной науч.-техн. конф.* Т. 10. М. 2009. 66 с.
10. Benazzouk A., Douzane O., Langlet T., Mezreb K., Roucoult J., Queneudec M. Physico-mechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes // *Cement and Concrete Composites*. 2007. No. 29, pp. 732–740.

References

1. Rumyantsev B.M., Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Smirnova T.V. Technological aspects of operational durability of mineral fibers. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 1, pp. 32–36. (In Russian).
2. Zhukov A.D., Orlova A.M. Method of optimizing the properties of expanded polystyrene. *Nauchnoe obozrenie*. 2015. No. 12, pp. 159–162. (In Russian).
3. Minko N.I., Puchka O.V., Yevtushenko E.I., Narcev V.M., Sergeev S.V. Foamed glass is a modern and inorganic insulating material. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013. No. 6–4, pp. 849–854. (In Russian).
4. Osipov A.N. Foamed glass is an energy efficiency, fire protection, thermal insulation material. *Krovel'nye i izolyatsionnye materialy*. 2013. No. 2, pp. 17–18. (In Russian).
5. Evmenov S.D., Sielienina E.B. Obtaining of fibrous heat-insulated materials as the disposal method for the out-of-use package made of polyethyleneterephthalate. *Vestnik KuzGTU*. 2009. No. 2, pp. 186–189. (In Russian).
6. Perlina Zh.V., Mar'ev V.A., Shuvalov Yu.A. Recycling of used tires: international experience. *Tverdye bytovye otkhody*. 2012. No. 12, pp. 58–63. (In Russian).
7. Besedin S.A., Khabarova E.I. Ways of reducing waste from the tire industry. *Vestnik MITKhT. Seriya: Sotsial'no-gumanitarnye nauki i ekologiya*. 2015. No 2. Vol. 2, pp. 55–61. (In Russian).
8. Marijana Serdar, Ana Baričević, Stjepan Lakušić, Dubravka Bjegović Special purpose concrete products from waste tyre recycles. *Gradevinar*. 2013. No. 65, pp. 793–801.
9. Ivanov K.S., Surikova T.B. Recycling of used tires. Priorities for the development of national tractor machine engineering and training of engineering and scientific personnel: *Proceedings of the 65th International scientific and engineering conference. Book 10*. Moscow. 2009. 66 p. (In Russian).
10. Benazzouk A., Douzane O., Langlet T., Mezreb K., Roucoult J., Queneudec M. Physico-mechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes. *Cement and Concrete Composites*. 2007. No. 29, pp. 732–740.



**7–9
сентября
2016 г.**

**Республика Адыгея
г. Майкоп**

**Оргкомитет:
140050, Московская обл.,
п. Красково,
ул. К. Маркса, д. 117, РГА
Телефон:
+7 8-916-501-36-56
E-mail: rga-service@mail.ru
www.rosgips.ru**

Российская гипсовая ассоциация
Московский государственный строительный университет
Научно-исследовательский институт строительной физики

Восьмая Международная конференция
«Повышение эффективности производства
и применения гипсовых материалов и изделий»

Тематика конференции:

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

Генеральный информационный спонсор: журнал 

УДК 691.699.86

А.Д. ЖУКОВ¹, канд. техн. наук (lj211@yandex.ru); Е.Ю. БОБРОВА², канд. экон. наук;
И.В. БЕССОНОВ³, канд. техн. наук; И.Б. ЗЕЛЕНЩИКОВ¹, инженер

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

² Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (101000, г. Москва, ул. Мясницкая, 20)

³ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Москва, Локомотивный пр., 21)

Методология оценки свойств теплоизоляционных изделий

Формирование изоляционной оболочки здания опирается на применение эффективных изоляционных материалов и соответствующих им строительных систем. Профессиональное проектирование и корректный монтаж этих систем позволяет наравне с вопросами энергосбережения повышать уровень экологической безопасности конструкций и степень комфортности помещений. Немаловажным является также повышение долговечности строительных систем. Показано, что формирование эффективной изоляционной оболочки здания возможно только при учете особенностей работы теплоизоляционного слоя в конструкции и применении качественных материалов, сохраняющих свои характеристики как на ранних стадиях эксплуатации, так и на весь расчетный период. Первое достигается грамотным проектированием, второе – возможностью оценки свойств теплоизоляции и прогнозирования изменения этих свойств во времени непосредственно в условиях строительной площадки. Рассмотрена методология оценки свойств теплоизоляционных изделий, которая включает два основных компонента: установку для испытаний и соответствующую методику испытаний, а также методику оценки эксплуатационной стойкости. Методология проведения ускоренных испытаний и прогнозирования долговечности опробована для минераловатных изделий слоистой, гофрированной и объемно-ориентированной структуры. Результаты испытаний дают хорошую сходимость с методиками, рекомендованными строительными нормами.

Ключевые слова: энергосбережение, минераловатные изделия, долговечность, методология, строительная система.

A.D. ZHUKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (lj211@yandex.ru); E.Yu. BOBROVA², Candidate of Sciences (Economics);
I.V. BESSONOV³, Candidate of Sciences (Engineering); I.B. ZELENSHCHIKOV¹, Engineer

¹ Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoye Shosse, 129337, Moscow, Russian Federation)

² National Research University "Higher School of Economics" (20, Miasnitskaya Street, 101000, Moscow, Russian Federation)

³ Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivny Passage, 127238, Moscow, Russian Federation)

Methodology of Assessment of Heat Insulating Products Properties

The formation of the insulating shell of a building is based on the use of efficient insulating materials and construction systems, corresponding to them. Professional design and correct assembling of these systems make it possible, along with energy saving, to improve the level of ecological safety of structures and comfort degree of premises. Increase in the durability of construction systems is also important factor. It is shown that the formation of efficient insulating shell of a building is possible only with due regard for features of heat insulating layer operation in the structure and the use of qualitative materials which maintain their characteristics both at early stages of operation and during the whole calculated period. The first is achieved by skillful design, the second – by possibility to evaluate the heat insulation properties and predict the change in these properties in time under conditions of the construction site directly. The methodology of assessment of properties of heat insulating products, which includes two main components: a unit for testing and corresponding methods of testing, as well as methods for assessing the operational durability is considered. The methodology of conducting accelerated tests and predicting the durability is tested for mineral wool products of layered, corrugated, and volume-oriented structures. The test results give a good convergence with the methods recommended by building regulations.

Keywords: energy saving, mineral wool products, durability, methodology, construction system.

Долговечность строительной конструкции определяется группой факторов. Во-первых, это эксплуатационная стойкость каждого материала, входящего в строительную систему. Практика показывает, что наименьшей стойкостью обладает именно теплоизоляция. Для минераловолокнистой теплоизоляции это достаточно очевидно и связано с ее функциональным назначением – тепловой защитой в ущерб прочностным характеристикам [1]. Отметим, что некоторые наполненные пластмассы (пенополиизоцианурат, экструзионный модифицированный пенополистирол и др.) обладают относительно высокой эксплуатационной стойкостью, но у них иная проблема – горючесть.

Вторым элементом долговечности являются свойства строительной системы в целом. Здесь необходимо учитывать, во-первых, грамотность проектного решения; во-вторых, взаимную совместимость материалов, используемых в системе, и, в-третьих, корректность выполнения строительного-монтажных работ [2, 3]. Отметим, что особенностью любой строительной системы является полная определенность в выборе каждого материала. Замена на похожий, но другой не допускается. Принято считать, что подобные замены

сказываются на долговечности непосредственно на начальных этапах эксплуатации – показатели удовлетворяют нормативам, но со временем, особенно в жестких условиях эксплуатации, наступает деградация свойств.

Третьим элементом долговечности системы являются условия ее эксплуатации. В плоских и скатных кровлях, в системах штукатурных и вентилируемых фасадов, при изоляции фундаментов и подвалов теплоизоляционные слои испытывают разнохарактерные и иногда значительные нагрузки. Основные нагрузки приходится на защитные слои (кровельные покрытия, фасадные штукатурки, облицовки). Для теплоизоляции значимыми являются механические нормальные (сжимающие) или тангенциальные нагрузки (плоская кровля, фундаменты), опасность эрозии волокна теплоизоляционных плит низкой плотности (вентилируемые системы), опасность отрыва слоев теплоизоляционных плит (штукатурные фасады). Во всех случаях деградация свойств теплоизоляции может быть связана со значительными температурными перепадами (по толщине системы, суточными, годовыми); увлажнением теплоизоляционных слоев (атмосферной, грунтовой или конденсационной влагой); переходом кон-

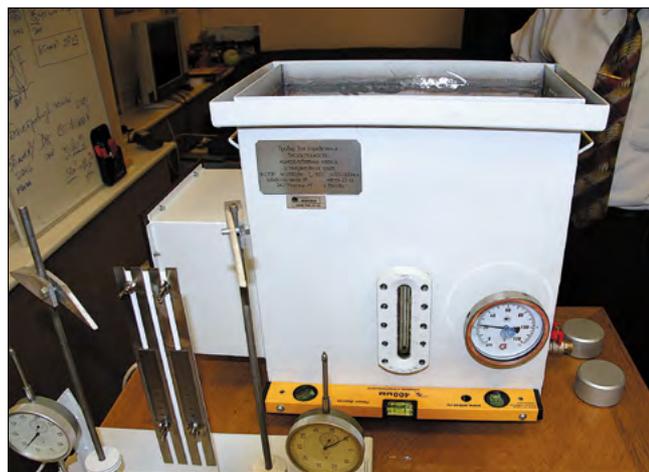
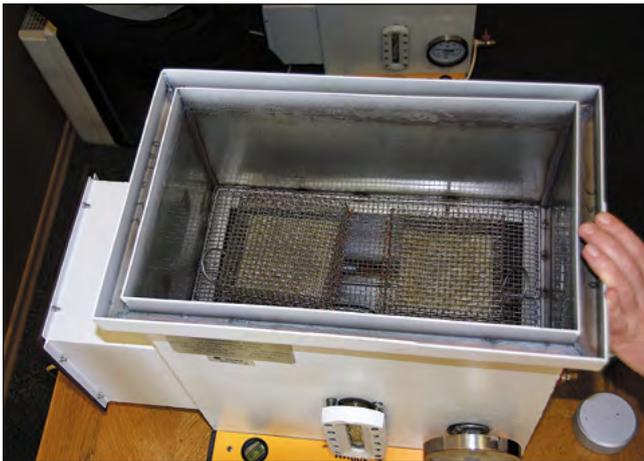


Рис. 1. Камера для определения влагостойкости МВИ жестких и повышенной жесткости

струкции через 0°C и связанным с этим циклическим замораживанием и оттаиванием.

Стратегическими целями применения теплоизоляции и формирования изоляционной оболочки здания являются снижение расходов энергии (на обогрев — в холодный период, на кондиционирование — в жаркий период и на поддержание требуемой температуры в технологических установках); снижение отрицательной нагрузки на окружающую среду (снижение вредных выбросов в атмосферу, неоправданного расходования природных ресурсов), а также создание комфортных условий в обитаемых помещениях [4, 5].

В зависимости от конструкции и условий функционирования в отечественной строительной практике применяют минераловолокнистые изделия (МВИ), изделия на основе полистирольного пенопласта (XPS или PPS), пенополиуретана (PU), пенополиизоцианурата (PIR), пеностекла. Наибольшие объемы приходятся на изделия из минеральной (каменной) ваты, что и объясняет особое внимание к исследованию эксплуатационной стойкости этой группы материалов.

Срок эффективной эксплуатации теплоизоляционных изделий — это расчетный эксплуатационный период, в течение которого изделия сохраняют свои теплоизоляционные свойства на уровне проектных показателей, указанный в условных годах эксплуатации (службы). Характеристика срока эффективной эксплуатации базируется на понятии ресурса материала (эксплуатационной стойкости) — показателя, характеризующего изменение теплофизических свойств материала в условиях эксплуатации, которые имитируются во время испытаний [6, 7].

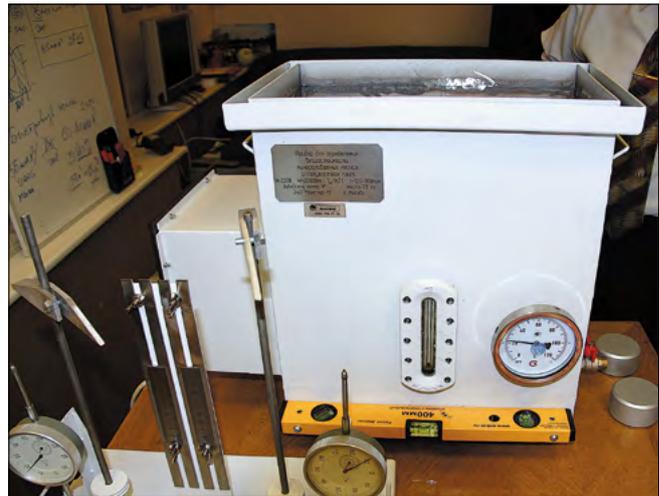


Рис. 2. Камера для определения влагостойкости МВИ мягких и полужестких

Минераловатная плита может увлажняться как с наружной, так и с внутренней стороны. Сочетание всех воздействий при длительной эксплуатации приводит к разрушению синтетического связующего, что негативно сказывается на прочностных показателях минеральной ваты. Поэтому для волокнистых материалов, применяемых в системах наружного утепления ограждающих конструкций, помимо теплотехнических показателей очень важна такая характеристика, как влагостойкость, т. е. способность материала сопротивляться разрушающему воздействию влаги, которая всегда присутствует в конструкциях и в воздухе. Согласно нормативам влагостойкость оценивают по степени снижения прочности (или увеличения сжимаемости) после выдерживания образцов, вырезанных из МВИ, в течение 3 сут в эксикаторе при температуре $(22 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ и влажности $(98 \pm 2)\%$.

Специалистами НИИСФ разработан метод ускоренной оценки влагостойкости минераловатных изделий. Образцы выдерживались в течение 1 ч в среде водяных паров. МВИ считались влагостойкими, если снижение прочностных характеристик не превышало 30 %.

Эта методика не учитывала влияния повышенной температуры (до 100°C) и влажности (до 100 %), при которых процесс поликонденсации терморезистивного связующего возобновлялся. Такие образцы в первые 40–45 мин испытаний над кипящей водой дополнительно отверждались, т. е. изменялись их фактические свойства. Одновременно с деструктивными процессами были отмечены признаки поликонденсации неотвержденной части связующего.

Методики использовались достаточно широко и позволили накопить информационный материал по оценке эксплуатационной стойкости МВИ в зависимости от изменения их влагостойкости в результате температурно-влажностных испытаний.

Установлено, что между значениями изменения прочностных характеристик образцов МВИ и временем их выдержки над кипящей водой с последующим хранением в эксикаторе при 20°C существует прямо пропорциональная зависимость. Снижение прочностных характеристик происходит с различными скоростями и зависит от плотности и структуры МВИ, вида связующего, степени и однородности его отверждения.

Развитием ранее существующих методик стала экспресс-методика ГАСИС (ВШЭ) — МГСУ, основанная на оценке влагостойкости МВИ по изменению их прочностных характеристик [8]. Методика основана,

во-первых, на изучении динамики изменения свойств МВИ во времени и, во-вторых, на использовании специальных камер конструкции ГАСИС–МАКСМИР.

В настоящее время изготавливаются два вида камер: для определения влагостойкости образцов плит жестких и повышенной жесткости (рис. 1), а также для определения влагостойкости мягких и полужестких плит (рис. 2). В первом случае в качестве контролируемого параметра принята прочность при сжатии при 10% деформации; во втором случае — сжимаемость МВИ.

Особенностью камеры на рис. 2 является возможность проведения в ней как определения сжимаемости по ГОСТ 17177–94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний», так и ее изменения после выдержки образцов над кипящей водой без извлечения образцов. Определяют сжимаемость образца под удельной стандартной нагрузкой, фиксируя при этом его толщину. Затем проводят испытание образцов МВИ в течение заданного времени и фиксируют окончательную толщину образца без его извлечения из камеры.

Испытания по экспресс-методике МГСУ–ВШЭ в камерах конструкции ГАСИС–МАКСМИР, незаме-

нимы при оценке свойств материалов в построечных условиях, и в частности, когда свойства поставленного на объект утеплителя вызывают сомнения. Получение объективной и оперативной информации о свойствах теплоизоляционного материала является необходимым фактором для определения его пригодности или непригодности, что уже является фактором, а также возможности его использования в данной системе с допустимыми отклонениями от проекта.

Комплекс требований, предъявляемых к минераловатным теплоизоляционным материалам, определяется прежде всего условиями их работы в той или иной системе [9]. Чтобы не ошибиться с выбором утеплителя, предназначенного для теплозащиты строительных конструкций, необходимо понимать, воздействию каких внешних факторов данный утеплитель будет подвергаться в процессе эксплуатации и как эти факторы будут влиять на теплоизоляционный материал. Внедрение экспресс-методов оценки свойств строительной теплоизоляции позволяет оперативно оценивать ее свойства, способствуя тем самым формированию энергоэффективной и долговечной изоляционной оболочки зданий.

Список литературы

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Математическая модель и инженерный метод расчета влажностного состояния ограждающих конструкций // *Academia. Архитектура и строительство*. 2006. № 2. С. 60–63.
2. Перфилов В.А., Пилипенко А.С., Пятаев Е.Р. Эксплуатационная стойкость минераловолокнистых изделий // *Вестник МГСУ*. 2016. № 3. С. 79–85.
3. Пономарев В.Б. Совершенствование технологии производства и повышения качества теплоизоляционных и композиционных материалов на основе стеклянного и минерального волокна // *Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Эффективные тепло- и звукоизоляционные материалы в современном строительстве и ЖКХ»*. М.: МГСУ. 2006. С. 109–118.
4. Zhukov A.D., Smirnova T.V., Zelenshchikov D.B., Khimich A.O. Thermal treatment of the mineral wool mat // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 838–841. Pp. 196–200.
5. Gnip I., Vaitkus S., Kersulis V., Vejelis S. Long-term prediction of creep strains of mineral wool slabs under constant compressive stress // *Mechanics of Time-Depend Materials*. 2012. Vol. 16. Iss. 1. Pp. 31–46.
6. Эйдукавичюс К.К. Увеличение прочности минераловатных изделий путем заданной ориентации их волокон // *Строительные материалы*. 1984. № 6. С. 6–8.
7. Орешкин Д.В., Семенов В.С. Современные материалы и системы в строительстве — перспективное направление обучения студентов строительных специальностей // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 92–94.
8. Бобров Ю.Л. Экспресс метод и лабораторно оборудоване за прещенка на качества на пореститематериали // *Тезисина доклада международната научно-практическа конференция «Прогресивни методи за качества контрол — проблеми и решатата при введриявнето им»*. София. 1985, pp. 43–44.
9. Пилипенко А.С., Перфилов В.А., Матьков К.В. Повышение эффективности технологии минераловатных плит // *Вестник МГСУ*. 2016. № 3. С. 86–92.

References

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V. The mathematical model and engineering method of calculating humidity condition walling. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2006. No. 2, pp. 60–63. (In Russian).
2. Perfilov V.A., Pilipenko A.S., Pyataev E.R. The operational stability of mineral fiber products. *Vestnik MGSU*. 2016. No. 3, pp. 79–85. (In Russian).
3. Ponomarev V.B. Improved production technology and improve the quality of insulation and composite materials based on glass fibers and minerals. *Proceedings of the International scientific-practical conference “Effective heat and sound insulating materials in modern construction and housing and communal services”*. Moscow: MGSU. 2006, pp. 109–118. (In Russian).
4. Zhukov A.D., Smirnova T.V., Zelenshchikov D.B., Khimich A.O. Thermal treatment of the mineral wool mat. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 838–841. Pp. 196–200.
5. Gnip I., Vaitkus S., Kersulis V., Vejelis S. Long-term prediction of creep strains of mineral wool slabs under constant compressive stress. *Mechanics of Time-Depend Materials*. 2012. Vol. 16. Iss. 1. Pp. 31–46.
6. Eydukyavichyus K.K. Increasing the strength of mineral wool products by a given orientation of the fibers. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 1984. No. 6, pp. 6–8. (In Russian).
7. Orechkin D.V., Semenov V.S. Modern Materials And Sitem In The Construction Are Perspective Direction Of Teaching Of Construction Specialties. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 92–94. (In Russian).
8. Bobrov Yu.L. Ekspresen metod i laboratorno oborudovane za pretsenka na kachestvata na porestitemateriali. *Tezisina doklada mezhdunarodnata nauchno-prakticheska konferentsiya «Progresivni metodi za kachestveniya kontrol — problemi i reshatata pri vnedryavyneto im»*. Sofiya. 1985, pp. 43–44. (In Bulgarian).
9. Pilipenko A.S., Perfilov V.A., Mat'kov K.V. Improving the efficiency of mineral wool technology. *Vestnik MGSU*. 2016. No. 3, pp. 86–92. (In Russian).

УДК 699.844

С.С. ВАЙСЕРА¹, инженер (vaisera_sergei@mail.ru), О.В. ПУЧКА¹, канд. техн. наук (oleg8a@mail.ru),
В.С. ЛЕСОВИК¹, д-р техн. наук; И.В. БЕССОНОВ², канд. техн. наук (bessonoviv@mail.ru);
С.В. СЕРГЕЕВ³, канд. техн. наук

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

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

³ ОАО «Дорожное эксплуатационное предприятие № 96» (308511, Белгородская обл., с. Стрелецкое, ул. Строительная, 17)

Эффективные акустические стеклокомпозиты*

Защита от шума – одного из основных неблагоприятных факторов среды обитания человека – стала неотъемлемой частью вопросов проектирования, строительства и реконструкции городов. Наиболее перспективным направлением решения данной задачи является применение высокоэффективных звукопоглощающих и звукоизоляционных материалов акустических стеклокомпозитов на основе пеностекла. Авторами разработан комплексный газообразователь, который способствует получению стеклокомпозитов с максимальным объемом полимодальной открытой пористостью (наличием различных по размерам открытых пор в пределах нижнего и верхнего пределов крупности) для создания оптимального акустического сопротивления. Сравнительный анализ свойств подтвердил конкурентоспособность разработанного материала по части обеспечения акустического комфорта в помещении, а за счет неорганического состава и долговременности свойств делает его наиболее предпочтительным при выборе акустических материалов.

Ключевые слова: пеностекло, газообразователь, звукоизоляция, звукопоглощение, пористость.

S.S. VAISERA¹, Engineer (vaisera_sergei@mail.ru), O.V. PUCHKA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (oleg8a@mail.ru) V.S. LESOVIK¹, Doctor of Sciences (Engineering); I.V. BESSONOV², Candidate of Sciences (Engineering) (bessonoviv@mail.ru); S.V. SERGEEV³, Candidate of Sciences (Engineering)

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

² Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences

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

³ "Dorozhnoe ekspluatatsionnoe predpriyatie № 96" JSC (17, Stroitel'naya Street, Belgorod Region, Streletskoye Village, 308511, Russian Federation)

Efficient Acoustic Glass Composites*

Protection against noise, one of the main unfavorable factors of the human environment, has become an integral part of issues concerning the design, construction and reconstruction of cities. The most promising direction of this problem solution is the use of highly efficient sound absorbing and sound insulating materials, acoustic glass composites on the basis of foam glass. The authors have developed a complex blowing agent which contributes to producing glass composites with the maximal фыцгге of polymodal open porosity (the presence of open pores of various sizes within the lower and upper limits of coarseness) for creation of the optimal acoustic resistance. Comparative analysis of properties confirmed the competitiveness of the developed material with respect to ensuring the acoustic comfort in the premises; its inorganic composition and sustainability of properties makes this material the most preferable when selecting acoustic materials.

Keywords: foam glass, blowing agent, sound insulation, noise absorption, porosity.

За последние годы разработаны новые технические решения многоэтажных зданий, в том числе объемно-блочные дома из тонкостенных железобетонных элементов, что позволило, с одной стороны, улучшить технико-экономические показатели зданий путем снижения их веса, материалоемкости, а с другой – существенно отразилось на звукоизоляционных свойствах ограждающих конструкций [1]. Наиболее перспективным направлением решения данной задачи является применение высокоэффективных звукопоглощающих и звукоизоляционных материалов. А при условии постоянного контакта используемых материалов с человеком последние должны обладать не только высокими эксплуатационными характеристиками, но и быть экологически чистыми (безвредными).

В настоящее время наиболее перспективными материалами являются композиты различного назначения, в которых стекло является матрицей, образующие сплошную порочаистую структуру. Одним из таких материалов является ячеистое стекло – пеностекло [2–7]. Достоинства пеностекла – низкая теплопроводность, сравнительно большая прочность по отношению к его плотности и полностью неорганический состав.

Все вышеперечисленные характеристики обусловлены равномерным распределением закрытых мелких пор в объеме материала. За счет этого теплоизоляционное пеностекло обладает высоким коэффициентом отраже-

ния звука β. Поэтому его можно использовать как для теплоизоляции, так и для изоляции от воздушного шума при наружной отделке ограждающей конструкции [8].

Таблица 1
Химический состав технического углерода

Химический состав	Значение, %
Углерод (С)	89–99
Водород (Н)	0,3–0,5
Кислород (О)	0,1–10
Сера (S)	0,1–1,1
Минеральные вещества	0,5

Таблица 2
Физико-технические свойства технического углерода

Физико-технические свойства	Значение
Плотность, кг/м ³	1800–2200
Насыпная плотность, кг/м ³	100–400
Размер частиц, мкм	9–320
Удельная поверхность, м ² /г	250–12
Термостойкость, °С	300
Маслоемкость, г/100 г	50–135

* Работа выполнена в рамках выполнения НИР молодежного научно-инновационного конкурса «У.М.Н.И.К.» № 922ГУ1/2013 по теме «Разработка технологии теплоизоляционного стеклокомпозита на основе пеностекла».

* The work has been done within the frame of execution of NIR of the Youth Scientific-Innovation Competition "U.M.N.I.K." № 922GU1/2013 on the theme "Development of Technology of Heat Insulation Glass Composite on the Basis of Foam Glass".

Таблица 3

Химический и гранулометрический состав колеманита

Колеманит	Содержание компонентов, мас. %										
	B ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	SO ₄	As	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SrO	Na ₂ O	ППП
Типовое содержание	40±0,5	27±1	4–6,5	0,6 max	0,0035 max	0,08 max	0,4 max	3 max	1,5 max	0,35 max	24,6 max
	Содержание фракции										
мкм	45–75						свыше 75				
%	87±5						20±5				

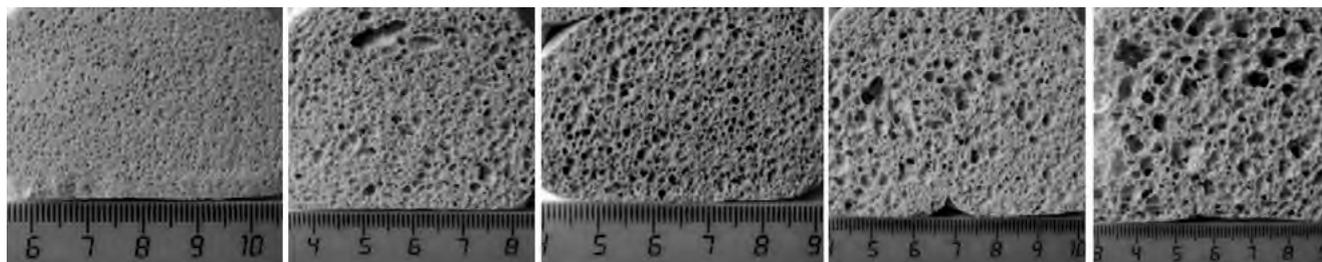


Рис. 1. Стеклокомпозиты, полученные на основе колеманита: 1 – 3% колеманит; 2 – 4% колеманит; 3 – 5% колеманит; 4 – 6% колеманит; 5 – 7% колеманит

Однако для отделки внутренних помещений, как правило, отражающая способность материала (перегородок) недостаточна, так как отраженные звуковые волны будут усиливать шум в помещении. В данном случае необходимо, чтобы структура материала поглощала большую часть кинетической энергии падающей на него звуковой волны [9].

Для получения пеностекла с открытой (сообщающейся) пористостью используют газообразователи из группы нейтрализационных, что неотъемлемо связано с рядом недостатков. Образцы, получаемые «карбонатным» способом, имеют недостаточно высокие звукопо-

глощающие характеристики, повышенное водопоглощение и плотность изделий. Изменять характер пористой структуры пеностекла можно путем введения в пенообразующую смесь добавок различного рода. Так, в работе [10] изучено влияние модифицирующей добавки в виде наноструктурного диоксида циркония на акустические свойства, размеры пор и макроструктуру готового пеностекла. А.И. Шутовым и др. [11] для увеличения звукопоглощения был предложен способ применения газообразователя неоднородного гранулометрического состава, что в итоге способствовало созданию в массиве пеностекла дополнительной системы эллипсных пор.

Таким образом, для повышения коэффициента звукопоглощения пеностекла в широком диапазоне частот необходимо использовать комплексный газообразователь, способствующий получению материала с максимальным объемом полимодальной открытой пористости (наличием различных по размерам открытых пор в пределах нижнего и верхнего пределов крупности) для создания оптимального акустического сопротивления.

Цель работы заключалась в разработке эффективных акустических стеклокомпозитов на основе пеностекла.

В ходе исследований в качестве газообразователей использовали высокодисперсные продукты: технический углерод и борсодержащее сырье (колеманит).

Химические и физико-технические свойства используемых газообразователей представлены в табл. 1–3.

В работе использовался бой отходов тарного стекла, химический состав, %: SiO₂ – 69; Al₂O₃ – 2; CaO – 8,8; MgO – 4,8; Na₂O – 14,9; Fe₂O₃ – 0,3; SO₃ – 0,15. Помол осуществляли в вибрационной мельнице периодического действия до удельной поверхности свыше 1000 м²/кг.

На первом этапе исследований изучали влияние различного вида и содержания газообразователей на физико-механические свойства стеклокомпозита. Параметрами для подбора оптимальных составов были показатели: коэффициент вспенивания, средняя плотность и объемное водопоглощение, которые были определены по традиционным методикам [7]. Температурные интервалы, в которых наиболее целесообразно использовать применяемые типы газообразователей, – 700–800°С. Вспенивание осуществлялось при температуре 740±10°С. Условия эксперимента представлены в табл. 4.

Экспериментальные данные позволили установить, что оптимальное значение свойств стеклокомпозита с применением борсодержащего сырья (колеманита) достигается при содержании колеманита в пенообразующей смеси в интервале 4–5%. При таком

Таблица 4
Влияние вида и количества газообразователя на свойства стеклокомпозита

Газообразователь	Свойства материала		
	Коэффициент вспенивания	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение, % водяная баня (2 ч кипячения) / обычное погружение в воду (24 ч)
Колеманит, %			
1	–	–	–
2	–	–	–
3	3,2	420	85 / 14
4	3,7	330	130 / 20
5	3,9	305	160 / 28
6	3,9	280	185 / 60
7	3,9	265	307 / 75
*3,5	3,5	360	110 / 18
*4,5	3,9	310	150 / 22
Колеманит / углерод, %			
4–5	0,1	3,9	285
	0,2	4,2	255
	0,3	4,4	205
	0,4	4,7	190
	0,5	4,8	175
	*0,25	4,2	230
	*0,35	4,5	180

Примечание. *Дополнительные исследования.

Таблица 5

Стеклокомпозиты полученные на основе	α, звукопоглощение					
	Частота, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Комплексного газообразователя	0,14	0,19	0,52	0,67	0,81	0,79
3% колеманита	0,1	0,12	0,15	0,19	0,28	0,28
4% колеманита	0,12	0,15	0,25	0,48	0,52	0,52
5% колеманита	0,09	0,11	0,23	0,49	0,5	0,54
6% колеманита	0,11	0,14	0,19	0,24	0,27	0,28

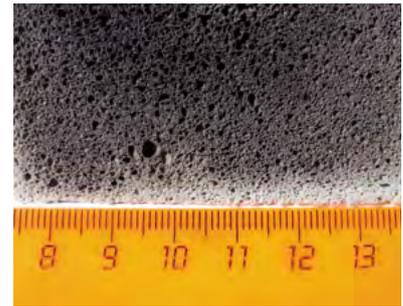


Рис. 2. Стеклокомпозит на основе комплексного газообразователя (4,5% колеманит/0,25% технический углерод)

содержании средняя плотность стеклокомпозита составляет 310 кг/м³, водопоглощение – до 25%. Можно предположить, что пенообразование в смесях при использовании газообразователя колеманита идет за счет участия в процессе вспенивания водяных паров (ОН групп), содержащихся в колеманите, в виде химически связанной воды (рис. 1).

При введении колеманита в смесь в количестве более 5% в образцах стеклокомпозита наблюдается неравномерная крупнопористая структура, что объясняется увеличением давления газовой фазы вследствие повышенного содержания водяных паров.

В вариантах с комплексным газообразователем (разное соотношение колеманит/технический углерод) был получен стеклокомпозит (4,5% колеманит/0,25% технический углерод) с более равномерной (мелкопористой) структурой, со средней плотностью 230 кг/м³ при увеличении объемного водопоглощения до 30% (рис. 2)

Предположительно это объясняется особенностями химических составов используемых газообразователей: углерод выступает стабилизатором системы стекло–газ. По мнению автора [2], углеродистые газообразователи вследствие малого химического сродства высокодисперсного углерода со стекломассой, а также значительного угла смачивания, в интервале температуры вспенивания, выступают в роли структурно-механических стабилизаторов при формировании ячеистой структуры пеностекла.

Действие колеманита можно описать следующим образом: снижение вязкости стекла является следствием наличия В₂О₃, выступающего в качестве плавня, а двухвалентные оксиды (в отличие от щелочно-земельных оксидов) в составе колеманита уменьшают КТЛР стекломассы, что способствует уменьшению микротрещин, и, следовательно, процесс структурообразования происходит более плавно: размеры пор равномерно распределяются по крупности, прорывов практически нет.

С введением в пенообразующую смесь колеманита и технического углерода наблюдаются изменения в размерах пор и характере их распределения по объему стеклокомпозита. Методом электронной сканирующей микроскопии были исследованы разработанные образцы стеклокомпозитов на предмет распределения пор по размерам.

Из данных рис. 3 можно заключить, что у стеклокомпозитов, полученных при введении 4 и 5% колеманита и на основе комплексного газообразователя, наблюдается различное распределение пор по крупности, наиболее выраженные пики в интервалах 100–200, 500–600, 800–900 мкм.

На втором этапе исследований определяли коэффициент звукопоглощения разработанных стеклокомпозитов с помощью интерферометра [7] (табл. 5, рис. 4).

Наилучшее значение коэффициента звукопоглощения достигнуто у стеклокомпозита, полученного на ос-

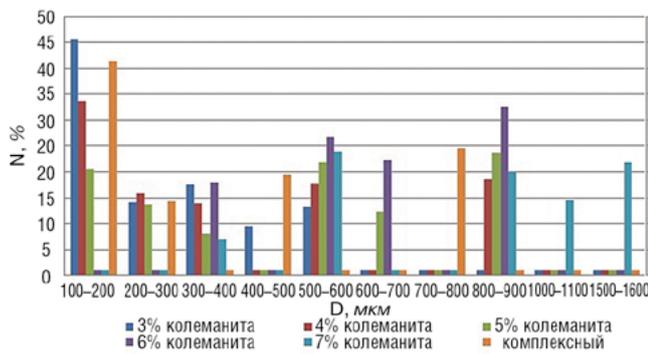


Рис. 3. Распределение пор по размерам разработанных стеклокомпозитов

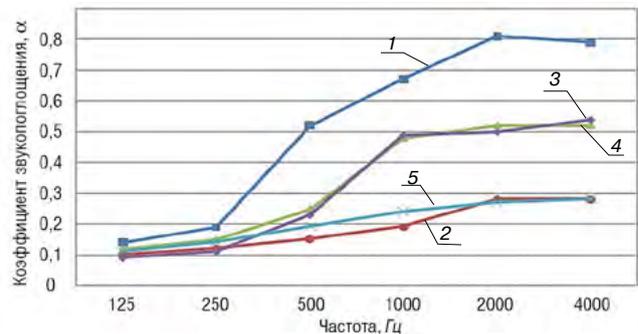


Рис. 4. Коэффициент звукопоглощения разработанных стеклокомпозитов в зависимости от частоты: 1 – комплексный газообразователь; 2 – 3% колеманита; 3 – 4% колеманита; 4 – 5% колеманита; 5 – 6% колеманита

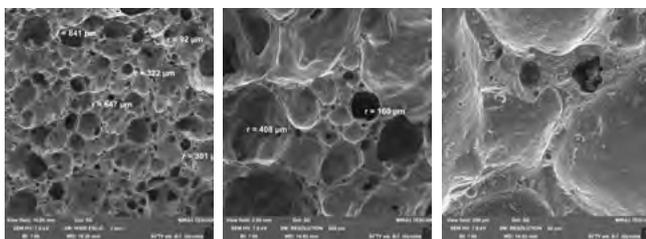


Рис. 5. Стеклокомпозит на основе колеманита (4–5%)

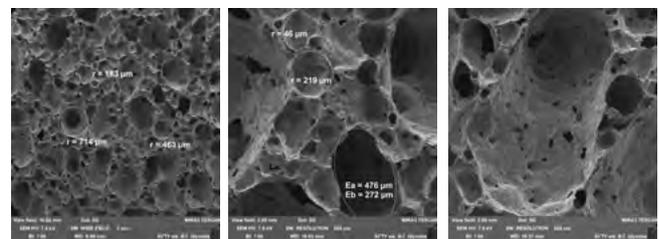


Рис. 6. Стеклокомпозит на основе комплексного газообразователя (4,5% колеманит/0,25% технический углерод)

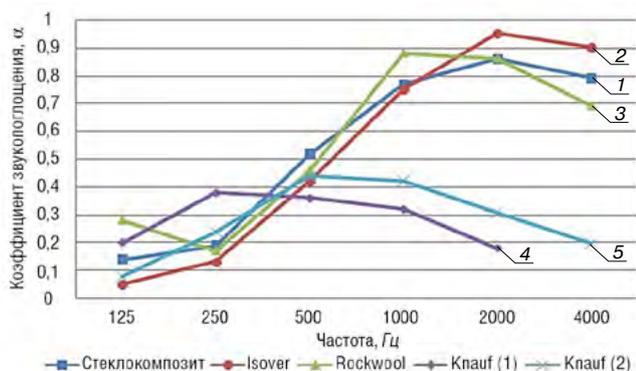


Рис. 7. Сравнительный анализ звукопоглощающих характеристик: 1 – Разработанный стеклокомпозит, 2 – Isover; 3 – Rockwool; 4 – Knauf (1); 5 – Knauf (2)

нове комплексного газообразователя. А так как у данного стеклокомпозита схожие структурные параметры со стеклокомпозитами, полученными при 4–5% колема-

Список литературы

- Семченков А.С., Семечкин А.Е., Литвиненко Д.В., Антонов И.М. Проектирование ЛЭЭЭНДТ стеновых ограждений для условий России // *Строительные материалы*. 2004. № 1. С. 31–32.
- Комкова А.В., Рачинская М.П. Пеностекло и его применение в России // *Современные научные исследования и инновации: Электронный научно-практический журнал*. 2012. № 5 (13). С. 18–20. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/12937> (дата обращения: 01.04.2016).
- Осипов А.Н. Энергоэффективный, пожаробезопасный теплоизоляционный материал – пеностекло // *Кровельные и изоляционные материалы*. 2013. № 2. С. 17–18.
- Сапачева Л.В., Горегляд С.Ю. Пеностекло для экологичного строительства в России // *Строительные материалы*. 2015. № 1. С. 30–31.
- Семухин Б.С., Алтарева Л.М., Вотинов А.В., Опаренков Ю.В. Управление структурой и свойствами пеностеклокристаллических материалов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 3 (50). С. 171–177.
- Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Богатова С.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В. Биостойкие строительные композиты на основе отходов стекла // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2009. № 16. С. 122–126.
- Вайсман Я.И., Кетов А.А., Кетов П.А. Научные и технологические аспекты производства пеностекла // *Физика и химия стекла*. 2015. Т. 41. № 2. С. 214–221.
- Радоуцкий В.Ю., Ветрова Ю.В. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизолирующей способности теплоизоляционных плит на основе пеностекла // *Вестник БГТУ*. 2015 № 5. С. 45–49.
- Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А., Соломатин Е.О., Салтыков И.П., Кочкин Н.А. Решение задач строительной акустики как фактора, обеспечивающего безопасность и комфортность проживания в зданиях // *Жилищное строительство*. 2014. № 6. С. 49–52.
- Семухин Б.С., Вотинов А.В., Казьмина О.В., Ковалев Г.И. Влияние малых добавок диоксида циркония на акустические свойства пеностеклольных материалов // *Вестник ТГАСУ*. 2014. № 6 (47). С. 123–131.
- Патент РФ № 2266874. Шихта для изготовления пеностекла / Балясников В.И., Кириченко С.Э., Шутков А.И., Мосьпан В.И., Воля П.А. Заявл. 30.04.2002. Оpubл. 10.11.2003. Бюл. № 2.

нита, для более детального объяснения результатов сделали снимки исследуемых стеклокомпозитов на электронном микроскопе (рис. 5, 6).

Микрофотографии рис. 6 свидетельствуют, что стеклокомпозит, полученный на основе комплексного газообразователя, пронизан микропорами. Эта структурная особенность и объясняет высокие звукопоглощающие характеристики и увеличенное объемное водопоглощение (наружная поверхность обладает наличием полимодальных открытых тупиковых пор со сквозными микропорами в самой поре).

Был также проведен сравнительный анализ характеристик разработанного стеклокомпозита с акустическими материалами, представленными на российском рынке (рис. 7).

Сравнительный анализ звукопоглощающих характеристик подтвердил конкурентоспособность разработанного стеклокомпозита по части обеспечения акустического комфорта в помещении, а за счет его неорганического состава и долговременного сохранения свойств делает его наиболее предпочтительным при выборе акустических материалов.

References

- Semchenkov A.S., Semechkin A.E., Litvinenko D.V., Antonov I.M. Designing LEEEIDT (light effective energy-saving eco-friendly incombustible durable technological) wall fences for Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 1, pp. 31–32. (In Russian).
- Komkova A. V., Rachinskaya M.P. Foamglass and its application in Russia. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. 2012. No. 5 (13), pp. 18–20. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/12937> (date of access 01.04.2016). (In Russian).
- Osipov A.N. Foamed glass is an energy efficiency, fire protection, thermal insulation material. *Krovельnye i izoljacionnye materialy*. 2013. No. 2, pp. 17–18. (In Russian).
- Sapacheva L.V., Goreglyad S.Yu. Foam glass for eco-friendly construction in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 1, pp. 30–31. (In Russian).
- Semukhin B.S., Altareva L.M., Votinov A.V., Oparenkov YU.V., Foam glassceramics structure and properties control. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 3 (50), pp. 171–177. (In Russian).
- Erofeyev V.T., Smirnov V.F., Bogatova S.N., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V. Biostable construction composites on the basis of waste the glass. *Vestnik of the Volgograd state architectural and construction university. Series: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2009. No. 16, pp. 122–126. (In Russian).
- Vaisman Ya.I., Ketov A.A., Ketov P.A. Scientific and technological aspects of production of a foamglass. *Fizika i khimiya stekla*. 2015. Vol. 41. No. 2, pp. 214–221. (In Russian).
- Radouckiy V.Ju., Vetrova Ju.V. Theoretical and experimental researches of sound insulation ability of insulation boards on the basis of foam glass. *Vestnik BGTU*. 2015. No. 5, pp. 45–49. (In Russian).
- Cukernikov I.E., Tihomirov L.A., Solomatina E.O., Saltykov I.P., Kochkin N.A. Solution of problems of engineering acoustics as a factor of ensuring the safety and comfort of living in buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 49–52. (In Russian).
- Semukhin B.S., Votinov A.V., Kaz'mina O.V., Kovalev G.I. Influence of small additives of zirconium dioxide on properties of foam glass materials. *Vestnik TGASU*. 2014. No. 6 (47), pp. 123–131. (In Russian).
- Patent RF 2266874. Shihta dlya izgotovleniya penostekla [The mixture for making foamed glass]. Baljasnikov V.I., Kirichenko S.Je., Shutov A.I., Mos'pan V.I., Volja P.A. Declared 20.02.2012. Published 10.11.2003. Bulletin No. 2. (In Russian).

В.Г. ГАГАРИН¹, д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН (gagarinvg@yandex.ru), В.В. КОЗЛОВ¹, канд. техн. наук; К.И. ЛУШИН², канд. техн. наук (kirillushin@gmail.com), Н.Ю. ПЛЮЩЕНКО², инженер

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Учет теплопроводных включений и вентилируемой прослойки при расчетах сопротивления теплопередаче стены с навесной фасадной системой (НФС)

Рассмотрен воздушный режим в вентилируемой воздушной прослойке навесных фасадных систем (НФС). Сформулирована модель теплопереноса в ограждающих конструкциях с вентилируемой воздушной прослойкой, согласно которой теплообмен ограждающей конструкции с наружной средой представляется двумя потоками: один – с граничными условиями в воздушной прослойке с учетом ее воздушного режима; второй – с граничными условиями на поверхности облицовки фасада с учетом влияния солнечной радиации. В соответствии с моделью получены формулы для расчета коэффициента теплопередачи и приведенного сопротивления теплопередаче конструкции с НФС. Приведены данные о расчетах приведенного сопротивления теплопередаче конструкций с НФС и сопротивления теплопередаче воздушной прослойки.

Ключевые слова: навесная фасадная система, приведенное сопротивление теплопередаче, воздушная прослойка, теплотехнические неоднородности.

V.G. GAGARIN¹, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding member of RAACS (gagarinvg@yandex.ru), V.V. KOZLOV¹, Candidate of Sciences (Engineering); K.I. LUSHIN², Candidate of Sciences (Engineering) (kirillushin@gmail.com), N.Yu. PLYUSHCHENKO², Engineer

¹ Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (21, Lokomotivny Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

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

Accounting of Heat-Conducting Inclusions and a Ventilated Layer When Calculating the Resistance to Heat Transfer of a Wall with Hinged Façade System (HFS)

Air conditions in the ventilated air layer of hinged façade systems are considered. The model of heat transfer in enclosing structures with the ventilated air layer is formulated; according to this model, the heat exchange of the enclosing structure with the outdoor environment is presented by two flows – the first, with boundary conditions in the air layer with due regard for its air conditions, the second – with boundary conditions on the surface of façade cladding with due regard for the impact of solar radiation. In accordance with the model, formulas for calculating the coefficient of heat transfer and reduced resistance to the heat transfer of structures with HFS have been obtained. Data on the calculation of the reduced resistance to heat transfer of structures with HFS and the resistance of the air layer to heat transfer are presented.

Keywords: hinged façade system, reduced resistance to heat transfer, air layer, thermal-technical heterogeneity.

Первые методы расчета температурного режима вентилируемых воздушных прослоек были разработаны еще до войны В.Д. Мачинским, затем К.Ф. Фокиным [1]. В дальнейшем теплозащитные свойства ограждающих конструкций с вентилируемыми воздушными прослойками неоднократно исследовались [2–5]. Практически важным при этом был вопрос расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций [2]. Исследовались также движение воздуха в прослойке [2–5], влияние теплопроводных включений на коэффициент теплотехнической неоднородности [6, 7], влажностный режим в воздушной прослойке [8], долговечность утеплителя [9] и др. Обобщение работ по исследованию свойств НФС с вентилируемой прослойкой содержится в [10]. Эти работы позволили включить в СП 50.13330.2012^{*} Приложение Л, содержащее методику теплофизического расчета НФС. Развитие метода расчета приведенного сопротивления теплопередаче [11], включенного в СП 50.13330.2012, и создание СП 230.1325800.2015^{**} позволяют значительно усовершенствовать расчет тепловой защиты НФС с вентилируемой прослойкой. Вопросы применения элементного подхода и особенностей эксплуатации НФС рассмотрены в [12–17]. В настоящей статье рассматривается метод

расчета показателя тепловой защиты, учитывающий влияние вентилируемой воздушной прослойки и подконструкции НФС для зимних условий эксплуатации, основанный на модели движения воздуха в прослойке [2, 4, 5] и на модели элементного подхода для учета влияния теплопроводных включений [11].

Распределение температуры воздуха по высоте прослойки. В [2], а затем в [4, 5] получено дифференциальное уравнение для изменения температуры по высоте воздушной прослойки:

$$x_0 \frac{dt_{\text{пр}}(x)}{dx} + t_{\text{пр}}(x) = t_0, \quad (1)$$

где x – координата точки по высоте прослойки, м; значение $x = 0$ соответствует нижнему продуху фасада (входу в воздушную прослойку); $t_{\text{пр}}(x)$ – температура воздуха в прослойке на высоте x , °С.

Начальным условием для уравнения (1) является $t_{\text{пр}}(0) = t_{\text{н}}$, где $t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °С.

Параметры уравнения (1) определяются по формулам:

$$t_0 = \frac{t_{\text{в}} K_{\text{контр}} + t_{\text{н}}^{\text{учл}} K_{\text{обол}}}{K_{\text{контр}} + K_{\text{обол}}}, \quad (2)$$

* СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003. М., Минрегион России, 2012. 96 с.

** СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей». М., Минстрой России, 2015. 68 с.

$$x_0 = \frac{c_b \cdot v \cdot d \cdot \gamma_b}{K_{\text{констр}} + K_{\text{обол}}}, \quad (3)$$

где t_b, t_n – температура внутреннего и наружного воздуха соответственно, °C; $K_{\text{констр}}, K_{\text{обол}}$ – коэффициенты теплопередачи частей конструкции от внутреннего воздуха помещения до воздушной прослойки и от воздушной прослойки до наружного воздуха соответственно, Вт/(м²·°C); v – скорость движения воздуха в прослойке, м/с; $c_b = 1005$ Дж/(кг·°C) – удельная теплоемкость воздуха; $\gamma_b = 353/(273 + t_n)$, кг/м³, – плотность воздуха при температуре t_n ; d – ширина воздушной прослойки, м; $t_n^{\text{усл}}$ – условная температура наружного воздуха у поверхности наружной стены с учетом солнечной радиации, падающей на стену, °C, определяется по формуле:

$$t_n^{\text{усл}} = t_n + \frac{I \cdot \rho}{\alpha_n}, \quad (4)$$

где ρ – коэффициент поглощения солнечной радиации, доли ед.; α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, Вт/(м²·°C); I – интенсивность солнечной радиации (прямой и рассеянной) на вертикальную поверхность данной ориентации, Вт/м².

Решение уравнения (1) с указанным начальным условием имеет вид:

$$t_{\text{пр}}(x) = t_0 - (t_0 - t_n) \cdot e^{-\frac{x}{x_0}}. \quad (5)$$

Распределение температуры по высоте прослойки, описываемое (5), зависит от параметра x_0 , который в свою очередь зависит от скорости движения воздуха в прослойке по выражению (3). Уравнение (5) позволяет определить среднюю температуру воздуха в прослойке, $t_{\text{ср}}$, которая используется для определения скорости движения воздуха в прослойке по уравнению:

$$v = \sqrt{\frac{0,08 \cdot L \cdot (t_{\text{ср}} - t_n)}{\sum_i \xi_i}}. \quad (6)$$

В [2, 4] реализован метод совместного итерационно-го решения (5) и (6) с учетом (2) и (3). В [4] выведена приближенная формула для расчета скорости движения воздуха в прослойке:

$$v \approx \sqrt{\frac{0,0016 \cdot (t_0 - t_n)^2 \cdot k^2}{(\sum_i \xi_i)^2} + \frac{0,08 \cdot L \cdot (t_0 - t_n)}{\sum_i \xi_i} - \frac{0,04 \cdot (t_0 - t_n) \cdot k}{\sum_i \xi_i}}, \quad (7)$$

где L – высота фасада, м; $\sum_i \xi_i$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений, определяемых по литературным данным или экспериментально [2].

Вспомогательный параметр k определяется по формуле [5]:

$$k = \frac{c_b \cdot d \cdot \gamma_b}{K_{\text{констр}} + K_{\text{обол}}}. \quad (8)$$

В [5] показано, что погрешность вычисления по (7) не превышает 10% по сравнению с итерационным расчетом.

Таким образом, все параметры, необходимые для расчета по (5) распределения температуры в прослойке, вычисляются по формулам (2), (3), (7), (8).

Тепловой поток через стену с НФС. Рассматривается плотность потока теплоты через узкую полосу высотой dx стены с НФС от внутреннего воздуха помещения к наружному воздуху через стену с НФС:

$$q = q_1 + q_2, \quad (9)$$

где q_1 – плотность потока теплоты через всю конструкцию, кроме кронштейнов, Вт/(м²·°C); q_2 – плотность потока теплоты по кронштейнам, Вт/(м²·°C).

Поток q_1 можно рассматривать, как поток от внутреннего воздуха до воздуха в вентилируемой прослойке.

Поток q_2 представляет собой поток по кронштейнам, который складывается из двух частей: часть его уходит в воздух в прослойке, а часть – в наружный воздух через облицовку НФС. Разделение этого потока на две составляющие требует отдельного рассмотрения. Далее рассматривается случай, когда весь поток через кронштейн проходит через облицовку НФС, имеющую температуру $t_n^{\text{усл}}$.

Поток теплоты через полосу фасада шириной 1 м и высотой L м составит:

$$Q = Q_1 + Q_2 = \int_0^L q_1 dx + \int_0^L q_2 dx = \int_0^L \left[U + \sum (\psi \cdot P)_j / (1 \cdot L) + \sum_{\text{не кронштейн}} (\chi \cdot N)_k / (1 \cdot L) \right] (t_b - t(x)) dx + \int_0^L \left[\sum_{\text{кронштейны}} (\chi \cdot N)_k / (1 \cdot L) \right] (t_b - t_n^{\text{усл}}) dx, \quad (10)$$

где U – коэффициент теплопередачи по глади конструкции, Вт/(м²·°C); ψ_j и χ_k – удельные потоки теплоты через линейные и точечные теплопроводные включения j -го и k -го типов соответственно, Вт/(м²·°C) и Вт/°C; P – суммарная длина линейных теплопроводных включений j -го типа на рассматриваемом фрагменте фасада, м; N – число точечных теплопроводных включений k -го типа на рассматриваемом фрагменте фасада, шт.

Интегрирование (10) после подстановки (5) дает выражение для потока теплоты через фрагмент фасада:

$$Q = \left[U + \sum (\psi \cdot P)_j / (1 \cdot L) + \sum_{\text{не кронштейн}} (\chi \cdot N)_k / (1 \cdot L) \right] \cdot \left((t_b - t_0)L - x_0(t_0 - t_n) \cdot (e^{-\frac{L}{x_0}} - 1) \right) + \left[\sum_{\text{кронштейны}} (\chi \cdot N)_k / (1 \cdot L) \right] (t_b - t_n^{\text{усл}})L. \quad (11)$$

После перегруппировки членов этого уравнения получается:

$$Q = \left[U + \sum (\psi \cdot P)_j / L + \sum_{\text{не кронштейн}} (\chi \cdot N)_k / L + \sum_{\text{кронштейны}} (\chi \cdot N)_k / L \right] \cdot (t_b - t_n)L + \left[U + \sum (\psi \cdot P)_j / L + \sum_{\text{не кронштейн}} (\chi \cdot N)_k / L \right] \cdot (t_0 - t_n) \cdot \left(x_0 - x_0 e^{-\frac{L}{x_0}} - L \right) - \left[\sum_{\text{кронштейны}} (\chi \cdot N)_k / L \right] \cdot \frac{\rho I}{\alpha_n} L. \quad (12)$$

Первое слагаемое правой части (12) представляет собой тепловые потери стены с НФС, отражающие влияние всех теплопроводных включений конструкции и обусловленные перепадом температуры воздуха помещения и улицы ($t_b - t_n$). Второе слагаемое правой части (12) представляет собой тепловые потери через стену с НФС, отражающие влияние всех теплопроводных включений конструкции, кроме кронштейнов, и обусловленные перепадом температуры воздуха прослойки и наружного воздуха. Третье слагаемое правой части (12) отражает влияние солнечной радиации, тепловая энергия которой воспринимается облицовкой фасада и передается через кронштейны в стену.

Формула для расчета коэффициента теплопередачи стены с НФС. При проведении расчетов можно анализировать составляющие как уравнения (11), так и уравнения (12). Уравнение (11), как и (12), позволяет определить коэффициент теплопередачи стены с НФС. Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции используется для определения нагрузки на систему отопления, поэтому при его расчете влияние солнечной радиации не учитывается. Для получения формулы для его расчета следует разделить правую

часть (11) или (12) на величину $(t_b - t_n)L$ при предположении, что интенсивность солнечной радиации равна нулю. Из (12) следует:

$$K = \frac{Q}{(t_b - t_n)L} = \left[U + \sum_{\text{не кронштейны}} (\psi \cdot P)_j / L + \sum_{\text{кронштейны}} (\chi \cdot N)_k / L + \sum_{\text{кронштейны}} (\chi \cdot N)_k / L \right] - \left[U + \sum_{\text{не кронштейны}} (\psi \cdot P)_j / (1 \cdot L) + \sum_{\text{не кронштейны}} (\chi \cdot N)_k / (1 \cdot L) \right] \frac{t_0 - t_n}{t_b - t_n} \left(1 - \frac{x_0}{L} (1 - e^{-\frac{x_0}{L}}) \right). \quad (13)$$

Приведенное сопротивление теплопередаче получается как величина, обратная к коэффициенту теплопередачи:

$$R_0^{\text{пр}} = 1/K. \quad (14)$$

Как следует из (13), приведенное сопротивление теплопередаче зависит от перепада температуры и высоты фасада.

Расчеты сопротивления теплопередаче вентилируемой воздушной прослойки НФС. Для иллюстрации предлагаемого метода расчета приведенного сопротивления теплопередаче стены с НФС выполнены расчеты для кирпичной стены здания с НФС в Москве. Высота НФС составляла $L = 20$ м; толщина слоя минеральной ваты – 120 мм; толщина воздушной прослойки $d = 0,06$ м; коэффициент теплопередачи облицовки НФС ($K_{\text{обол}} = 5,7$ Вт/(м²·°С)), стены с утеплителем – варьировался от $U = 1$ до $U = 0,2$ Вт/(м²·°С); минераловатные плиты крепятся дюбелями 7 шт./м² со значением $\chi = 0,006$ Вт/°С; сумма местных сопротивлений в прослойке принималась 3,33. Кронштейны НФС 2,6 шт/м²; $\chi = 0,06$ Вт/°С. Климатические условия приняты для Москвы. В качестве расчетной принималась температура наружного воздуха $t_n = -28^\circ\text{C}$. Расчеты значений приведенного сопротивления теплопередаче и коэффициентов теплотехнической однородности стены с НФС при различном коэффициенте теплопередачи стены с утеплителем представлены в таблице. Следует иметь в виду, что для конкретных НФС значения как исходных данных для расчета, так и результатов могут измениться.

Результаты расчетов показали довольно низкие значения коэффициентов теплотехнической однородности r . Причем чем больше значение U , тем ниже значение r .

Список литературы

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1937. 287 с.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором // Журнал АВОК. 2004. № 2. С. 20–26.
3. Машенков А.Н., Косолапов Е.А., Чебурканова Е.В. Общая система уравнений Буссинеска для одномерной свободной конвекции в плоском вертикальном слое // Приволжский научный журнал. 2012. № 2. С. 93–98.
4. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Лушин К.И. Скорость движения воздуха в прослойке навесной фасадной системы при естественной вентиляции // Жилищное строительство. 2013. № 10. С. 14–17.
5. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Lushin K.I. Calculation of the velocity of air in the air gap facade systems, where natural ventilation // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No. 2, pp. 43438–43441.
6. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Расчет сопротивления теплопередаче фасадов с вентилируемым воздушным зазором // Строительные материалы. 2004. № 7. С. 8–9.

Коэффициент теплопередачи стены с утеплителем	Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента стены с НФС, $R_0^{\text{пр}}$, (м ² ·°С)/Вт	Коэффициент теплотехнической однородности НФС, r
$U = 1$ Вт/(м ² ·°С)	0,86	0,86
$U = 0,5$ Вт/(м ² ·°С)	1,5	0,75
$U = 0,3$ Вт/(м ² ·°С)	2,12	0,63
$U = 0,2$ Вт/(м ² ·°С)	2,68	0,54

Установлено, что для зимних условий эксплуатации на значение сопротивления теплопередаче вентилируемой воздушной прослойки влияет ее толщина, при изменении которой от 0,02 до 0,1 см сопротивление теплопередаче прослойки изменяется от 0,1 до 0,05 м²·°С/Вт. Оказывает влияние также коэффициент теплопередачи стены с утеплителем U . Так, при снижении этого коэффициента от 1 до 0,2 Вт/(м²·°С) сопротивление теплопередаче вентилируемой воздушной прослойки толщиной 6 см снижается от 0,07 до 0,03 м²·°С/Вт в зависимости от температуры наружного воздуха (от 5 до -30°C). Высота фасада незначительно влияет на сопротивление теплопередаче вентилируемой воздушной прослойки. Например, при изменении высоты от 10 до 80 м наибольшее значение изменения сопротивления теплопередаче вентилируемой воздушной прослойки составит 0,04 м²·°С/Вт. Такие величины не представляют практического интереса при расчетах тепловой защиты для зимних условий эксплуатации. Значительно больший интерес представляет исследование теплотехнических свойств вентилируемой воздушной прослойки в летних условиях эксплуатации, однако это – другая тема исследования.

Заключение.

Разработан метод расчета параметров тепловой защиты стен с НФС и отдельно вентилируемой воздушной прослойки, основанный на элементном подходе. Метод отдельно учитывает перенос теплоты по металлическим кронштейнам, крепящимся к облицовке НФС, а также теплопередачу в воздушной прослойке. Метод проиллюстрирован примером расчета. Проведен анализ влияния различных факторов на сопротивление теплопередаче вентилируемой воздушной прослойки.

References

1. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ogradhdayushchikh chastei zdaniy [Thermal Engineering of enclosing parts of buildings]. Moscow: Stroyizdat. 1937. 252 p.
2. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Tsykanovskiy E.Yu. Calculation of the thermal protection of facades with a ventilated air gap. Zhurnal AVOK. 2004. No. 2, pp. 20–26. (In Russian).
3. Mashenkov A.N., Kosolapov E.A., Cheburkanova E.V. The general system of the Boussinesq equations for the one-dimensional of free convection in a plane vertical layer. Privolzhskii nauchnyi zhurnal. 2012. No. 2, pp. 93–98. (In Russian).
4. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Lushin K.I. Air velocity in air cavity of curtain gap of facade wall system at free ventilation. Zhilishchnoe Stroitel'stvo. 2013. No. 10, pp. 14–17. (In Russian).
5. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Lushin K.I. Calculation of the velocity of air in the air gap facade systems, where natural ventilation // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No. 2, pp. 43438–43441.
6. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Calculation of the resistance to heat transfer of facades with a ventilated air gap. Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. 2004. No. 7, pp. 8–9. (In Russian).

7. Машенков А.Н., Чебурканова Е.В. Определение коэффициента теплотехнической однородности навесных фасадных систем с воздушным зазором // *Строительные материалы*. 2007. № 6. С. 10–12.
8. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Методика проверки выпадения конденсата в воздушном зазоре вентилируемого фасада. В кн.: *Строительная физика в XXI веке. Научно-техническая конференция, посвященная 50-летию НИИСФ РААСН*. Москва. НИИСФ, 25–27 сентября 2006 г. С. 73–80.
9. Умнякова Н.П. Теплозащитные свойства эксплуатируемых навесных вентилируемых фасадных конструкций // *Жилищное строительство*. 2011. № 2. С. 2–6.
10. Гагарин В.Г., Гувернюк С.В., Козлов В.В., Леденев П.В., Цыкановский Е.Ю. Результаты исследования свойств навесных фасадных систем с вентилируемой воздушной прослойкой в рамках гранта РФФИ «Аэротеплофизика проницаемых тел в низкоскоростных воздушных потоках» // *Academia. Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 261–278.
11. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 4–12.
12. Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Учет теплотехнических неоднородностей ограждений при определении тепловой нагрузки на систему отопления здания // *Жилищное строительство*. 2014. № 6. С. 3–7.
13. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 14–16.
14. Гагарин В.Г., Козлов В.В. К расчету приведенного сопротивления теплопередаче фасадов с вентилируемым воздушным зазором // *Строительные материалы*. 2005. № 2. С. 34–36.
15. Gagliano A., Patania F., Nocera F., Ferlito A., Galesi A. Thermal performance of ventilated roofs during summer period // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 49, pp. 611–618.
16. Hensen J., Bartak M., Drkal F. Modeling and simulation of a double-skin facade system // *ASHRAE Transactions*. 2002. Vol. 108. Part 2, pp. 1251–1259.
17. Mingottia N., Chenvidyakarna T., Woodsb A.W. The fluid mechanics of the natural ventilation of a narrow-cavity double-skin facade // *Building and Environment*. 2011. Vol. 46, pp. 807–823.
7. Mashenkov A.N., Cheburkanova E.V. Determination of the coefficient of heat engineering homogeneity of hinged facade systems with air gap. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 6, pp. 10–12. (In Russian).
8. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Methods of verification to dropping out condensate in the air gap ventilated facade. *Scientific and technical conference dedicated to the 50th anniversary of NIISF RAASN: «Building Physics in the XXI century»*. Moscow: NIISF RAASN, 25–27 September 2006, pp.73–80. (In Russian).
9. Umnyakova N.P. Heat insulating properties of operated curtain ventilated façade structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 2, pp. 2–6. (In Russian).
10. Gagarin V.G., Guvernjuk S.V., Kozlov V.V., Ledenev P.V., Tsykanovsky E.J. Results of researches of properties of hinged facade systems with the ventilated air layer in the frame of the grant of the russian fundamental researches fund «Aerothermosphysics of nontight bodies in low speed air streams». *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2010. No. 3, pp. 261–278. (In Russian).
11. 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).
12. Gagarin V.G., Neklyudov A.Yu. Accounting of thermal bridges of enclosures when determining heat load on the heating system of the building. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 3–7. (In Russian).
13. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. Accounting heat engineering heterogeneities when assessing the thermal protection of enveloping structures in Russia and European countries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
14. Gagarin V.G., Kozlov V.V. The calculation of the reduced resistance heat transfer of facades with a ventilated air gap. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 2, pp. 34–36. (In Russian).
15. Gagliano A., Patania F., Nocera F., Ferlito A., Galesi A. Thermal performance of ventilated roofs during summer period. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 49, pp. 611–618.
16. Hensen J., Bartak M., Drkal F. Modeling and simulation of a double-skin facade system. *ASHRAE Transactions*. 2002. Vol. 108. Part 2, pp. 1251–1259.
17. Mingottia N., Chenvidyakarna T., Woodsb A.W. The fluid mechanics of the natural ventilation of a narrow-cavity double-skin façade. *Building and Environment*. 2011. Vol. 46, pp. 807–823.

НОВОСТИ

Сроки внедрения инновационных материалов в строительстве могут быть сокращены до трех месяцев

Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации предлагает ввести новую госуслугу по подготовке заключений для подтверждения пригодности применения в строительстве новой продукции. Основной задачей Минстроя России в сфере инновационного развития промышленности строительных материалов является обеспечение быстрого внедрения современных изделий, конструкций, материалов и технологий в строительную отрасль. С целью устранения нормативных барьеров в отраслевом техническом регулировании на основе государственного задания осуществляется разработка новых и актуализация действующих сводов правил, обеспечивающих широкое применение инновационных строительных материалов, изделий, конструкций и технологий.

В 2015 г. в рамках этой работы разработано и актуализировано 140 сводов правил. Ежегодные плановые темпы обновления отраслевой нормативной базы (120–140 сводов правил ежегодно) позволят обеспечить ее инновационную эффективность на необходимом уровне.

Для разработки технических норм на новую продукцию законодательством большинства развитых стран предусмотрена процедура подтверждения ее пригодности для применения в строительстве с выдачей соответствующего документа. В РФ подтверждение пригодности новых материалов,

изделий, конструкций и технологий для применения в строительстве осуществляется Минстроем России в соответствии с утвержденными правительством правилами, учитывающими опыт технически развитых европейских стран, в частности Германии, Великобритании, Франции. Это позволяет в оперативные сроки, за 3 месяца, устранить на пути внедрения новых материалов технические и административные барьеры, возникающие в период отсутствия ГОСТов и сводов правил на новые материалы, конструкции и технологии.

В 2015 г. Минстроем России выдано 315 технических свидетельств о пригодности для применения в строительстве новой продукции, требования к которой в части обеспечения безопасности и надежности зданий и сооружений не регламентированы нормативными документами. В структуре новой продукции более 30% занимают фасадные системы, 20% – различные виды крепежа, 22% – плитные отдельные и конструкционные материалы, 13% – другие, в том числе композитные строительные материалы.

Кроме того, на совещании был затронут вопрос о деревянном домостроении. Минстрой России обратился к ряду производителей этой подотрасли чтобы в реестр проектов повторного применения включить уже существующие готовые проекты.

По материалам Минстроя РФ

УДК 621.3.082.722:691

В.С. РОЙФЕ, д-р техн. наук (roife@mail.ru)

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

Расчет распределения влаги по толщине ограждающей конструкции в натуральных условиях

На основе моделирования неоднородного электрического поля в контролируемом объеме материала с неравномерным распределением влаги аналитически решена задача измерения локальной влажности без нарушения целостности ограждающей конструкции с использованием емкостного преобразователя планарной конструкции в трехмерном пространстве. Получены зависимости для количественной оценки послойной чувствительности преобразователя и вклада отдельных слоев материала в результаты измерений, разработана компьютерная программа для расчетов.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, эксплуатационная влажность, емкостный преобразователь, чувствительность, неоднородность.

V.S.ROYFE, Doctor of Sciences (Engineering) (roife@mail.ru)
Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Calculation of Moisture Distribution through the Thickness of an Enclosing Structure under Natural Conditions

On the basis of modeling the non-uniform electric field in the controlled volume of the material with the uneven distribution of moisture, the problem of measuring the local humidity without breaking the integrity of the enclosing structure was analytically solved with the use of the capacity transducer of a planar design in the three-dimensional space. Dependences for the quantitative assessment of layer-by-layer sensitivity of the transducer and the contribution of separate layers in the measuring results have been obtained; a computer program for calculations has been developed.

Keywords: enclosing structures, operation humidity, capacity transducer, sensitivity, non-uniformity.

Одной из проблем научных исследований в строительной теплофизике являются, в частности, расчеты влажностного режима ограждающих конструкций в процессе их эксплуатации. Задача изучения состояния и переноса влаги в строительных материалах не потеряла своей актуальности и сейчас в связи с существенной зависимостью их теплозащитных свойств от эксплуатационной влажности, нормируемой согласно табл. 2 СП 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Вопросам, связанным с назначением и использованием расчетных значений эксплуатационной влажности материалов, в основном теплоизоляционных, в последнее время уделяется повышенное внимание специалистов [1, 2].

Натурные исследования в жилых помещениях многоэтажных зданий показывают, что их температурно-влажностный режим зависит от теплозащитных качеств ограждающих конструкций, и в частности от качества выполнения строительных работ. Повышенная влажность материалов наружных ограждений является одной из причин относительно низкой температуры на их внутренних поверхностях и больших перепадов температуры по вертикали и горизонтали помещений.

Основным способом определения эксплуатационной влажности являются натурные экспериментальные исследования. Однако их результаты даже для одного типа конструкций при одних и тех же климатических условиях региона строительства могут иметь большой разброс, что подтверждается натурными исследованиями, проведенными недавно лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН в различных городах РФ [3]. При этом следует отметить, что отбор проб для определения влажности материалов ограждающих конструкций в натуральных условиях с помощью шлямбура (с привязкой к толщине конструкции) является весьма трудоемкой, длительной и дорогостоящей операцией, а на некоторых объектах отбор проб разрушающими методами вообще недопустим. Понятно, что при ограниченном объеме экспериментальных данных их репрезентативность весьма низка.

В НИИСФ РААСН в течение длительного времени проводятся теоретические и экспериментальные исследования по разработке и применению в строительной отрасли неразрушающих методов и средств измерения теплофизических характеристик строительных материалов, изделий и конструкций, характеризующих их теплозащитные свойства (влажность, плотность, теплопроводность и др.) [4, 5]. В частности, были разработаны и впервые внедрены в практику нормативно-технические документы, регламентирующие применение в строительстве (наряду с образцовым термогравиметрическим методом) диэлькометрического метода измерения влажности материалов без отбора проб и нарушения целостности и внешнего вида конструкции, например ГОСТ 21718-84 «Материалы строительные. Диэлькометрический метод измерения влажности». Одна из таких разработок содержит методику, а также аппаратуру для послойного определения влажности в ограждающих конструкциях с помощью миниатюрных емкостных преобразователей, предварительно закладываемых в исследуемую конструкцию [6]. Однако в натуральных условиях такая методика практически неприменима.

Емкостные преобразователи планарной конструкции (датчики накладного типа), широко используются в измерительных приборах различного назначения, в частности в диэлькометрических влагомерах. Они создают в контролируемом материале неоднородное электрическое поле, напряженность которого монотонно убывает по мере удаления слоя материала от поверхности.

В практике использования влагомеров с емкостными преобразователями планарной конструкции типичным является неравномерное распределение влажности по объему контролируемой зоны материала. В этом случае интерпретация результатов измерения влажности диэлькометрическим методом существенно усложняется.

В этой связи возникает задача анализа послойной чувствительности емкостных преобразователей планарной конструкции, решение которой позволило бы про-

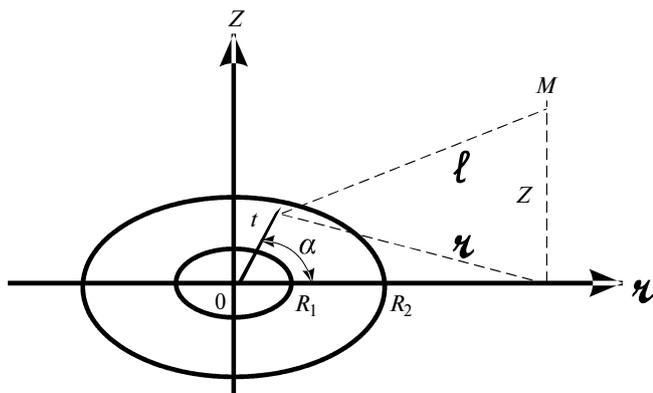


Рис. 1. Расчет емкости преобразователя планарного типа

изводить количественную оценку вклада отдельных слоев контролируемого материала в общую измеряемую емкость преобразователя.

В данной работе решение указанной задачи производится на основе моделирования неоднородного электрического поля емкостного преобразователя планарной конструкции и численного расчета послойных емкостей преобразователей такого типа. С этой целью рассмотрим электрическое поле планарного электрода преобразователя в виде уединенного кольца (диска).

Потенциал уединенного кольца с радиусом R_1 и R_2 (для диска $R_1=0$) и распределением заряда по поверхности $\sigma(t)$ в любой точке M объема однородной среды $\epsilon = \text{const}$ (рис. 1) определяется суперпозицией потенциалов заряженных точек поверхности кольца:

$$\Phi_M = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_0^{R_2} \int_0^{2\pi} \frac{t\sigma(t)}{l} dt d\alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_0^{R_2} \int_0^{2\pi} \frac{t\sigma(t) dt d\alpha}{\sqrt{z^2 + r^2 + t^2 - 2rt \cos \alpha}}, \quad (1)$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; z, r – координаты точки M в цилиндрической системе координат; α, t – переменные интегрирования (t – по поверхности кольца).

Дифференцируя (1), найдем составляющие напряженности электрического поля E :

$$E_r(r, z) = -\frac{\partial \Phi}{\partial r} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_0^{R_2} \int_0^{2\pi} \frac{t\sigma(t)(r - t \cos \alpha) dt d\alpha}{(z^2 + r^2 + t^2 - 2rt \cos \alpha)^{3/2}}, \quad (2)$$

$$E_z(r, z) = -\frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{z}{4\pi\epsilon} \int_0^{R_2} \int_0^{2\pi} \frac{t\sigma(t) dt d\alpha}{(z^2 + r^2 + t^2 - 2rt \cos \alpha)^{3/2}}. \quad (3)$$

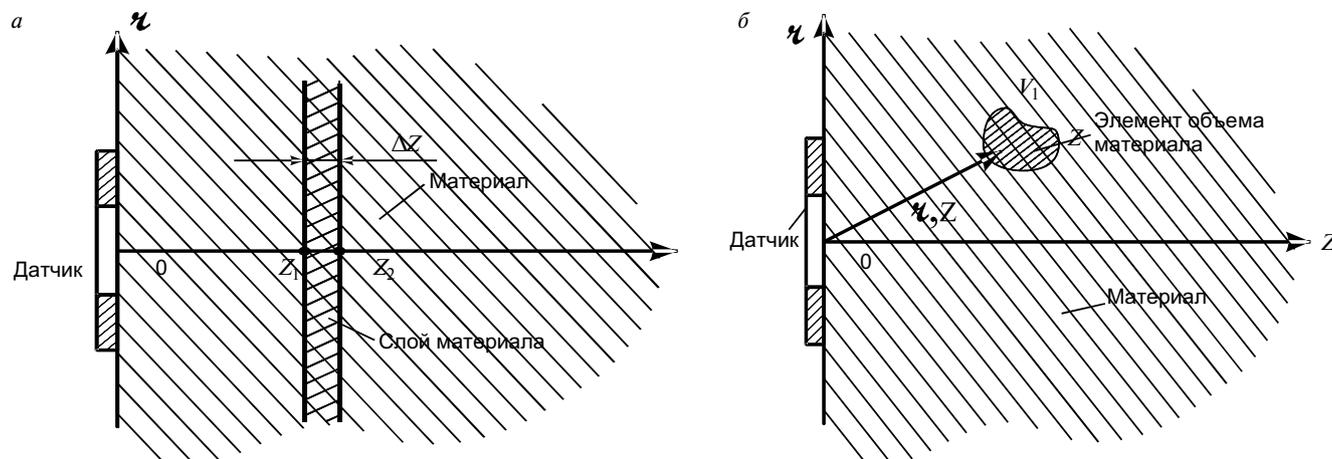


Рис. 2. Пояснение физической сущности коэффициентов чувствительности емкостного преобразователя планарной конструкции: а – послойная чувствительность; б – объемная чувствительность

Далее, приравнявая энергию заряженного до потенциала Φ_0 кольца как конденсатора и суммарную энергию электрического поля, создаваемого им в бесконечном объеме, можно записать:

$$\frac{C_\infty \Phi_0^2}{2} = \frac{\epsilon}{2} \int_V E^2 dV = \frac{\epsilon}{2} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_0^{2\pi} E^2 r dr dz d\alpha, \quad (4)$$

откуда полная емкость кольцевого электрода составит:

$$C_\chi = C_\infty + \frac{\epsilon}{\Phi_0^2} \int_V E^2 dV = \frac{4\pi\epsilon}{\Phi_0^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^{2\pi} E^2 r dr dz d\alpha. \quad (5)$$

Заменив верхний предел интегрирования в (5) на переменный (z) и разделив на C_∞ , получим послойную емкость $C_{\text{отн}(z)}$, представляющую долю полной емкости, обусловленную слоем материала от поверхности до глубины z :

$$C_{\text{отн}(z)} = \frac{C_z}{C_\infty} = \frac{\int_0^z \int_0^\infty \int_0^{2\pi} E^2 r dr d\alpha}{\int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^{2\pi} E^2 r dr d\alpha}. \quad (6)$$

Вычисление $C_{\text{отн}(z)}$ по формулам (2)–(6) требует знания закона распределения заряда $\sigma(t)$ на поверхности кольца. Найдем его из решения интегрального уравнения, соответствующего равенству потенциалов всех точек кольца (Φ_0) как проводящего тела:

$$\Phi_M(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_0^{R_2} \int_0^{2\pi} \frac{t\sigma(t) dt d\alpha}{\sqrt{t^2 + r^2 - 2rt \cos \alpha}} = \Phi_0. \quad (7)$$

Взяв внутренний интеграл в (7), получим:

$$\int_{R_1}^{R_2} \frac{t\sigma(t)}{r+t} K_1(k) dt = \pi\epsilon\Phi_0, \quad (8)$$

где $K_1(k)$ – полный эллиптический интеграл первого рода с модулем $k = 2\sqrt{rt}/(r+t)$.

Интегральное уравнение (8) представляет собой сингулярное уравнение Фредгольма первого рода, его рационально решать численно методом Крылова-Боголюбова, согласно которому интервал интегрирования разбивают на N элементарных участков, на которых искомая функция $\sigma(t)$ принимается постоянной и выносится за знак интеграла. В результате получим систему N линейных алгебраических уравнений относительно σ_j :

$$\sum_{i=1}^N \sigma_i \int_{t_i}^{t_{i+1}} \frac{t}{t+r_j} K_1\left(\frac{2\sqrt{r_j t}}{r_j+t}\right) dt = \pi\epsilon\Phi_0, j = 1, \dots, N. \quad (9)$$

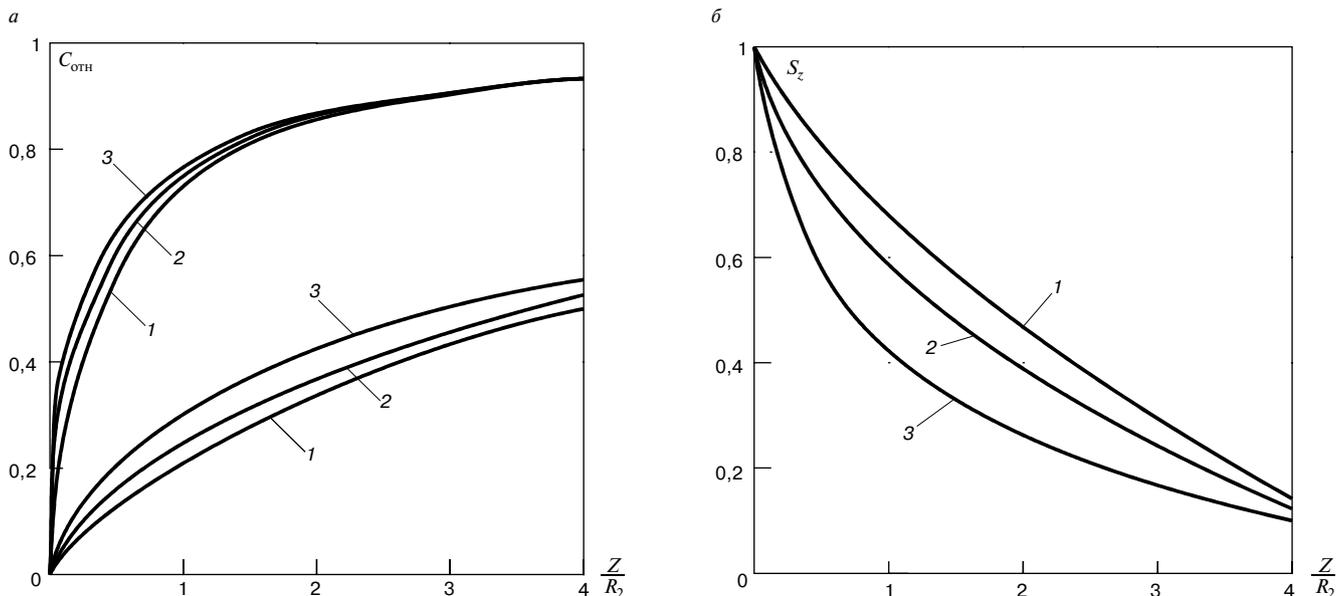


Рис. 3. Зависимости относительной емкости $C_{отн}$ (а) и послышной чувствительности S_z (б) преобразователя от глубины слоя материала: 1 - $R_1/R_2=0$; 2 - $R_1/R_2=0,7$; 3 - $R_1/R_2=0,9$

Определив из решения системы (9) распределение заряда по поверхности электрода преобразователя σ_i , найдем распределение потенциала и составляющих напряженности поля преобразователя в любой точке объема контролируемого материала. Из (1)–(3) получим:

$$\varphi(r, z) = \frac{1}{\pi \epsilon} \sum_{i=1}^N \sigma_i \int_{t_i}^{t_{i+1}} \frac{t K_1(k)}{\sqrt{z^2 + (r+t)^2}} dt; \quad (10)$$

$$E_z(r, z) = \frac{z}{\pi \epsilon} \sum_{i=1}^N \sigma_i \int_{t_i}^{t_{i+1}} \frac{t K_2(k) dt}{\sqrt{z^2 + (r+t)^2} [z^2 + (t-r)^2]}; \quad (11)$$

$$E_r(r, z) = \frac{1}{2\pi \epsilon r} \sum_{i=1}^N \sigma_i \int_{t_i}^{t_{i+1}} \frac{t}{\sqrt{z^2 + (r+t)^2}} \left[K_1(k) - K_2(k) \frac{z_2 + t^2 - r^2}{z^2 + (t-r)^2} \right] dt, \quad (12)$$

где модуль полных эллиптических интегралов $K_1(k)$ и $K_2(k)$ $k = \sqrt{\frac{4rt}{z^2 + (r+t)^2}}$.

Для количественной оценки изменения чувствительности преобразователей по глубине контролируемого материала введем параметр $S_z(z)$:

$$S_z(z) = \frac{\partial C_{отн}}{\partial z} = \frac{4\pi \epsilon}{\Phi_0^2 C_{отн}} \int_0^{\infty} E^2(r, z) r dr = \int_0^{\infty} E^2 r dr / \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} E^2 r dr, \quad (13)$$

который назовем послышной чувствительностью преобразователя.

Этот параметр определяет относительный вклад тонкого слоя материала $\Delta z = z_2 - z_1$, расположенного на глубине z от поверхности, на которую установлен датчик, параллельно ей (рис. 2, а).

Поскольку напряженность поля, создаваемого преобразователями рассматриваемого типа в материале, зависит не только от глубины в толще материала z , но изменяется также и в радиальном направлении $E = E(r, z)$, то следует ожидать изменения метрологических характеристик преобразователей и в направлении координаты r . Поэтому введем еще два параметра — $S_r(r, z)$ и $S_r(r)$, которые назовем объемной и радиальной чувствительностью соответственно:

R_1/R_2	$C_{отн}$		
	0,5	0,8	0,9
0 (диск)	0,4	1,4	2,8
0,5	0,35	1,35	2,73
0,7	0,28	1,25	2,67
0,95	0,25	1,18	2,6

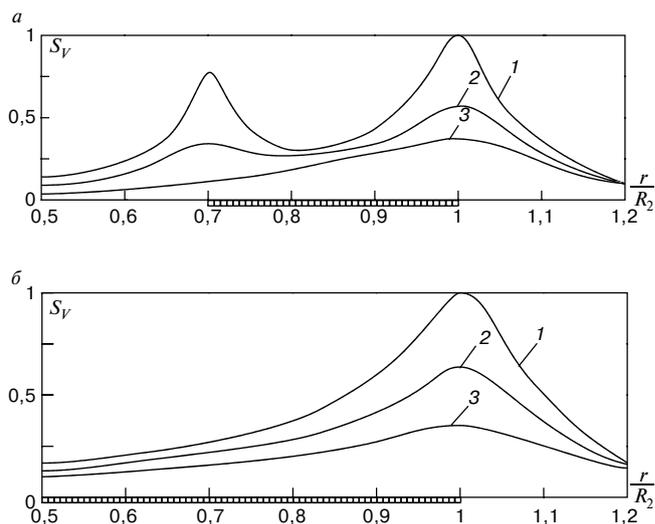


Рис. 4. Изменение объемной чувствительности преобразователей в плоскостях, параллельных плоскости электродов: а - кольцевой электрод; б - дисковый электрод; 1 - $z/R_2=0$; 2 - $z/R_2=0,035$; 3 - $z/R_2=0,1$

$$S_V(r, z) = \frac{\partial C_{отн}}{\partial V} = \frac{\epsilon}{\Phi_0^2 C_{отн}} E^2(r, z) = \frac{1}{4\pi} \frac{E^2(r, z)}{\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} E^2 r dr dz} \quad (14)$$

$S_V(r, z)$ определяет относительный вклад в результирующую (измеряемую) емкость преобразователя $C_{\chi} = C_{\infty}$ бесконечно малого объема материала $\Delta V \rightarrow 0$ с координатами r, z (рис. 2, б):

$$S_r(r) = \frac{\varepsilon}{\varphi_0^2 C_\infty} \int_0^{\infty} E^2(r, z) dz = \int_0^{\infty} E^2 dz / 4\pi \int_0^{\infty} E^2 r dr dz. \quad (15)$$

Параметр S_r , получаемый интегрированием объемно-чувствительности S_V по всем слоям Δz , определяет чувствительность преобразователя в радиальном направлении.

Введенные параметры $C_{отн}(z)$, $S_z(z)$, $S_r(r, z)$, $S_r(r)$ полностью характеризуют распределение относительных емкостей планарных преобразователей в объеме зоны контроля исследуемого материала и позволяют рассчитать вклад этих параметров в интегральную информацию о материале, получаемую от емкостных преобразователей этого типа.

Для автоматизации расчетов параметров преобразователей по приведенным формулам разработана специальная компьютерная программа, которая позволяет рассчитать параметры φ , E_z , E_r , $C_{отн}$, S_z , S_V , S_r преобразователей с кольцевыми электродами с любым соотношением внутреннего и внешнего радиусов $R_1/R_2=0-1$.

Вычисление потенциала $\varphi(r, z)$ и напряженности поля $E(r, z)$ проводится по формулам (10)–(12), при этом ввиду наличия нескольких особых (сингулярных) точек при $z=0$, $r=0$ и $r=t$ с целью устранения сингулярности в этих точках в программе предусмотрен анализ решения, основанный на разложении в ряд указанных выражений. Для вычисления эллиптических интегралов используются аппроксимации, полученные с учетом [7, 8].

На рис. 3, а приведены зависимости относительных послонных емкостей преобразователей с электродом в виде диска ($R_1/R_2=0$, кривая 1) и кольца с отношением внутреннего и внешнего радиусов $R_1/R_2=0,7$ и $0,9$ (кривые 2 и 3 соответственно) от относительной глубины в слое материала z/R_2 . Начальные участки кривых показаны в увеличенном в десять раз масштабе (нижняя группа кривых).

Из этих зависимостей следует, что быстрый рост $C_{отн}(z)$ в поверхностном слое материала, где $z \ll R_2$, по мере увеличения глубины z/R_2 замедляется и начиная с глубины, приблизительно равной внешнему диаметру электрода ($z \approx 2R_2$), вклад более глубоких слоев материала в измеряемую емкость преобразователя практически неощутим.

На рис. 3, б приведены зависимости послонной чувствительности $S_z(z)$ тех же преобразователей. Сравнение этих зависимостей для преобразователей разных конструкций позволяет сделать вывод, что при одинаковом внешнем диаметре электродов большей глубиной зоны контроля (ГЗК) обладает датчик с дисковым электродом ($R_1/R_2=0$), а для кольцевого электрода ГЗК уменьшается по мере приближения отношения радиусов R_1/R_2 к единице.

Из зависимостей $C_{отн}(z)$ можно найти глубину зоны контроля для преобразователей разных конструкций (с разным отношением R_1/R_2), определяя ее как относительную глубину z/R_2 , для которой относительная емкость преобразователя составляет определенную долю от полной. В таблице приведены значения ГЗК для преобразователей с $R_1/R_2=0$ (диск); 0,5; 0,7 и 0,95 по уровню относительной емкости $C_{отн}=0,5; 0,8$ и 0,9.

На рис. 4 приведены зависимости объемной чувствительности $S_V(r, z)$ для преобразователей с кольцевым и дисковым электродом. Зависимости даны для трех плоскостей, параллельных поверхности материала и отстоящих от нее на расстояние соответственно $z/R_2=0; 0,035$ и $0,1$. Из них следует, что у краев электродов (при $r=R_1$ и $r=R_2$) наблюдаются резкие всплески S_V , однако этот эффект замечен только при $z/R_2=0$, т. е. непосредственно на поверхности материала, и уже при $z/R_2 \geq 0,1$ становится малозаметным.

Аналитически решена задача моделирования электрического поля емкостного преобразователя планарной конструкции в трехмерном пространстве, получены зависимости для количественной оценки послонной чувствительности и вклада отдельных слоев материала в результаты измерений, разработана компьютерная программа для расчетов.

Список литературы

1. Пастушков П.П., Павленко Н.В., Коркина Е.В. Использование расчетного определения эксплуатационной влажности теплоизоляционных материалов // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 4 (60). С. 168–172.
2. Гагарин В.Г., Пастушков П.П., Реутова Н.А. К вопросу о назначении расчетной влажности строительных материалов по изотерме сорбции // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 4 (60). С. 152–155.
3. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Определение расчетной влажности строительных материалов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 8. С. 41–44.
4. Ройфе В.С. Экспериментальные исследования влажностного состояния строительных конструкций // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. Т. 2. С. 104–108.
5. Ройфе В.С. Экспресс-методика комплексного неразрушающего контроля теплотехнического состояния ограждающих конструкций зданий // *Жилищное строительство*. 2011. № 1. С. 21–24.
6. Ройфе В.С. Некоторые проблемы определения влажности материалов ограждающих конструкций зданий // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 23–25.
7. Цимринг Ш.Е. Специальные функции. М.: Радио и связь, 1983. 119 с.
8. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. М.: Наука, 1973. 228 с.

References

1. Pastushkov P.P., Pavlenko N.V., Korkina E.V. Use of settlement determination of operational humidity of heat-insulating materials. *Stroitel'stvo i rekonstrukcija*. 2015. No. 4 (60), pp. 168–172. (In Russian).
2. Gagarin V.G., Pastushkov P.P., Reutova N.A. To a question of purpose of settlement humidity of construction materials on a sorption isotherm. *Stroitel'stvo i rekonstrukcija*. 2015. No. 4 (60), pp. 152–155. (In Russian).
3. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Determination of settlement humidity of construction materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 8, pp. 41–44. (In Russian).
4. Royfe V.S. Pilot studies of a moist condition of building constructions. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3. Vol. 2, pp. 104–108. (In Russian).
5. Royfe V.S. Express-methods of complex nondestructive testing of heat engineering conditions of buildings' enclosing structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 1, pp. 21–24. (In Russian).
6. Royfe V.S. Some problems of determining the moisture content of enclosing structures materials of buildings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2015. No. 6, pp. 23–35. (In Russian).
7. Tsimring Sh.E. Special'nye funkcii [Special functions]. Moscow: Radio i svyaz'. 1983. 119 p.
8. Dvait G.B. Tablicy integralov i drugie matematicheskie formuly. [Tables of integrals and other mathematical formulas]. Moscow: Nauka. 1973. 228 p.

УДК 692.232

В.Н. КУПРИЯНОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН (kuprivan@kgasu.ru),
А.С. ПЕТРОВ, инженер-архитектор (ortemk@me.com)

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

Влажностное состояние ограждающих конструкций с учетом переменного значения паропроницаемости материалов

Теплофизические качества и долговечность ограждающих конструкций взаимосвязаны с их температурно-влажностным режимом эксплуатации и влажностью используемых материалов. Парообразная влага, проходящая через ограждение, может увлажнять ее материальные слои за счет процессов сорбции и конденсации. Инженерные методы для расчета влажностного состояния ограждения используют постоянный коэффициент паропроницаемости, однако многочисленные исследования показали его существенную зависимость от влажности материалов. Принимая во внимание, что в сечении ограждающей конструкции существует градиент относительной влажности воздуха, можно предположить, что значения паропроницаемости материальных слоев не будут постоянны и их следует учитывать при прогнозировании влажностного состояния. Проведенное исследование доказывает необходимость учета переменного значения коэффициента паропроницаемости на этапе конструирования наружных ограждающих конструкций. Показано, что учет переменного значения паропроницаемости существенно влияет на количественную оценку влажностного состояния конструкции, а именно на период влагонакопления и расчетное количество проходящей через конструкцию влаги.

Ключевые слова: паропроницаемость, ограждающие конструкции, увлажнение, сорбционная влажность.

V.N. KUPRIYANOV, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding member of RAACS (kuprivan@kgasu.ru),
A.S. PETROV, Engineer-architect (ortemk@me.com)
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

Moisture Condition of Enclosing Structures with Due Regard for Variable Value of Vapor Permeability of Materials

Thermal-physical properties and durability of enveloping structures are interconnected with their temperature-moisture conditions of operation and the humidity of materials used. The vaporous moisture passing through the enclosing structure can humidify its material layers due to the processes of sorption and condensation. Engineering methods for calculation of the humidity conditions use the constant coefficient of vapor permeability, but numerous studies show its significant dependence on the humidity of materials. Taking into consideration that in the cross-section of the enclosing structure, a gradient of relative air humidity exists, it is possible to assume that the values of vapor permeability of material layers will not be permanent and they must be taken into account when forecasting the moisture condition. The conducted study proves the need for accounting of variable values of the vapor permeability coefficient at the stage of designing external enveloping structures. It is shown that the accounting of the variable value of vapor permeability significantly influences on the quantitative assessment of the humidity condition of the structure, for the period of moisture accumulation and calculated quantity of moisture passing through the structure particularly.

Keywords: vapor permeability, enclosing structures, humidification, sorption humidity.

Оптимальное влажностное состояние ограждающих конструкций должно обеспечиваться предотвращением накопления влаги в конструкции за годовой период эксплуатации. Инструментами регулирования влажностного состояния наружных стен на этапе проектирования являются: выбор типа конструкции и подбор материалов с необходимыми теплофизическими характеристиками. Определяющей характеристикой материалов при обеспечении оптимального влажностного состояния ограждающей конструкции является коэффициент их паропроницаемости. Исследования ученых [1–5] и других показывают, что паропроницаемость материалов зависит от конкретных температурно-влажностных условий. В качестве примера на рис. 1 приведены экспериментальные зависимости коэффициентов паропроницаемости от относительной влажности воздуха в материале. Можно видеть, что паропроницаемость материалов возрастает с увеличением их влажности в сорбционной зоне увлажнения.

Однако отсутствие систематических исследований, посвященных характеристикам паропроницаемости ограждающих конструкций при эксплуатационных условиях, не позволили теоретически обосновать данную закономерность и учитывать ее в инженерных методах расчета влажностного состояния ограждений.

В существующих инженерных методах расчета влажностного состояния ограждающих конструкций коэффициент паропроницаемости является констан-

той вне зависимости от температурно-влажностных условий эксплуатации. Таким образом, возникает необходимость в создании экспериментального метода определения паропроницаемости материалов при различных эксплуатационных воздействиях и расчетного метода для определения влажностного состояния ограждающих конструкций при эксплуатационных воздействиях.

Для экспериментальных исследований паропроницаемости материалов при различных эксплуатационных воздействиях была создана лабораторная установка, которая обеспечивает поддержание градиента температуры по сечению образца, различной относительной влажности воздуха и скорости воздушных потоков у поверхности образца [6].

Исследование паропроницаемости материалов при различных значениях относительной влажности воздуха проводилось согласно ГОСТ 25898–83 с той разницей, что образец материала находился в различных влажностных условиях. Каждый образец помещался между средами с различной относительной влажностью воздуха (20; 35; 50 и 80% при температуре 20°C) до достижения стационарного состояния. Измерения проводились весовым методом с последующим расчетом коэффициента паропроницаемости μ (рис. 2). Можно видеть, что паропроницаемость материалов в исследуемом диапазоне относительной влажности воздуха возрастает практически линейно.

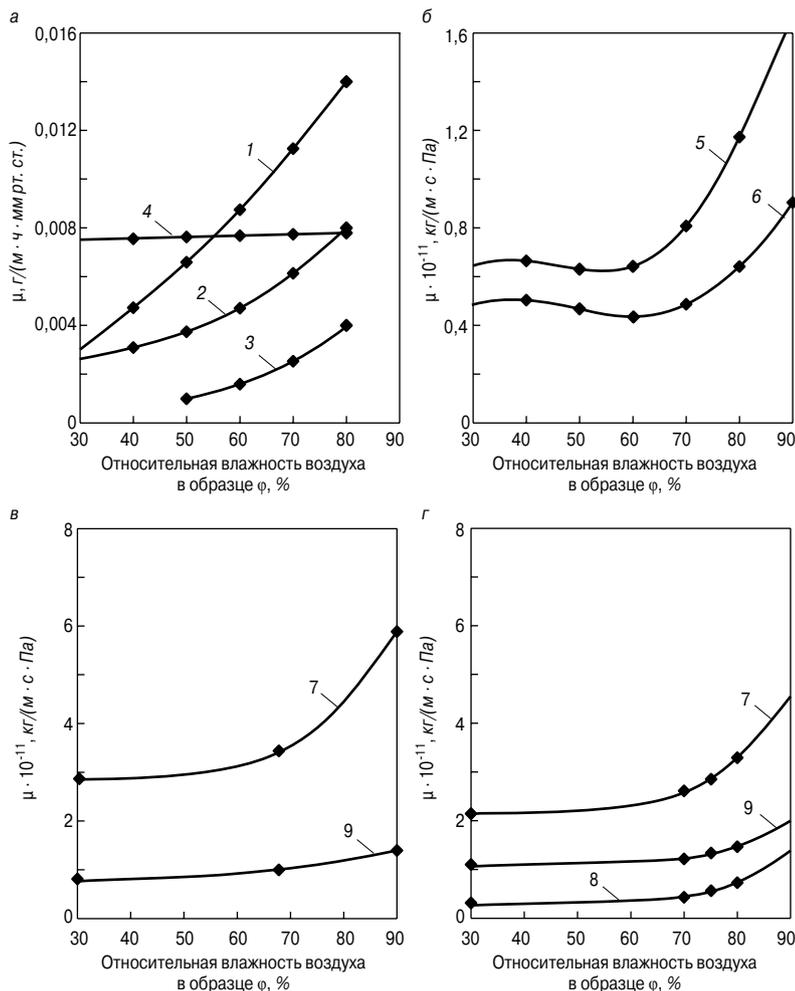


Рис. 1. Экспериментальные зависимости коэффициента паропроницаемости материалов μ от относительной влажности воздуха в образце φ , % по различным источникам: а – по данным Иогансона и Эденхольма; б – по данным Э.Э. Монствиласа; в – по данным Chi Feng; г – по данным McLean R.C и Galbraith G.H; 1 – известковый раствор; 2 – цементный раствор; 3 – плотный бетон; 4 – минеральная вата; 5 – керамзито-перлитобетон $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$; 6 – керамзитобетон $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$; 7 – ячеистый бетон $\rho = 490 \text{ кг/м}^3$; 8 – ДСП; 9 – кирпичная кладка

Аналогичные исследования паропроницаемости в неизотермических условиях позволили установить незначительное влияние температуры на паропроницаемость материалов, что позволило обосновать допущение о неучете температуры при определении характеристик паропроницаемости материалов [7].

На основе экспериментально выявленной закономерности паропроницаемости от относительной влажности воздуха в материале создан метод определения паропроницаемости многослойных ограждающих конструкций при различных температурно-влажностных условиях эксплуатации.

Метод определения паропроницаемости основывается на математическом методе простых итераций и заключается в последовательном пересчете значений паропроницаемости по значениям относительной влажности воздуха в сечении ограждающей конструкции до обнаружения сходимости с заданной погрешностью. Метод можно разбить на три этапа:

- расчет относительной влажности воздуха в слоях многослойной конструкции по приближенным значениям паропроницаемости;
- определение паропроницаемости материалов по найденным относительным влажностям с использованием экспериментально выявленной закономерности;
- перерасчет относительной влажности и паропроницаемости до обнаружения сходимости с заданной погрешностью.

На примере Казани по разработанной методике был выполнен расчет влажностного состояния основных типов конструкций с учетом переменного значения коэффициента паропроницаемости μ^* и при постоянном значении μ : однослойных, двухслойных с наружным теплоизоляционным слоем, двухслойных с внутренним теплоизоляционным слоем, трехслойных с теплоизоляционным слоем посередине. Используемые материалы: кладка из силикатного кирпича; ячеистый бетон ($\rho = 500 \text{ кг/м}^3$); цементно-песчаный раствор; минеральная вата; пенополистирол.

Определены:

- температура начала конденсации $t_{\text{нк}}$ в конструкциях, соответствующая температуре наружного воздуха, при которой в данных конструкциях возникает плоскость конденсации согласно методу [8];
- период влагонакопления T , сут;
- количество конденсирующейся влаги за единицу времени по зависимости:

$$G_K = G_1 - G_2 = \frac{e_v - E_1}{R_{\Pi 1}} - \frac{E_2 - e_n}{R_{\Pi 2}}, \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{ч)}, \quad (1)$$

где G_1 и G_2 , $R_{\Pi 1}$ и $R_{\Pi 2}$ – плотность диффузионных потоков и сопротивление паропроницаемости части конструкции до и после зоны конденсации соответственно; e_v и e_n – среднемесячные внутреннее и наружное парциальные давления воздуха; E_1 – максимальное парциальное давление на границе зоны конденсации со стороны внутренней поверхности ограждения; E_2 – то же со стороны наружной поверхности ограждения;

- количество конденсата за период влагонакопления по формуле:

$$g = G_K \cdot T, \text{ мг/м}^2. \quad (2)$$

Тип конструкции	Температура начала конденсации $t_{\text{нк}}$, °С		Период влагонакопления T , сут		G_K , мг/(м ² ·ч)		g , кг/м ²	
	μ^*	μ	μ^*	μ	μ^*	μ	μ^*	μ
1 Ячеистый бетон (540 мм) + минеральная вата (100 мм) + штукатурка (20 мм)	-2,2	-0,7	80	90	57,62	90,17	0,11	0,19
2 Ячеистый бетон (540 мм) + пенополистирол (100 мм) + штукатурка (20 мм)	-4,8	-4	75	75	64,57	67,77	0,116	0,122
3 Кладка (380 мм) + минеральная вата (100 мм) + кладка (120 мм)	-4,19	1,76	75	135	9,05	56,9	0,016	0,18
4 Кладка (380 мм) + пенополистирол (100 мм) + кладка (120 мм)	-5,7	0,06	60	105	11,25	22,57	0,016	0,06

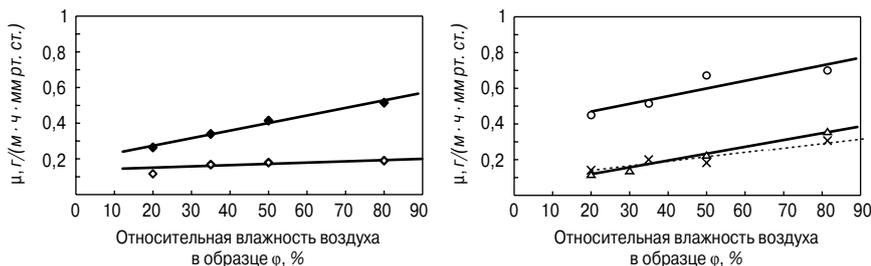


Рис. 2. Зависимость коэффициента паропроходимости μ , материала от средней относительной влажности воздуха в образце ϕ , %: \blacklozenge – минеральная вата; \circ – пенополистирол; \diamond – ячеистый бетон; \times – силикатный кирпич; \triangle – керамический кирпич

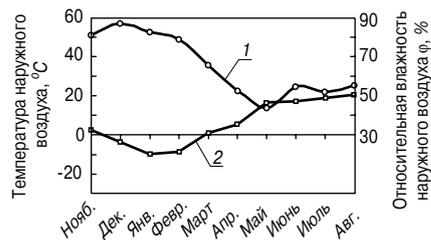


Рис. 3. Ход среднемесячных значений температуры и относительной влажности наружного воздуха для г. Казани: 1 – среднемесячное значение температуры наружного воздуха, °C; 2 – среднемесячное значение относительной влажности наружного воздуха, %

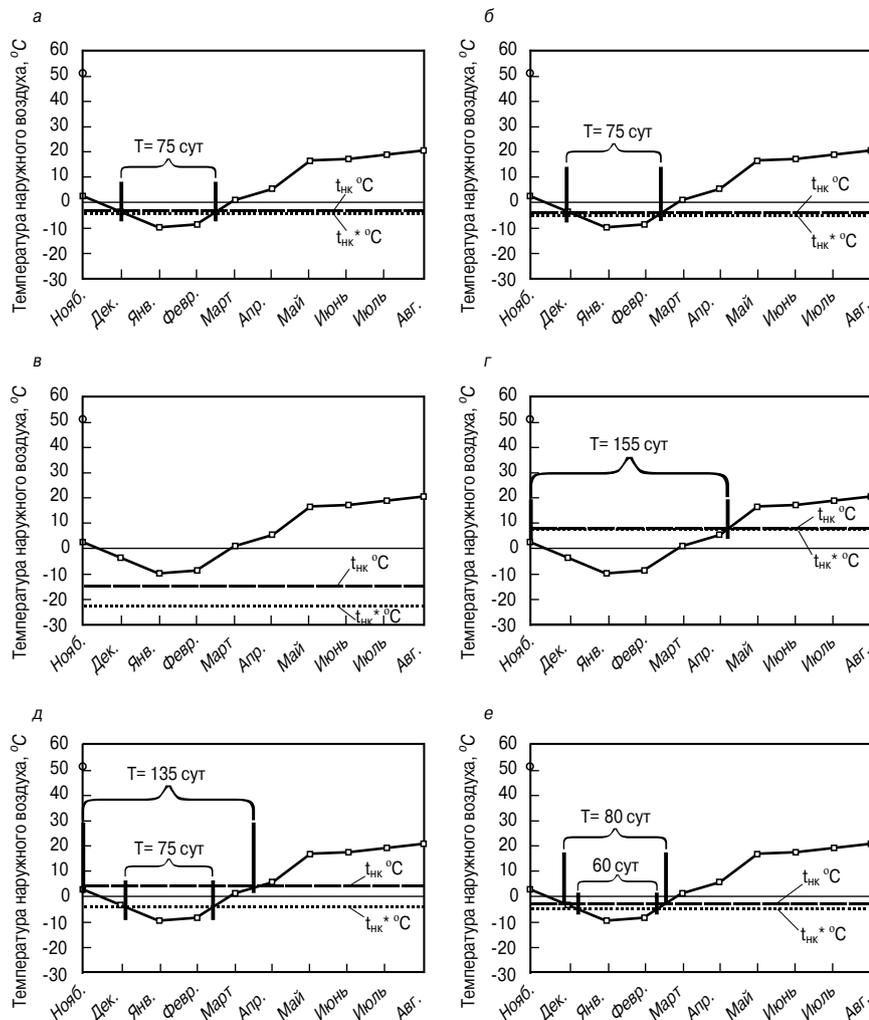


Рис. 4. Календарная продолжительность увлажнения различных типов конструкции: а – ячеистый бетон (640 мм) + штукатурка (20 мм); б – ячеистый бетон (540 мм) + пенополистирол (100 мм) + штукатурка (20 мм); в – кладка (540 мм) + минеральная вата (100 мм) + штукатурка (20 мм); г – минеральная вата (100 мм) + кладка (540 мм); д – кладка (380 мм) + минеральная вата (100 мм) + кладка (120 мм); е – пенополистирол (100 мм) + ячеистый бетон (540 мм) + штукатурка (20 мм)

В качестве климатических условий использовались значения температуры и относительной влажности наружного воздуха, фиксируемых в ходе натурных испытаний влажностного состояния реального ограждения [9, 10]. Ход температуры наружного воздуха отображен на рис. 3.

Совмещение графика среднемесячных значений температуры наружного воздуха со значениями температуры начала конденсации каждого типа конструкций позволило выявить календарную продолжительность их увлажнения (рис. 4). Установлено, что продолжительность увлажнения конструкций значительно отличается и может варьироваться в диапазоне от 40 до 155 сут.

Также в некоторых типах конструкций можно видеть влияние переменного значения паропроходимости на температуру начала конденсации и продолжительность увлажнения соответственно.

Так, в конструкциях в, д и е температура начала конденсации с учетом переменного значения коэффициента паропроходимости μ^* ($t_{нк}^*$) расположена ниже температуры начала конденсации при постоянных значениях коэффициента паропроходимости μ ($t_{нк}$). Наиболее существенное влияние переменного значения паропроходимости μ^* на влажностное состояние конструкций выявлено в двух типах конструкций – двуслойных с наружным теплоизоляционным слоем и трехслойных с теплоизоляционным слоем посередине. Характеристики влажностного состояния некоторых многослойных ограждений с учетом переменного значения паропроходимости μ^* и при постоянном μ в условиях эксплуатации г. Казани приведены в таблице.

Можно видеть, что учет переменного значения паропроходимости существенно влияет как на количественную оценку влагонакопления в конструкции (значения G_K и g), так и на ее условия эксплуатации, т. е. температуры начала конденсации и календарного периода влагонакопления. Анализ этих типов конструкций позволил выявить ярко выраженные низкие значения относительной влажности воздуха внутреннего слоя по сравнению с остальными типами конструкций. Расчетная средняя относительная влажность воздуха вну-

треннего слоя трехслойной конструкции в период влагонакопления не превышает 45% (рис. 5, а) и 55% – в случае двуслойной конструкции (рис. 5, б).

Согласно экспериментальным данным зависимости паропроходимости от относительной влажности воздуха в материале, низкие значения влажности соответствуют низким значениям паропроходимости (рис. 2). Следовательно, пониженные значения влажности воздуха в данных типах конструкций приводят к существенному снижению их общей паропроходимости, что и приводит к снижению температуры начала конденсации, периода влагонакопления и количества конденсирующейся влаги.

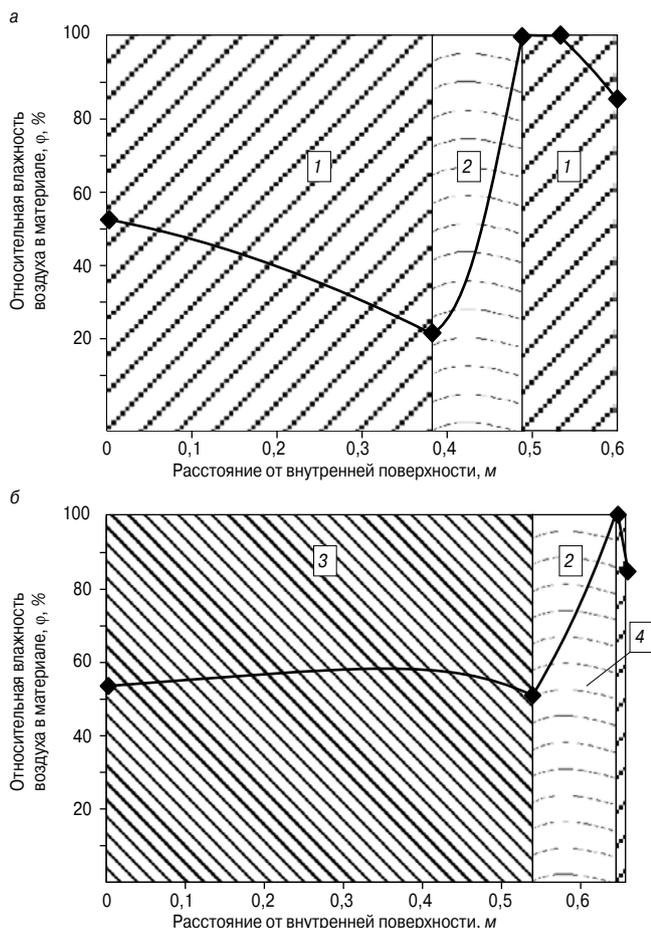


Рис. 5. Распределение относительной влажности воздуха по сечению конструкции: а – трехслойная конструкция; б – двухслойная конструкция; 1 – кирпичная кладка; 2 – минеральная вата; 3 – ячеистый бетон; 4 – штукатурка

Следует отметить, что неучет переменного значения паропроницаемости может привести к противоположным результатам прогнозирования количества конденсирующейся влаги в ограждении. Так, без учета переменного значения паропроницаемости замена минеральной ваты в трехслойной конструкции на пенополистирол (см. п. 3 и 4 таблицы, значения G_K) приведет к существенному снижению количества конденсата с 56,9 до 22,57 мг/(м²·ч). С учетом переменного значения паропроницаемости данная замена приведет не к уменьшению, а увеличению количества конденсируемой влаги с 9,05 до 11,25 мг/(м²·ч). Аналогичная закономерность прослеживается и в случае двухслойных конструкций (п. 1 и 2 таблицы).

Таким образом, проведенное исследование доказывает необходимость учета переменного значения коэффициента паропроницаемости на этапе проектирования ограждающих конструкций.

Список литературы

1. Chi Feng, Qinglin Meng, Ya Feng, Hans Janssen. Influence of pre-conditioning methods on the cup test results // *6th International Building Physics Conference*. 2015. Vol. 78, pp. 1383–1388.
2. Galbraith G.H., McLean R.C., Guo J.S. Moisture permeability data presented as a mathematical function applicable to heat and moisture transport models // *BS'97*. 1997. Vol. 1.
3. Эпштейн А.С. Механизм движения влаги в некоторых строительных материалах при перепаде темпе-

ратур. Киев: Издат. Академии архитектуры Украинской ССР, 1953. 16 с.

4. Вайскаускас В.С. Исследование влагопроницаемости сорбционно-влажных капиллярно-пористых строительных материалов. Дис... канд. техн. наук. Каунас, 1975.
5. Монствилас Э.Э. Усовершенствование расчета влажностного состояния ограждения при нестационарных условиях влагопереноса. Дис... канд. техн. наук. Москва, 1982. 232 с.
6. Патент РФ на полезную модель 128718. Устройство для измерения паропроницаемости строительных материалов / Куприянов В.Н., Петров А.С. Заявл. 2012155972/28, 21.12.2012. Оpubл. 27.05.2013.
7. Петров А.С., Куприянов В.Н. Влияние температурно-влажностных условий эксплуатации строительных материалов на их паропроницаемость // *Известия КГАСУ*. 2015. № 1 (31). С. 92–98.
8. Куприянов В.Н., Сафин И.Ш. Количественные параметры конденсации пароводяной влаги в наружных стенах // *Известия КГАСУ*. 2013. № 4 (26). С. 121–128.
9. Куприянов В.Н., Иванцов А.И. Конденсация пароводяной влаги в наружных стенах при суточных колебаниях температуры наружного воздуха // *Приволжский научный журнал*. 2013. № 2. С. 17–22.
10. Иванцов А.И., Куприянов В.Н. Режим эксплуатации многослойных стеновых ограждающих конструкций как основа прогнозирования их срока службы // *Известия КГАСУ*. 2014. № 3 (29). С. 32–40.

References

1. Chi Feng, Qinglin Meng, Ya Feng, Hans Janssen. Influence of pre-conditioning methods on the cup test results. *6th International Building Physics Conference*. 2015. Vol. 78, pp. 1383–1388.
2. Galbraith G.H., McLean R.C., Guo J.S. Moisture permeability data presented as a mathematical function applicable to heat and moisture transport models. *BS'97*. 1997. Vol. 1.
3. Jepshtejn A.S. Mekhanizm dvizheniya vlagi v nekotorykh stroitel'nykh materialakh pri perepade temperatur [The mechanism of moisture movement in some building materials at difference of temperatures]. Kiev: Izdat. Akademii arhitektury Ukrainskoj SSR, 1953. 16 p.
4. Vajcekauskas V.S. Waterpermeability of sorption-moist capillary-porous building materials research. Cand. Diss. (Engineering). Kaunas. 1975. (In Russian).
5. Monstvilas Je.Je. Improving calculating of fence moisture condition at unsteady conditions of moisture transfer. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 1982. 232 p. (In Russian).
6. Patent RF useful model patent 128718. Ustroistvo dlya izmereniya paropronitsaemosti stroitel'nykh materialov [Water vapor transmission rate test system]. Kupriyanov V.N., Petrov A.S. Declared 2012155972/28, 21.12.2012. Published 27.05.2013. (In Russian).
7. Petrov A.S., Kupriyanov V.N. Influence of temperature and humidity conditions for the operation of construction materials on their vapor permeability. *Izvestiya KGASU*. 2015. No. 1 (31), pp. 92–98. (In Russian).
8. Kupriyanov V.N., Safin I.Sh. Quantitative parameters of vapor condensation in exterior walls. *Izvestiya KGASU*. 2013. No. 4 (26), pp. 121–128. (In Russian).
9. Kupriyanov V.N., Ivantsov A.I. Condensation of water vapor in the external walls with daily fluctuations of the outside temperature. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal*. 2013. No. 2, pp. 17–22. (In Russian).
10. Ivantsov A.I., Kupriyanov V.N. Operating mode of multilayer wall enclosing structures as a basis for predicting their life. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 3 (29), pp. 32–40. (In Russian).

УДК 691.32:674.8

Н.В. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук (nata-kus@mail.ru),
Д.А. ЯКОВЛЕВ, студент (redaktir@gmail.com),
А.Д. СЕЛЕЗНЕВ, студент (selezen95@yandex.ru)

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

Проектирование составов смесей цементных теплоизоляционных материалов с использованием древесных отходов

Рассматривается возможность производства цементных теплоизоляционных материалов с использованием древесных отходов с заданными физико-механическими свойствами. Для этого исследуется влияние соотношений компонентов смеси, таких как отношения опилки/цемент, песок/цемент, известь/цемент и вода/цемент, на коэффициент теплопроводности, прочность и плотность материала. Исследования проводились согласно плану, дающему возможность определения соотношений компонентов методом интерполяции. Приведены графики зависимости коэффициента теплопроводности и прочности от соотношений опилки/цемент и вода/цемент при неизменных отношениях песок/цемент и известь/цемент. Определены возможные составы смесей для изготовления цементных теплоизоляционных материалов с заданными значениями коэффициентов теплопроводности. По результатам исследования представлены возможные области применения данных цементных теплоизоляционных материалов с использованием древесных отходов.

Ключевые слова: цементные теплоизоляционные материалы, древесно-цементные композиты, отходы деревообработки, коэффициент теплопроводности.

N.V. KUZNETSOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (nata-kus@mail.ru),
D.A. YAKOVLEV, student (redaktir@gmail.com), A.D. SELEZNYOV, student (selezen95@yandex.ru)
Tambov State Technical University (106 Sovetskaya Street, Tambov, 392000, Russian Federation)

Design of Mixes of Cement Heat Insulation Materials with the Use of Wood Waste

The possibility of production of cement heat insulation materials using wood waste with specified physical-mechanical properties is considered. For this purpose, the influence of mix component ratio, such as sawdust/cement, sand/cement, lime/cement, and water/cement on the heat conduction coefficient, strength, and density of material are studied. Studies are conducted according to the plan which makes it possible to define the component ratio by the interpolation method. Graphs of the dependence of the heat conduction coefficient and strength on sawdust/cement and water/cement ratios at unchanged sand/cement and lime/cement ratios are presented. The possible compositions of mixes for producing cement heat insulation materials with specified values of heat conduction coefficients were determined. On the basis of study results, possible fields of application of these cement heat insulation materials with the use of wood waste are presented.

Keywords: cement heat insulation materials, wood-cement composites, wood processing, heat conduction coefficient.

Объем заготовки древесины в России около 200 млн м³/г. При этом отходы от обработки древесины — это примерно 32% исходного материала [1]. Основную их часть составляют опилки, стружка и щепа. При этом большая часть хранится на полигонах или сжигается [2], что является экономически невыгодным как для предприятий, связанных с деревообработкой, так и для народного хозяйства. До 21% отходов деревообработки используются в производстве строительных материалов [1], таких как арболит, ЦСП, ДСП [3]. При этом вещества, которые используются при производстве данных материалов, такие как фенолформальдегидные смолы, снижают экологичность, а порой и представляют опасность для здоровья человека [4].

В связи со всем вышесказанным в работе был рассмотрен вариант использования древесной стружки как компонента цементных композиционных теплоизоляционных материалов. Предполагается получить относительно дешевый, экологичный, высококачественный материал. Его главными преимуществами являются доступность компонентов и несложный технологический процесс производства в сравнении с другими теплоизоляционными материалами.

Целью исследования являлся подбор соотношений компонентов смесей цементных теплоизоляционных материалов с использованием древесной стружки. В качестве целевой функции, рассматриваемой в исследовании, был принят коэффициент теплопроводности.

Процесс получения цементных теплоизоляционных материалов с заданными свойствами условно можно поделить на два главных этапа: определение закономерностей влияния различных факторов на физико-механические свойства материала и определение состава и технологии производства материала с необходимыми свойствами.

В качестве связующего при проектировании составов смесей цементных теплоизоляционных материалов использовался портландцемент марки М400, соответствующий ГОСТ 10178–85. Заполнителем служил мелкий кварцевый песок (ГОСТ 10832–91) и отходы деревообработки — еловая стружка [5, 6]. Также в качестве добавки для нейтрализации простейших сахаров в древесине, таких как сахароза, глюкоза, применялась известь-пушонка (ГОСТ 9179–77). В связи с неоднородностью компонентов, входящих в состав смеси, традиционные методы смешивания не давали необходимого результата, поэтому компоненты подвергались диспергированию в шаровой вибровращательной мельнице периодического действия. Технологический режим перемешивания был определен при проведении предварительных исследований.

Процесс изменения физико-механических характеристик композиционного строительного материала протекает под действием различных факторов, характер влияния которых трудно поддается описанию. Применение планирования эксперимента при исследо-

Таблица 1

Интервалы варьирования факторов

Факторы	Диапазоны изменений факторов	
x_1	-1	0,25
	0	0,5
	+1	0,75
x_2	-1	1
	0	1,5
	+1	2
x_3	-1	0 %
	0	7,5 %
	+1	15 %
x_4	-1	2
	0	2,5
	+1	3

Таблица 2

План экспериментальных исследований

№ опыта	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	-1
9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1
12	+1	+1	-1	+1
13	-1	-1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1
15	-1	+1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1
17	-1	0	0	0
18	+1	0	0	0
19	0	-1	0	0
20	0	+1	0	0
21	0	0	-1	0
22	0	0	+1	0
23	0	0	0	-1
24	0	0	0	+1
25	0	0	0	0

вании физико-механических характеристик композиционного строительного материала предполагает целенаправленное управление ходом эксперимента, которое реализуется в условиях неполного представления о механизме изменения физико-механических характеристик в зависимости от ряда факторов. Такой подход дает возможность реализовать основной принцип планирования – получение требуемой точности математического описания при ограниченном количестве опытов.

Планирование эксперимента подразумевает рандомизацию и одновременное варьирование всеми факторами, что позволяет более точно оценить эффекты влияния факторов и их взаимодействий по сравнению с однофакторным (когда изменяется один фактор) экспериментом, причем увеличение количества факторов ведет к повышению точности оценок [7].

Логически продуманное построение исследования включает в себя выбор независимых переменных, области факторного пространства и математической модели описания рассматриваемого процесса.

На основании анализа предварительной информации выделены факторы, наиболее существенно влияющие на физико-механические характеристики цементного теплоизоляционного материала:

- x_1 – отношения опилки/цемент (О/Ц);
- x_2 – отношения песок/цемент (П/Ц);
- x_3 – доля содержания извести в цементе (И/Ц);
- x_4 – отношения вода/цемент (В/Ц).

При планировании эксперимента рассматривались следующие интервалы варьирования факторов (табл. 1)

Выбор количества уровней варьирования определялся криволинейным характером зависимости физико-механических характеристик цементного теплоизоляционного строительного материала от указанных факторов.

Выбор факторного пространства производился с учетом интерполяционной возможности построенной модели согласно следующему плану (табл. 2).

Предполагалось, что зависимость физико-механических характеристик цементных теплоизоляционных материалов с применением отходов деревообрабатывающей промышленности может быть описана приведенным полиномом неполного третьего порядка, коэффициенты которого зависят от значений уровней факторов (x_1, x_2, x_3, x_4).

Для эксперимента были изготовлены образцы с 25 разными составами. Количество образцов в эксперименте (готовились три образца-дублера) при испытании

на центральное сжатие, определении плотности и теплопроводности составило 75 кубов с ребром 100×100×100 мм.

По результатам испытаний прочности при сжатии, определении плотности и теплопроводности для каждого свойства была получена математическая модель, описывающая ее зависимость от всех вышеописанных факторов.

Для наглядности полученных данных были построены поверхности при двух фиксированных значениях факторов и двух изменяющихся (рис. 1, 2).

По графикам можно проследить следующие закономерности: прочность материала возрастает от 0,4 до 2,8 МПа при уменьшении отношения О/Ц и увеличении В/Ц, так как введение древесных отходов в смесь повышает ее водопотребность и пористость [8]; коэффициент теплопроводности уменьшается с 0,38 до 0,19 Вт/(м·°С) при увеличении О/Ц и уменьшении В/Ц.

Анализируя полученный графический материал можно определить составы цементных теплоизоляционных материалов с заранее заданными физико-механическими характеристиками.

Метод определения состава материалов с заранее заданными физико-механическими характеристиками заключается в том, что на построенной поверхности выбирается линия с равными значениями функции отклика. Затем эту линию проецируют на плоскость аргументов, после чего возможно найти неизвестные факторы путем опускания перпендикуляров из интересующей нас точки на оси аргументов.

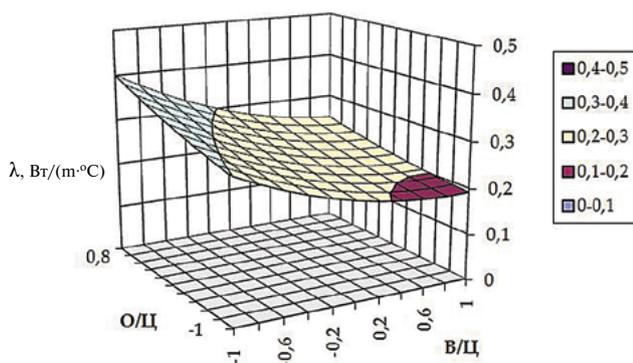


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности при изменении отношений О/Ц и В/Ц и П/Ц = 1,5 и И/Ц = 0%

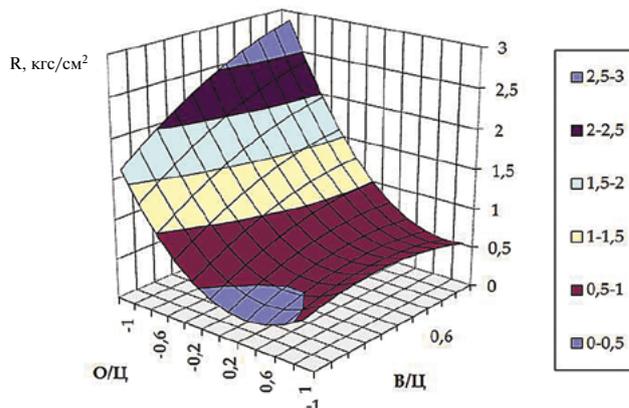


Рис. 2. Зависимость прочности от О/Ц и В/Ц при неизменных П/Ц = 1,5 и И/Ц = 0%

Таблица 3

Составы смесей цементных теплоизоляционных материалов с заданными характеристиками

Составы	№ состава	Соотношения компонентов				Характеристики	
		О/Ц	П/Ц	И/Ц	В/Ц	R, МПа	ρ, кг/м ³
λ=0,25 Вт/(м·°C)	1	0,25	1,8	1,5	2	1,1	1300
	2	0,25	1	6	2	0,8	1050
	3	0,5	1,6	0	2,6	0,9	1200
	4	0,5	1,9	7,5	2,4	0,4	1180
λ=0,3 Вт/(м·°C)	5	0,25	1,6	10,5	2	1	1270
	6	0,25	1,1	15	2	0,7	1120
	7	0,5	1,4	0	3	1,1	1060
	8	0,1	2	0	2,2	1,8	1520

Список литературы

1. Колесникова А.В. Анализ образования и использования древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса России // *Актуальные вопросы экономических наук*. 2013. № 33. С. 116–120.
2. Борзунова А.Г., Зиновьева И.С. Комплексная переработка древесного сырья. Утилизация древесных отходов // *Успехи современного естествознания*. 2012. № 4. С. 180–181.
3. Горностаева Е.Ю., Ласман И.А., Федоренко Е.А., Камоза Е.В. Древесно-цементные композиции с модифицированной структурой на макро-, микро- и наноуровнях // *Строительные материалы*. 2015. № 11. С. 13–17.
4. Леонович А.А., Войтова Т.Н. Повышение экологической безопасности древесно-стружечных плит // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2014. № 6. С. 120–129.
5. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. Л.: Стройиздат, 1990. 415 с.
6. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Проектирование составов бетонов с заданными свойствами. Ровно: Изд-во РГТУ, 1999. 197 с.
7. Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. Планирование эксперимента. Минск: Изд-во БГУ им. В.И. Ленина, 1982. 302 с.
8. Запруднов В.И., Санаев В.Г. Макроскопические свойства древесно-цементных композитов // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2012. № 6 (89). С. 168–171.

References

1. Kolesnikova A.V. Analysis of formation and use of wood waste at enterprises of timber industry complex of Russia. *Aktual'nye voprosy ekonomicheskikh nauk*. 2013. No. 33, pp. 116–120. (In Russian).
2. Borzunova A.G., Zinov'eva I.S. Complex processing of wood raw material. Disposal of waste wood. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2012. No. 4, pp. 180–181. (In Russian).
3. Gornostaeva E.Yu., Lasman I.A., Fedorenko E.A., Kamoza E.V. Wood-cement compositions with a modified structure at the macro-, micro- and nanoscale. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No.11, pp. 13–17. (In Russian).
4. Leonovich A.A., Voitova T.N. Increasing ecological safety chipboard. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*. 2014.No. 6, pp. 120–129. (In Russian).
5. Nanazashvili I.Kh. Stroitel'nye materialy iz drevesno-tsementnoi kompozitsii [Building materials made of wood-cement composition]. L.: Stroyizdat. 1990. 415 p.
6. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Proektirovanie sostavov betonov s zadannymi svoystvami [Design of concrete compositions with desired properties]. Rovno: izdatel'stvo RGTU. 1999. 197 p.
7. Krasovskii G.I., Filaretov G.F. Planirovanie eksperimenta [Planning experiment]. Minsk: BGU im. V.I. Lenina, 1982. 302p.
8. Zaprudnov V.I., Sanaev V.G. The macroscopic properties of wood-cement composites. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoi vestnik*. 2012. No. 6 (89), pp. 168–171. (In Russian).

УДК 691.115

В.А. ЕЗЕРСКИЙ¹, д-р техн. наук, профессор (wiz75micz@rambler.ru);
Н.В. КУЗНЕЦОВА², канд. техн. наук,
О.С. БАРИНОВА², магистрант (barinova.olia2015@yandex.ru)

¹ Белостокский технический университет (15-351, Польша, г. Белосток, ул. Вейская, 45а),

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

Модификация цементных смесей с использованием отходов производства цементно-стружечных плит

Анализируется возможность использования отходов производства цементно-стружечных плит (ЦСП) в качестве добавки в композиционных материалах. Для различных составов смесей, приготовленных в соответствии с планом эксперимента, исследованы прочность при сжатии и на изгиб, расход воды на затворение смеси и плотность образцов в зависимости от массовой доли компонентов в смеси. Построена математическая модель прочности при сжатии в зависимости от этих факторов. Определено соотношение компонентов смеси для базовой точки, выбранной с учетом максимальной возможности утилизации отходов и компенсации потери прочности материала с добавкой отходов ЦСП. Для практических целей, связанных с утилизацией отходов ЦСП и повышением свойств получаемых цементных композитов, получены оптимальные дозировки пластифицирующих добавок и водосмесового отношения.

Ключевые слова: ресурсосбережение, отходы производства, цементно-стружечные плиты, цементные композиты, физико-механические характеристики, модификация цементных смесей.

V.A. EZERSKIY¹, Doctor of Sciences (Engineering), professor (wiz75micz@rambler.ru); N.V. KUZNETSOVA², Candidate of Sciences (Engineering), O.S. BARINOVA², master student (barinova.olia2015@yandex.ru)

¹ Bialystok University of Technology (45A, Wiejska Street, 15-351, Bialystok, Poland)

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

Modification of Cement Mixtures Using Waste Cement-Bonded Particleboards

The possibility of using the waste production of cement-bonded wood parcel board wastes (CBPB wastes) as an additive in composite materials. For mixtures of various compositions prepared in accordance with the experimental plan investigated compressive strength and flexural strength, water consumption, and mixing the mixture density of the samples according to the factors of composite solid phase. A mathematical model of the compressive strength as a function of these factors are representant. Mixing ratio for the reference point selected with the maximum possible recycling of waste and com-pensate for the loss of material strength with the addition of CBPB wastes are defined. The optimal dosage and plasticizers water-mix relationship for practical purposes associated with the disposal of waste and an increase in CBPB wastes properties obtained cement composites are identified.

Keywords: resource conservation, waste production, cement-bonded wood parcel board wastes, cement composites, physical and mechanical properties, modification of cement mixtures.

Цементно-стружечные плиты (ЦСП) являются в настоящее время одним из востребованных строительных материалов. ЦСП нашли свое применение в каркасно-щитовом домостроении, для изготовления опалубки, как элементы перегородок, полов и перекрытий. В Тамбовской области годовой объем производства ЦСП превышает 50 тыс. м³/г [1].

В процессе изготовления ЦСП при резке кромок листов образуется большое количество отходов (до 15% от объема готовых изделий). Около 15% образующихся отходов подлежит вторичной переработке, но большая часть накапливается в значительных количествах, создавая проблемы хранения, складирования, перемещения и утилизации, что приводит к весомым материальным затратам.

Отходы производства ЦСП характеризуются различной дисперсностью: до 80% от общего количества отходов представляют собой древесно-цементный порошок с преобладающими размерами частиц 0,32 мм. Смесь для производства ЦСП включает в себя портландцемент (65%), древесную стружку (24%), воду (8,5%) и гидратационные добавки (2,5%) [2]. Исходя из того, что минеральный компонент (портландцемент) является преобладающим, а отходы ЦСП относятся к IV классу опасности (т. е. малоопасные вещества, не несущие вреда окружающей среде), можно предложить использование отходов ЦСП в качестве заполнителя к цементным композитам [3].

Экспериментально исследовались основные свойства цементных композиционных материалов с использованием отходов ЦСП: прочность на центральное сжатие и изгиб, расход воды для затворения сухой смеси всех компонентов до состояния равной подвижности и

плотность в зависимости от массовой доли в смеси цемента, песка и добавки отходов ЦСП.

Для изготовления образцов в качестве добавки отходов ЦСП использовался тонкодисперсный порошок отходов ЦСП ОАО «ТАМАК» [4]. Заполнитель – кварцевый песок с модулем крупности 1,8 согласно ГОСТ 8736–93 из местного месторождения (п. Красненьское Тамбовской области). Количество песка принималось от 0 до 75%. В качестве вяжущего использовался портландцемент М500 ОАО «Себряковцемент» (г. Михайловка). Количество воды принималось необходимым для обеспечения равноподвижности смеси. Затворенная смесь после формования уплотнялась на вибростол в течение 30 с. Спустя сутки образцы вынимались из форм и твердение продолжалось в камере при температуре 20±2°С и влажности воздуха 90±5% в течение 27 сут.

Для определения прочности были изготовлены образцы в форме балочек 40×40×160 мм по шесть образцов в каждой партии. Экспериментальное определение характеристик образцов выполнялось согласно методикам ГОСТ 10180–2012.

Эксперимент выполнялся в соответствии с планом типа «состав–свойство» для трех переменных, включающим N=7 опытов. В соответствии с этим планом массовые доли цемента z_1 , песка z_2 и отходов ЦСП z_3 изменяются в пределах 0; 0,333; 0,5; 1 [5]. Также должно выполняться условие:

$$z_1+z_2+z_3=1.$$

Так как при этом условии невозможно изготовление образцов с указанным соотношением, рассматривались лишь такие пределы изменения факторов, которые отвечали реальным составам смесей на базе цемента [6].

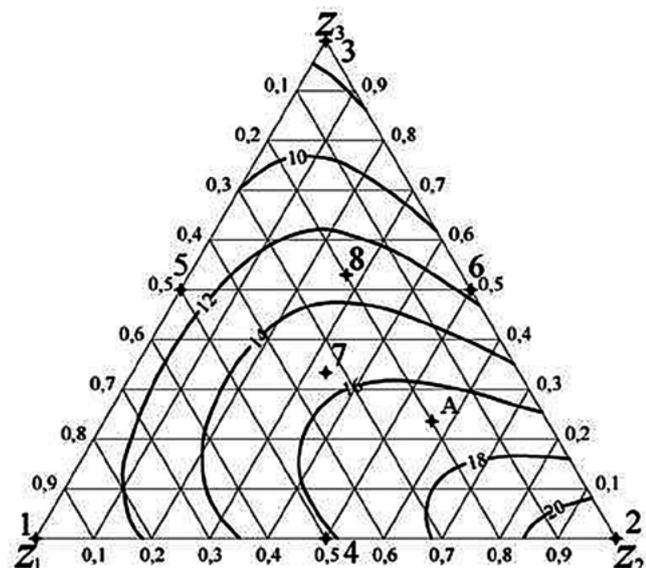


Рис. 1. Прочность на центральное сжатие бетонных образцов в зависимости от содержания составляющих в координатах псевдофакторов: цемент (z_1), песок (z_2), добавка отходов ЦСП (z_3)

Поэтому при реализации эксперимента была выбрана подобласть факторного пространства, охватывающая предпочтительные составы сложного вяжущего, которая характеризовалась следующими координатами вершин: $A_1(x_1=0,333; x_2=0,333; x_3=0,333)$; $A_2(x_1=0,25; x_2=0,75; x_3=0)$; $A_3(x_1=0,143; x_2=0; x_3=0,857)$.

Уровни изменения факторов z_1, z_2, z_3 и соответствующих им натуральных факторов x_1, x_2, x_3 представлены в табл. 1.

По результатам исследования была построена математическая модель для прочности на центральное сжатие: $\hat{y}_1 = -458,09x_1 + 33,95x_2 - 15,10x_3 + 592,68x_1x_2 + 701,99x_1x_3 - 272,56x_2x_3 + 1151,47x_1x_2x_3$.

Данная модель позволила исследуемую зависимость изобразить графически в виде изолиний на симплексе (рис. 1).

В вершине Z_2 при приготовлении смеси с соотношением компонентов цемент:песок = 1:3 без введения отходов ЦСП наблюдается наибольшая прочность бетонных образцов, которая составляет около 22 МПа. При введении добавки ЦСП во всех остальных точках показатели прочности оказались ниже, свидетельствуя о том, что данная добавка негативно сказывается на прочностных характеристиках бетонных образцов.

При увеличении содержания цемента и добавки ЦСП при одновременном снижении содержания песка наблюдается практически равномерное снижение прочности при сжатии с 22 до 10 МПа.

Также было замечено, что в результате замены части цемента и песка на отходы ЦСП прочность при центральном сжатии бетонных образцов колеблется на уровне 10–11 МПа, достигая наивысших значений около 11 МПа в середине отрезка z_1z_3 . Полная же замена песка отходами ЦСП дает наименьшую среди выявленных значений прочность образцов – около 7,5 МПа.

Для прямой, проходящей через точки 2, 7, 5, характерна наименьшая скорость снижения прочности при сжатии, особенно в окрестности точки 7, в которой примерно 50% песка заменено на отходы ЦСП (положительный эффект с учетом возможности утилизации отходов). Однако при этом выявлено снижение прочности при центральном сжатии образцов на 30% (отрицательный эффект с учетом снижения качества материала).

При использовании отходов ЦСП путем замены ими песка, прочностные характеристики материала будут значительно ниже, чем у материала без отходов. Вследствие этого для компенсации потери прочности

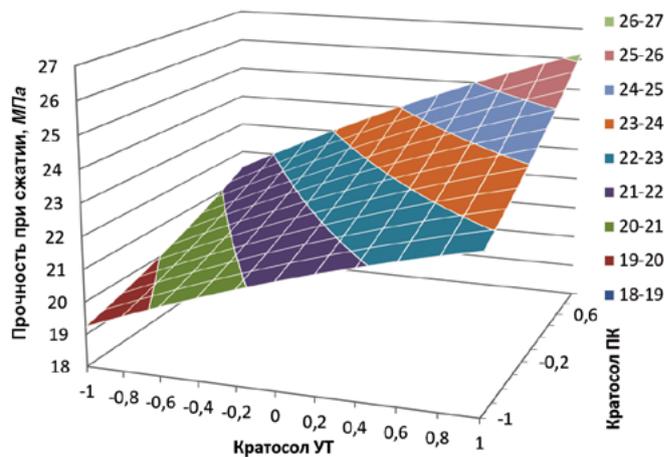


Рис. 2. Изменение прочности при сжатии в зависимости от количества добавок Кратосол ПК и Кратосол УТ. Водоцементное отношение (вода/сухая смесь) зафиксировано на уровне 0,3

материала с добавкой из отходов ЦСП следует модифицировать структуру цементной смеси с целью улучшения ее свойств и упрочнения структуры. В качестве базовой точки для дальнейших исследований по модификации цементного композита была выбрана точка А (рис. 1), которой соответствует следующий состав смеси: цемент – 0,237; песок – 0,422; отходы ЦСП – 0,341.

Содержащиеся в составе смеси частицы отходов ЦСП имеют большую удельную поверхность, что приводит к увеличению ее водопотребности [7]. Для снижения водосмесового отношения при сохранении заданной подвижности смеси требуется использование пластифицирующих добавок. В качестве таких добавок были приняты пластификатор Кратосол ПК и ускоритель твердения Кратосол УТ производства Тамбовского завода ОАО «Пигмент». Дозировка добавок принималась согласно рекомендациям производителя (0,08–0,3% в перерасчете на сухое вещество от массы вяжущего).

Для базовой точки А было выполнено исследование влияния добавок на основные свойства. Содержание добавки пластификатора Кратосол ПК принималось от 0 до 0,8% от массы вяжущего, ускорителя твердения (Кратосол УТ) – от 0 до 1%. Водосмесовое отношение (вода/сухая смесь) составляло от 0,18 до 0,3. Прочностные характеристики материалов с использованием модификаторов определялись по методике, приведенной выше.

Из рис. 2 видно, что прочность возрастает при увеличении содержания пластификатора и ускорителя твердения в составе смеси. Характер изменения прочности от этих двух факторов близок к линейному. Начальная прочность при сжатии (без применения добавок) со-

Таблица 1

План эксперимента и уровни изменения рассматриваемых факторов

№ точки	z_1	z_2	z_3	x_1	x_2	x_3
1	1	0	0	0,333	0,333	0,333
2	0	1	0	0,25	0,75	0
3	0	0	1	0,143	0	0,857
4	0,5	0,5	0	0,2915	0,5415	0,167
5	0,5	0	0,5	0,2385	0,1665	0,595
6	0	0,5	0,5	0,1965	0,375	0,4285
7	0,333	0,333	0,333	0,242	0,361	0,397
8*	0,2	0,35	0,45	0,219	0,329	0,452

ставляет 19,2 МПа, при введении только добавки Кратосол УТ (1% от массы вяжущего) прочность достигает 22,8 МПа, т. е. происходит ее возрастание примерно на 16%. Введение добавки Кратосол ПК (0,8% от массы вяжущего) повышает прочность материала до 21,5 МПа, что выше, чем у образцов без добавок, на 8%. Совместное же действие этих добавок (на максимальном уровне) приводит к значительному повышению прочности – до 28% по сравнению с образцами без добавок (26,18 МПа).

Список литературы

1. О компании ЗАО «ТАМАК» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tamak.ru/about/> (Дата обращения 19.03.2016 г.)
2. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д: Феникс. 2007. 368 с.
3. Степанова В.Ф. Перспективы применения композиций в производстве бетона и железобетона // *Технологии бетонов*. 2015. № 9–10 (110–111). С. 8–9.
4. Горностаева Е.Ю., Ласман И.А., Федоренко Е.А., Камоза Е.В. Древесно-цементные композиции с модифицированной структурой на макро-, микро- и наноуровнях // *Строительные материалы*. 2015. № 11. С. 13–17.
5. Баранов И.М. Проблемы подбора составов многокомпонентных специальных бетонов // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 20–24.
6. Ефремова О.В., Грызлов В.С., Свиридов Б.Д. Особенности фазообразования древошлакового композиционного материала // *Строительные материалы*. 2013. № 1. С. 66–67.
7. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. Л.: Стройиздат. 1990. 415 с.

Кроме того, результаты эксперимента подтвердили наши предположения, что при уменьшении водосмесевого отношения с 0,3 до 0,18 прочность образцов с добавками повышается от 21 до 26,3 МПа, т. е. на 20%.

Полученные данные о прочностных характеристиках композиционных материалов с добавкой отходов производства ЦСП показывают, что наиболее эффективным способом управления свойствами является проектирование многокомпонентных составов смесей с использованием модифицирующих добавок.

References

1. About company ZAO "TAMAK" [electronic resource]. <http://www.tamak.ru/about/> (date of access 19.03.2016)
2. Dvorkin L.I. Construction materials from waste of the industry. Rostov n/D: Feniks. 2007, 368 p.
3. Stepanova V.F. Prospects of application of composites in production of concrete and reinforced concrete. *Tekhnologii betonov*. 2015. No. 9–10 (110–111), pp. 8–9.
4. Gornostaeva E.Yu., Lasman I.A., Fedorenko E.A., Kamozza E.V. Wood and cement compositions with the modified structure on macro-, micro and nanolevels. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 11, pp. 13–17. (In Russian).
5. Baranov I.M. Problems of selection of compositions of multicomponent special concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 20–24. (In Russian).
6. Efremova O.V., Gryzlov V.S., Sviridov B.D. Features tree slag phase formation of the composite material. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 1, pp. 66–67. (In Russian).
7. Nanazashvili I.Kh. Stroitel'nye materialy iz drevesno-tsementnoi kompozitsii [Building materials made of wood-cement composition]. L.: Stroizdat. 1990. 415 p.

24–27 января 2017 | Красноярск



ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В
XXV СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ВЫСТАВКЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО АРХИТЕКТУРА

ВЕДУЩАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ И ИНТЕРЬЕРНАЯ ВЫСТАВКА
СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Одновременно пройдет выставка строительной и складской техники
и оборудования «ТехСтройЭкспо. Дороги»

В ПРОГРАММЕ:

- VI Архитектурно-строительный форум Сибири
- Сибирский фестиваль архитектуры

Официальная государственная



Организатор – ВК «Красноярская компания»

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

0+

Инженерный метод прогностической оценки концентрации радона в проектируемом здании

Предложен метод прогностического расчета концентрации радона в здании. Внутренний воздух, ограждающие конструкции, грунтовое основание здания и наружный воздух рассматриваются как взаимосвязанные элементы единой системы. В расчете учитывается зависимость поступлений радона из грунта в помещения нижнего этажа здания от его ширины и заглубления. Введен качественный критерий радонопроницаемости.

Ключевые слова: здание, концентрация радона, грунтовое основание, радоновая нагрузка, сопротивление радонопроницаемости.

L.A. GULABYANTS, Doctor of Sciences (Engineering) (lor267gg@yandex.ru)

Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (RAACS)
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Engineering Method for Predictive Valuation of Radon Concentration in a Designed Building

A method for the prognostic calculation of the radon concentration in the building is proposed. The indoor air, enclosing structures, earth foundation of the building, and outdoor air are considered as interconnected elements of a single system. The calculation takes into account the dependence of radon inflow from the soil into the premises of the lower floor of the building on its width and depth of laying the foundation.

Keywords: building, radon concentration, soil foundation, radon loading, resistance to radon penetration.

В РФ контроль соблюдения требования санитарных норм в отношении радоновой безопасности жилых и общественных зданий в настоящее время осуществляется по принципу «да» или «нет», или по принципу исключенного третьего. Задача контроля заключается в получении ответа на вопрос превышает или нет уровень концентрации радона в обследуемом здании установленный в нормах уровень вмешательства. Решение о нормализации радоновой обстановки или о перепрофилировании здания может быть принято только тогда, когда этот уровень превышает. Такое принимаемое *postfactum* решение реализуется с использованием паллиативных, запоздалых мероприятий. Мероприятия по усилению противорадоновой защиты, осуществляемые в уже построенном доме, т. е. после завершения скрытых строительных работ, всегда обходятся дороже и менее эффективны, чем предусмотренные на стадии проектирования. При таком подходе не соблюдается основополагающий принцип радиационной защиты – принцип оптимизации, заключающийся в максимальном, социально и экономически обоснованном повышении ее уровня. На данное обстоятельство обращено внимание в публикации МАГАТЭ [1], отражающей позицию МКРЗ и ВОЗ. Согласно мнению этих организаций, подход при котором меры по снижению содержания радона в домах рекомендуются только в случае превышения установленного уровня вмешательства, создает неверное представление, что воздействие ниже этого уровня является безопасным. Важным элементом современной стратегии решения радоновой проблемы является переход от нормирования уровня вмешательства к нормированию референтного уровня. Референтный уровень представляет собой уровень, превышение которого считается неприемлемым, а ниже которого должна осуществляться оптимизация защиты [2,3]. В 1988 г. Конгресс США принял закон, согласно которому Агентству по охране окружающей среды (EPA) была поставлена задача вести работу по достижению долгосрочной национальной цели – добиться того, чтобы на территории страны содержание радона в жилищах было не выше, чем в наружном воздухе [4]. Следовательно, можно ожидать, что референтный уровень содержания радона в зданиях в обозримом будущем будет определен в российских нормах радиационной безопасности. Возможно, нормы будут дифференцированы по назначению зданий или с

учетом регионов. Это должно положить начало практическому воплощению пока еще только продекларированного принципа оптимизации противорадоновой защиты. Для обоснования оптимального, разумно достижимого в текущий период времени уровня защиты необходима количественная оценка показателей стоимости и технической эффективности различных защитных мероприятий. В связи с этим разработана отсутствующая в данное время инженерного метода такой оценки, а также метода прогностической оценки уровня концентрации радона в проектируемых зданиях в случае применения тех или иных технических решений противорадоновой защиты продолжает оставаться актуальной задачей.

В данной статье предпринята попытка кратко обобщить современные представления об основных факторах, определяющих радоновую обстановку в современных зданиях, уточнить смысл некоторых новых связанных с рассматриваемым вопросом понятий и изложить подход к инженерному методу оценки радонового режима здания в состоянии его взаимосвязи с окружающими геологической и воздушной средами.

Потенциальная радоноопасность. Широкомасштабные исследования в составе национальных программ, направленные на оценку потенциальной радоноопасности территорий, в некоторых зарубежных странах были начаты около 40 лет назад практически сразу после актуализации проблемы снижения облучения населения радоном в существующих домах. Цель этих исследований первоначально заключалась в определении наиболее неблагоприятных в рассматриваемом отношении районов, где предполагалось сосредоточить внимание на выявлении жилищ со сверхвысоким содержанием радона, в медицинском обследовании населения и первоочередном проведении мероприятий по оздоровлению радоновой обстановки. К настоящему времени в результате таких исследований во многих странах созданы разномасштабные тематические карты потенциальной радоноопасности, основанные на учете различных сочетаний принимавшихся во внимание факторов – концентрации радона в существующих домах, интенсивности выделения радона на поверхности земли, концентрации радона в почвенном газе, гамма-фона окружающей местности, комплекса физических характеристик геологической среды [5–7].

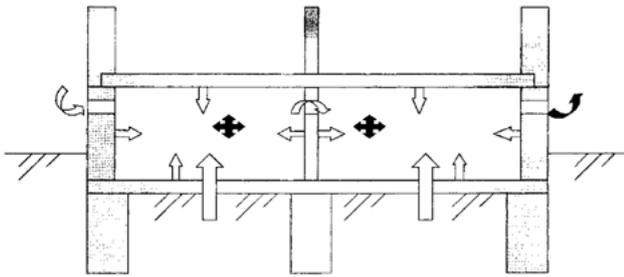


Рис. 1. Схема действия источников и стоков радона в помещении

В отношении строительства категорирование территорий является как бы инструментом раннего предупреждения о вероятности повышенного содержания радона в домах, построенных на этих территориях. В некоторых странах, например в Великобритании, на основе такой недостаточной на взгляд автора информации принимаются решения о превентивном применении мер по противорадоновой защите зданий, возводимых на потенциально радоноопасных территориях. Накопленный опыт показал, что даже на относительно небольших территориях, в силу пространственной неоднородности геологической среды, радоновая обстановка на разных участках может сильно отличаться одна от другой. Поэтому защита, предусматриваемая без количественной оценки соответствия ее эффективности условиям работы на конкретном участке, может оказаться как избыточной, так и недостаточной.

Исследования, связанные с радоновым районированием территорий, в РФ проводились в ограниченном объеме и вряд ли будут завершены в обозримом будущем. Оценки потенциальной радоноопасности в соответствии с действующими нормативно-методическими документами производят при проведении инженерных экологических изысканий для строительства на каждом участке застройки. На основе результатов таких изысканий участок квалифицируется как «радонобезопасный» или «потенциально радоноопасный». В последнем случае ответственное решение о применении тех или иных мер по противорадоновой защите здания должна принимать проектная организация. Поскольку нормированных методов оценки достаточности проектируемых мер не существует, возникает необходимость в специализированной экспертизе каждого проекта. Более чем десятилетний опыт НИИСФ РААСН в проведении такой экспертизы показал, что в большинстве случаев проекты современных жилых и общественных зданий, предназначенные для строительства на участках, квалифицированных как потенциально радоноопасные, в специальных мерах противорадоновой защиты не нуждаются. Вместе с тем на участках, квалифицированных как радонобезопасные, могут возводиться здания, которые нуждаются в противорадоновой защите. Вероятность сверхнормативной концентрации радона во вновь построенных зданиях зависит не только от физических свойств геологической среды на участке застройки, но и в не меньшей степени от типа здания и физических характеристик его ограждающих конструкций. В связи с этим напрашивается и имеет смысл категорирование самих зданий по уровню их потенциальной радоноопасности. Например, к категории потенциально радонобезопасных могут быть отнесены здания с фундаментной плитой и стенами из монолитного железобетона; к категории потенциально радоноопасных, безотносительно к категории участка застройки — все здания, возводимые на балочных ростверках, ленточных или точечных фундаментах с плавающими конструкциями полов подвалов. К последним относится большинство малобюджетных типовых проектов школ и детских дошкольных учреждений.

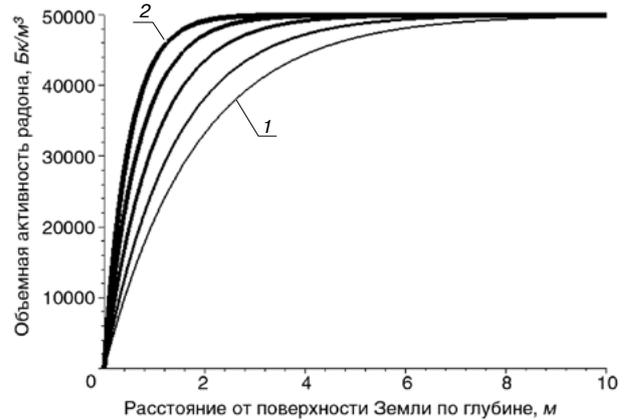


Рис. 2. Изменение концентрации радона в грунте по глубине на открытой территории: вычислено при снижении значений коэффициента диффузии радона в грунте от $7 \cdot 10^{-6}$ (1) до $0,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с (2) при одинаковых значениях $C_{Ra, \Sigma} = 62,5$ Бк/кг; $\rho_2 = 2000$ кг/м³; $k_2 = 0,4$

Предмет нормирования. С позиции реализующих требования норм субъектов, немаловажна сущность предмета нормирования или, точнее, степень доступности нормированного параметра расчету и измерению. В России начиная с 1991 г. предметом нормирования радоновой безопасности внутренней среды зданий служит величина среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) дочерних продуктов радона и торона (изотоп радона) в воздухе помещений. По мнению автора, выбор величины ЭРОА в качестве предмета нормирования надо признать неудачным. Нормирование этой величины нарушает один из основных, ранее строго соблюдавшихся принципов технического нормирования, согласно которому не допускалось нормировать параметры при отсутствии практической осуществимости их прямого измерения. В отношении ЭРОА радона и торона этот принцип был нарушен по меньшей мере дважды. Во-первых, величина ЭРОА для прямых измерений недоступна. Для ее определения необходимо знать значение весьма изменчивого во времени и пространстве коэффициента сдвига радиоактивного равновесия. Во-вторых, на практике среднегодовое значение ЭРОА может быть определено не иначе, как путем экстраполяции на годовой период результатов измерений, проведенных в несоизмеримо меньшие, чем год, отрезки времени. Вследствие названных причин достоверный контроль ЭРОА радона и торона в построенных зданиях, а также ее прогностический расчет для проектируемых зданий представляют достаточно сложную, не соответствующую принципу разумной достаточности задачу. Представляется более рациональным нормировать в РФ, как это принято в абсолютном большинстве других стран, величину объемной активности радона, а оценку вклада торона в формирование дозы облучения с учетом сдвига радиоактивного равновесия осуществлять вне рамок технического нормирования.

Механизмы поступлений радона в здание. Радоновая обстановка в здании формируется при действии в основном двух механизмов переноса радона от источников в помещение — диффузии и конвекции. Согласно феноменологической теории механики жидкости и газа диффузионный перенос в проницаемой среде подчиняется закону Фика. Поток газа через элементарный слой прямо пропорционален градиенту его концентрации и коэффициенту диффузии, характеризующему проницаемость слоя. Термо-, хемо- и электродиффузия в процессе переноса радона в грунтах и строительных конструкциях практически не участвуют. Вопрос о влиянии перепада давления в конструкциях из капиллярно-пористых или сплошных материалов на процесс диффузионного переноса радона относится к малоизученным. Конвективный



Рис. 3. Характер распределения изолиний концентрации радона в грунте на открытой территории

(газа в газе) или фильтрационный (газа в пористой среде) перенос радона в составе смеси грунтовых газов подчиняется закону Дарси. Согласно этому закону поток газа через элементарный слой прямо пропорционален градиенту его давления (напора) и коэффициенту проницаемости слоя. Употребляемые в литературе термины «эффузия» (медленное истечение газа через малые отверстия), «адвекция» (перенос в горизонтальном направлении) и т. п. соответствуют частным случаям действия этого механизма. На наиболее заселенных, равнинных территориях России составляющие основания зданий грунты, как правило, представлены самоуплотнившимися, дисперсными глинисто-песчаными осадочными породами. В них крупные воздушные полости и значимые перепады давления, необходимые для развития конвективно-фильтрационных процессов, отсутствуют. В [8] показано, что в дисперсных материалах, обладающих значительно большей проницаемостью, чем гравий и крупнозернистый песок, при отсутствии в них значительных структурных нарушений основным, постоянно действующим механизмом переноса радона является молекулярная диффузия.

Конвективные поступления радона в здание через граничащую с грунтом ограждающую конструкцию могут доминировать над другими поступлениями в случаях высокой воздухопроницаемости конструкции и при положительном значении разности давлений в почвенном газе и внутреннем воздухе. Высокой воздухопроницаемостью обладают сборные конструкции, сплошные монолитные конструкции со сквозными трещинами и швами, а также сборно-монолитные из элементов с негерметизированными стыками. Положительная разность значений давления на границах конструкции может создаваться вследствие работы в здании вытяжной вентиляции, воздействия на здание ветра, а также при более высокой, чем в грунте, температуре (следовательно, плотности) воздуха в здании. При отсутствии перечисленных выше условий, а также при отсутствии в конструкции элементов с крупными воздушными полостями основным, постоянно действующим механизмом переноса радона из грунта в здание является диффузия.

Радоновый баланс помещения. Радоновый баланс — это соотношение прихода и расхода радона в помещении в состоянии установившегося равновесия между его источниками и стоками. Действие наиболее значимых источников радона обусловлено его выделением в материалах ограждающих конструкций, проникновением в помещение из грунта под зданием, поступлением вместе с приточным наружным воздухом. Действие стоков обусловлено распадом поступившего в помещение радона и его частичным удалением вместе с отводимым вентиляцией воздухом. Схема расположения источников и стоков радона для частично заглубленного помещения здания приведена на рис. 1. Общее решение уравнения радонового баланса помещения применительно к

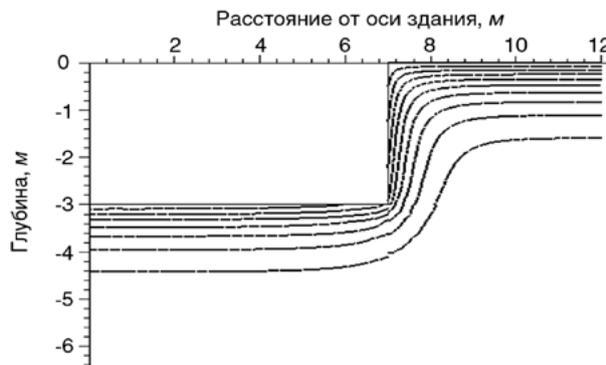


Рис. 4. Характер распределение изолиний концентрации радона в грунте в окрестности котлована

вышеперечисленным условиям можно представить в виде формулы:

$$A_{\text{вн.в.}} = \frac{\sum_{i=1}^m Q_i^M \cdot S_i^M + \sum_{j=1}^{i=t} Q_j^c \cdot S_j^c + Q_n^c \cdot S_n^c}{V(\lambda + n)} + \frac{A_{\text{н.в.}} n}{\lambda + n}, \quad (1)$$

где $A_{\text{вн.в.}}$ — концентрация радона во внутреннем воздухе, Бк/м³; Q_i^M, Q_j^c, Q_n^c — значения плотности потока радона (Бк/(м²·с)): — поступающего в помещение от i -й ограждающей конструкции (стены, перекрытия, пола) вследствие выделения радона в материале конструкции;

— проникающего из грунта в помещение через j -ую фундаментную стену;

— проникающего из грунта в помещение через конструкцию опирающегося на грунт пола соответственно;

S_i^M, S_j^c, S_n^c — площади i -й и j -й конструкций и пола соответственно, м²;

$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, t$ — порядковые номера конструкций;

$A_{\text{н.в.}}$ — объемная активность радона в наружном воздухе, Бк/м³;

V — объем помещения, м³;

λ — постоянная распада радона, с⁻¹;

n — кратность воздухообмена, с⁻¹.

Значение величины Q_i^M зависит от мощности источника и коэффициента диффузии радона в материале конструкции, ее толщины и условий газообмена на поверхности конструкции. Плотность потока радона, поступающего в помещение вследствие его выделения внутри однослойной конструкции, может быть рассчитана по формулам [9]:

— для внутренних стен и верхнего перекрытия:

$$Q_i^M = \frac{C_i \cdot \rho_i \cdot k_i \cdot D_i}{L_i} \cdot th \left(\frac{h_i}{2L_i} \right); \quad (2)$$

— для наружных стен и конструкции пола:

$$Q_i^M = \frac{C_i \cdot \rho_i \cdot k_i \cdot D_i}{L_i} \cdot th \left(\frac{h_i}{L_i} \right), \quad (3)$$

где C_i, k_i, D_i — удельная активность радия-226 (Бк/кг), коэффициенты эманирования и диффузии (м²/с) радона в материале конструкции соответственно;

ρ_i, h_i — плотность материала конструкции (кг/м³) и ее толщина (м) соответственно;

$L = \sqrt{D_i / \lambda}$ — длина диффузии радона в материале конструкции, м.

При использовании конструкций из традиционных стеновых материалов на основе горных пород или продуктов их переработки значение величины Q_i^M может составлять от 1 до 5 мБк/(м²·с).

Для определения значений Q_j^c и Q_n^c необходимо располагать данными о физических параметрах конструкций и уровнях концентрации радона в плоскостях их контакта с грунтом (радоновой нагрузке).

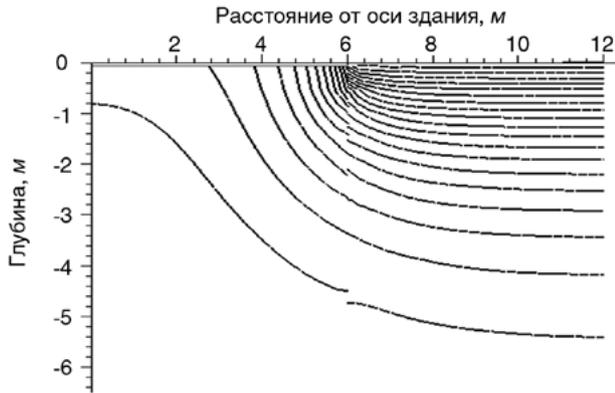


Рис. 5. Характер распределение изолиний концентрации радона в основании незаглубленного здания



Рис. 6. Характер распределение изолиний концентрации радона в грунте при заглублении здания, равном 5 м

Параметры ограждающей конструкции. Автором введен качественный критерий радонопроницаемости. Радонопроницаемость материала конструкции характеризуется величиной объемного коэффициента диффузии (m^2/c), представляющего плотность потока радона ($Bк/(m^2 \cdot c)$), проникающего вследствие молекулярной диффузии через слой материалов толщиной 1 м при разности концентраций радона на поверхностях слоя равной 1 $Bк/m^3$. Плотность проникающего через конструкцию потока радона зависит не только от коэффициента диффузии радона в слоях материалов конструкции, но и от толщин слоев. В качестве параметра, характеризующего радонопроницаемость ограждающей конструкции, состоящей из одного или нескольких слоев, удобно использовать величину *коэффициента радонопроницаемости* (m/c). Данный коэффициент представляет активность радона ($Bк$), проникающего через 1 m^2 конструкции в 1 с, при разности концентраций ($\Delta = A_{ин} - A_{вн}$) на наружной и внутренней поверхностях конструкции равной 1 $Bк/m^3$. Обратная коэффициенту величина (c/m) представляет сопротивление радонопроницаению, равное разности концентраций Δ , при которой активность радона, проникающего через 1 m^2 площади конструкции в 1 с составляет 1 $Bк$ [10, 11]. Используя величины K и R , плотность потока радона Q ($Bк/(m^2 \cdot c)$), проникающего через конструкцию при произвольном значении Δ , может быть определена как:

$$Q = K \cdot (A_{ин} - A_{вн}) = \frac{A_{ин} - A_{вн}}{R} \quad (4)$$

Формулы для расчета сопротивлений радонопроницаению, полученные из аналитического решения задачи, приведенной в [9], имеют вид:

– для однослойной конструкции $R_{1,сл} = \frac{L}{D} sh\left(\frac{h}{L}\right)$; (5)

– для двухслойной конструкции

$$R_{2,сл} = ch\left(\frac{h_1}{L_1}\right) sh\left(\frac{h_2}{L_2}\right) \frac{L_2}{D_2} + sh\left(\frac{h_1}{L_1}\right) ch\left(\frac{h_2}{L_2}\right) \frac{L_1}{D_1}, \quad (6)$$

где индексы 1 и 2 в обозначениях h и L в формуле (6) соответствуют порядковому номеру слоя конструкции.

Суммарное сопротивление радонопроницаению конструкции, состоящей из n слоев, приближенно может быть определено по формуле:

$$R_{n,сл} = \sum_{i=1}^{i=n} R_{i,сл}, \quad (7)$$

где R_i – сопротивление радонопроницаению i -го слоя, определяемое по формуле (5).

Величина R_i количественно характеризует способность конструкции препятствовать переносу радона из

грунта в помещение и может быть использована для расчета поступлений радона в помещение для сравнительной оценки эффективности различных технических решений конструкций.

Радоновая нагрузка. На свободной от застройки территории образующийся в грунте радон свободно перемещается к поверхности земли и выделяется в атмосферу, где быстро рассредоточивается. Характер распределения концентрации радона по глубине полуограниченного массива однородного грунта показан на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что концентрация радона возрастает от своего минимального значения на поверхности земли до некоторого постоянного значения, определяемого по формуле:

$$\Pi_{Rn} = C_{Ra,z} \cdot \rho_z \cdot k_{эм,z}, \quad (8)$$

где $C_{Ra,z}$, ρ_z , $k_{эм,z}$ – соответственно удельная активность радия-226 в грунте ($Bк/кг$), плотность грунта ($кг/m^3$) и коэффициент эманирования радона в грунте. Глубина, на которой устанавливается это значение, уменьшается по мере снижения проницаемости грунта. Величина Π_{Rn} , представляющая максимальную концентрацию радона, создаваемую в единице замкнутого объема грунта с заданными значениями $C_{Ra,z}$, ρ_z , $k_{эм,z}$, может быть интерпретирована как радоновый потенциал грунта [9]. Значение данного параметра в решающей мере предопределяет значение величины $A_{ин}$, содержащейся в формуле (4). Величину $A_{ин}$, представляющую концентрацию радона в плоскости контакта конструкции с грунтом, можно интерпретировать как *радоновую нагрузку*, создаваемую грунтом на конструкцию.

На рис. 3 показан характер распределения изолиний концентрации радона в грунте на свободной от застройки территории и на рис. 4 – в окрестности открытого котлована глубиной 3 м.

На рис. 5 и 6 показано распределение изолиний в грунтовом основании незаглубленного и заглубленного зданий.

Из рис. 5 видно, что после возведения незаглубленного или мало заглубленного здания вследствие того, что оно препятствует свободной разгрузке радона из грунта в атмосферу, в основании здания формируется поле концентрации радона, существенно отличающееся от поля концентрации в открытом грунте. Размеры в плане и заглубленность здания предопределяют возможность оттока части радона из-под здания в атмосферу. Поэтому по мере их увеличения нагрузка, представленная как среднее значение концентрации радона в плоскости контакта, приближается к значению радонового потенциала и, как видно из рис. 6, при определенных условиях становится равной радоновому потенциалу.

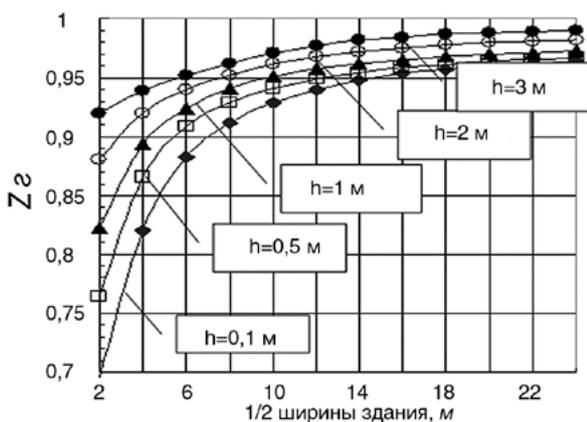


Рис. 7. Зависимости значений коэффициента Z_2 от ширины здания и его заглубления

Установлено, что распределение концентрации радона по глубине в плоскости контакта фундаментной стены с грунтом практически не отличается от распределения в параллельной плоскости, находящейся далеко за пределами здания. Среднее значение нагрузки $A_{ин}^c$ на заглубленную часть стены можно рассчитать по формуле:

$$A_{ин}^c = \Pi R_n \cdot \left[1 - \frac{L}{h} th \left(\frac{h}{L} \right) \right], \quad (9)$$

Список литературы

1. Specific Safety Guide No. SSG-32. Protection of the public against exposure indoors due to radon and other natural sources of radiation. (<http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1651Web-62473672.pdf>). Electronic resource.
2. Киселев С.М., Жуковский М.В. Современные подходы к обеспечению защиты населения от радона. *Международный опыт регулирования // Радиационная гигиена*. 2014. Т. 7. № 4. С. 48–52.
3. Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Васильев А.В., Жуковский М.В. Обзор рекомендаций МАГАТЭ по защите от облучения радоном в жилищах // *АНРИ*. 2015. № 4. С. 22–27.
4. Art Nash, Roxie Rodgers Dinstel. Understanding, testing for and mitigating radon. Published by the University of Alaska Fairbanks Cooperative Extension Service in cooperation with the United States Department of Agriculture. (<https://www.uaf.edu/files/ces/publications-db/catalog/eeh/RAD-00760.pdf>). Electronic resource.
5. Маренный А.М., Микляев П.С. и др. Комплексные мониторинговые исследования формирования радоновых полей грунтовых массивов. Ч. 4. Результаты мониторинга радона внутри грунтовых массивов // *АНРИ*. 2015. № 3. С. 52–63.
6. Маренный А.М., Микляев П.С. и др., Комплексные мониторинговые исследования формирования радоновых полей грунтовых массивов. Ч. 5. Результаты лабораторного определения радиационно-физических свойств грунтовых массивов // *АНРИ*. 2015. № 3. С. 64–72.
7. Маренный А.М., Микляев П.С. и др. Комплексные мониторинговые исследования формирования радоновых полей грунтовых массивов. Ч. 6. Анализ закономерностей временных вариаций радонового поля // *АНРИ*. 2015. № 4. С. 9–21.
8. Radon and its decay products in indoor air. Edited by Nazarov W.W. and Nero A.V. California: Wiley. 1988. 518 p.
9. Гулябянц Л.А., Лившиц М.И. Теория переноса радона из грунтового основания в здание // *Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2012 г. Сборник научных трудов*. РААСН; ВолгГАСУ, 2013. С. 508–513.

где L_z – длина диффузии радона в грунте, м; h – величина заглубления стены, м.

Среднее значение нагрузки $A_{ин}^n$ на конструкцию граничащего с грунтом пола можно определить как:

$$A_{ин}^n = Z_2 \cdot \Pi R_n \quad (10)$$

где Z_2 – коэффициент, учитывающий зависимость величины нагрузки от заглубления и ширины здания.

Вычисленные автором значения коэффициента Z_2 приведены на рис. 7.

Таким образом, прогнозируемое значение концентрации радона в расчетном помещении может быть рассчитано в следующей последовательности:

– на основе результатов инженерных экологических изысканий и конструкторской документации проекта задаются исходные данные о расчетных характеристиках помещения, его ограждающих конструкций, грунтового основания, воздухообмена;

– по формулам (2)–(3), (7), (8), (9)–(10) вычисляются значения величин Q_i^M , R , ΠR_n , $A_{ин}^n$, Q соответственно;

– задается $A_{вн.б} = A_{ин}^n$, по формуле (4) вычисляется значение $A_{вн.б}$ и по формуле (1) первое приближенное значение $A_{вн.б}$. Данное значение присваивается величине, и расчет по формулам (4) и (1) повторяется.

Расчет по показанному выше алгоритму легко реализуется с помощью программы Excel.

References

1. Specific Safety Guide No. SSG-32. Protection of the public against exposure indoors due to radon and other natural sources of radiation. (<http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1651Web-62473672.pdf>). Electronic resource.
2. Kiselev S.M., Zhukovskiy M.V. Modern approaches to the protection of the population against radon. International experience of regulation. *Radiacionnaya gigiena*. 2014. Vol. 7. No. 4, pp. 48–52. (In Russian).
3. Yarmoshenko I.V., Malinovskiy G.P., Vasil'ev A.V., Zhukovskiy M.V. Review of the IAEA recommendations on protection from exposure to radon in homes. *ANRI*. 2015. No. 4, pp. 22–27. (In Russian).
4. Art Nash, Roxie Rodgers Dinstel. Understanding, testing for and mitigating radon. Published by the University of Alaska Fairbanks Cooperative Extension Service in cooperation with the United States Department of Agriculture. (<https://www.uaf.edu/files/ces/publications-db/catalog/eeh/RAD-00760.pdf>). Electronic resource.
5. Marenniy A.M., Miklyayev P.S. and all. Integrated monitoring studies the formation of ground radon fields arrays. Part 4 – the results of the monitoring of radon in soil masses. *ANRI*. 2015. No. 3, pp. 52–63. (In Russian).
6. Marenniy A.M., Miklyayev P.S. and all. Integrated monitoring studies the formation of ground radon fields arrays. Part 5 – the results of laboratory determination of the radiation-physical properties of soil masses. *ANRI*. 2015. No. 3, pp. 64–72. (In Russian).
7. Marenniy A.M., Miklyayev P.S. i dr. Integrated monitoring studies the formation of ground radon fields arrays. Part 6 analysis of the patterns of temporal variations of radon field. *ANRI*. 2015. No. 4, pp. 9–21. (In Russian).
8. Radon and its decay products in indoor air. Edited by Nazarov W.W. and Nero A.V. California: Wiley. 1988. 518 p.
9. Gulabyanc L.A., Livshic M.I. Radon transport theory of soil foundation in building. *RAACS basic research for the scientific support of development of architecture, urban planning and construction industry in the Russian Federation in 2012: Collection of scientific papers*. RAACS; VolgGASU. 2013, pp. 508–513. (In Russian).

УДК 692.2

Д.Ю. ЖЕЛДАКОВ¹, канд. техн. наук; А.А. ФРОЛОВ², инженер технического надзора (a.frolov@proekt-ts.su); С.Ю. ИВАНОВ³, главный инженер проекта (6752016@mail.ru)

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики НИИСФ РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

² ООО «Проекттхстрой» (115230, Москва, Каширское ш., д. 7, корп. 1)

³ ООО «НПФ «Техноэко» (119296, Москва, пр. Вернадского, 5, корп. 1)

Исследования прочности кладки стен в здании Кадашевских бань

Проведено обследование кирпичных наружных несущих стен здания Кадашевских бань. Основное здание построено в 1905 году. Изучение архивных документов позволило установить функциональное назначение различных помещений, их внутреннюю и наружную отделку, что позволило более точно определить температурно-влажностный режим обследованных ограждающих конструкций. Получены данные распределения прочности кирпичей и раствора кладки по сечению наружных стен. На основании полученных результатов доказано, что прочность кирпичной кладки по сечению ограждающей конструкции здания может существенно изменяться. При этом минимальная прочность кладки по сечению не обязательно будет находиться на наружной поверхности ограждающей конструкции. На основании теории влагопереноса и данных метеорологических наблюдений дается научное обоснование полученных результатов.

Ключевые слова: кирпичная кладка, прочность, исследование, ограждающая конструкция.

D.Yu. ZHELDAKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering), A.A. FROLOV², Engineer (a.frolov@proekt-ts.su), S.Yu. IVANOV³, Chief Engineer (6752016@mail.ru)

¹ Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian)

² ООО «Proektthstroy» (7 build.1, Kashirskoe shosse, Moscow, 115230, Russian)

³ ООО НПФ «Техноэко» (5 build.1, Vernadskogo avn., Moscow, 119296, Russian)

Study of Masonry Durability in the Kadashevski Baths Building

The examination of the brick exterior bearing walls of the Kadashevsky baths building, built in 1905. The study of archival documents has allowed to establish the functionality of the different rooms, their inner and outer finish, which allowed more accurately determine the temperature and humidity conditions surveyed walling. The data distribution of bricks and masonry strength solution of the cross section of the outer walls are given. Based on these results are proved that the strength of the masonry over the section of the building envelope can greatly vary. The minimum strength of masonry in the cross section will not necessarily be on the outer surface of the building envelope. Based on the theory of moisture and meteorological data provides a scientific basis of the results are obtained.

Keywords: masonry, strength, study, cladding.

Для проведения исследований прочности кирпичной кладки здание Кадашевских бань представляет большой интерес, в первую очередь связанный с проектированием и строительством данного исторического памятника архитектуры. Задачей исследования является определение прочности по сечению наружных стен здания. На основании изучения архивных источников [1–3] были установлены не только периоды строительства и функциональное назначение помещений, но также получены ссылки на внутреннюю и внешнюю отделку несущих наружных стен. Эти данные, безусловно, важны для анализа полученных результатов исследования.

Кадашевские бани расположены в историческом центре Москвы, в Замоскворечье, в южной части древней Кадашевской слободы. Основное здание было построено в 1905 г. по заказу личного почетного гражданина Ф.П. Кузнецова по проекту архитектора А.В. Эрихсона. При проектировании и строительстве основного здания бань в его состав вошел первоначальный объем двухэтажных амбаров, построенных в 1859 г. Имеются данные, что в 1892 г. в здании амбаров был сильный пожар, при котором помимо крыши и перекрытий серьезно пострадали наружные стены второго этажа, которые затем были отремонтированы и укреплены.

Несущие стены и фундаменты основного здания толщиной 950 мм выполнены из полнотелого красного кирпича 260×135×65 мм (по внутренней стене 260×120×65 мм, клеймо «БФ»). Главный северный кирпичный фасад здания и частично западный, выходящий на Кадашевский переулок, облицованы сохранившейся до наших дней плиткой размером 123×70×14 мм на цементном растворе под расшивку шва шириной 12 мм. Южный и частично западный фасады плиткой не облицовывались. Восточный фасад здания оштукатурен и окрашен масляной краской.

Удалось установить планировку и функциональное назначение помещений бань. Исторические планировки здания по проекту А.В. Эрихсона были укрупненные и свободные. В центральном объеме располагались основные залы женских и мужских отделений, включающие в себя раздевалки, помывочные и парные помещения. В здании бывшего амбара работали индивидуальные кабинеты. После 1917 г. планировка бань была несколько изменена. Отделку помещений на протяжении всего исторического периода проследить сложно, однако по сохранившимся фотографиям стены, полы и потолки интерьеров зашиты в несколько слоев различными отделочными материалами, характерными для второй половины XX в.

Кадашевские бани функционировали до начала 2000-х гг., только часть здания, где находились душевые, в 1970-х гг. была передана объединению «Разнобыт» под мастерские. Затем помещения бань занимали офисы и магазины. В 2006 г. в здании начались работы по приспособлению его под апартаменты (рис. 1).



Рис. 1. Вид на момент обследования второго этажа здания Кадашевских бань 1859 г. постройки

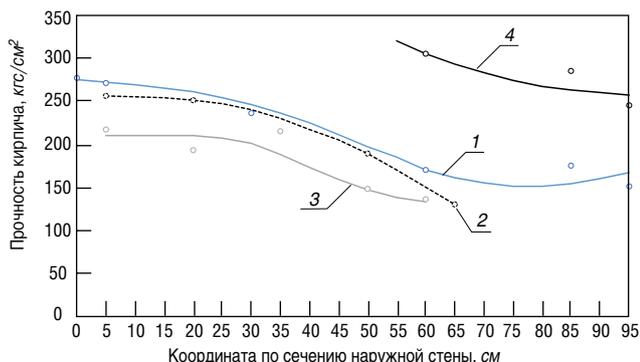


Рис. 2. Прочность кирпича наружной стены толщиной 950 мм: 1 – парная 1; 2 – парная 2; 3 – раздевалка 1; 4 – раздевалка 2

Таким образом, здание Кадашевских бань можно назвать уникальным для обследования прочности несущих стен по следующим причинам:

- здание имеет разные годы постройки – 1859 г. для здания амбаров и 1905 г. для главного здания;
- здание имеет разную толщину наружных стен – 810 мм в здании бывшего амбара и 950 мм в главном здании;
- при эксплуатации помещения с различным функциональным назначением (раздевалка, мыльная, парная и т. д.) имели различный температурно-влажностный режим, характеризующийся высокой влажностью и повышенными температурами. Функциональное назначение помещений в здании нам известно;
- имеются точные сведения – внешней отделке наружных ограждающих стен здания.

При анализе результатов исследования необходимо учитывать следующие факты:

- пожар, а также капитальный ремонт наружных стен после пожара в здании амбара в 1892 г. Учитывая, что ремонт проводился 23 года спустя после пожара и другим владельцем, вполне возможно, что при ремонте использовались другие кирпичи;
- сведения о внутренней отделке наружных стен до середины XX века отсутствуют, более поздние носят не точный характер;
- в начале 2000-х гг. в здании располагалось большое количество мелких арендаторов, которые могли выполнять неучтенный ремонт помещений, в том числе и с внутренним и внешним ремонтом наружных стен. Например, имеются сведения, что часть стен западного фасада была зашита сайдингом.

Обследование проводилось ударным методом неразрушающего контроля с помощью склерометра ОНИКС-2.5 (измеритель прочности ударно-импульсный ОНИКС-2 (модификация ОНИКС-2.5)). Инструкция по применению ООО «СпецТехРесурс» [4, 5]. Авторами [6, 7] исследуется технологичность методов контроля прочности кладки ультразвуковыми приборами и плоскими домкратами. Однако, учитывая специфику исторического здания и его строительную готовность после капитального ремонта, был выбран ударный метод неразрушающего контроля прочности кирпича и раствора. Возможность определения прочности наружной стены по сечению была определена тем, что при реконструкции старые оконные рамы демонтировались, проемы несколько расширились, а откосы частично шлифовались, что дало возможность проверить прочность кирпича и раствора кладки ударным методом, хотя и с некоторой допустимой ошибкой.

Некоторые из результатов обследования приведены на рис. 2–4. Точки, отмеченные на графиках, представленных на рис. 2, 3, показывают прочность кирпичей и являются средним арифметическим от пяти – десяти ударов, выполненных в одном сечении наружной стены, т. е. представляют результаты средней прочности не-

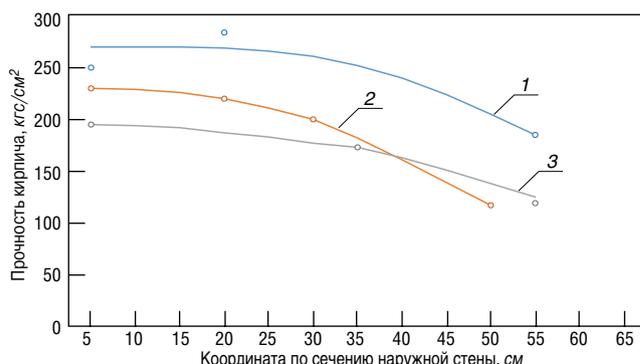


Рис. 3. Прочность кирпича наружной стены толщиной 810 мм. 1 – мыльная 1905 г.; 2 – парная 1859 г.; 3 – раздевалка 1859 г.

скольких кирпичей кладки. Прочность раствора рис. 4 в основном испытывалась в одной плоскости кладки, что позволило уменьшить ошибку от разнородности использованного при кладке раствора.

На рис. 2 представлены кривые распределения прочности кирпичей по сечению наружных стен главного здания, то есть эксплуатирующихся с 1905 г. и имеющих толщину 950 мм для помещений парных и раздевалок. На рис. 3 показаны кривые прочности кирпичей по сечению кладки для стен, построенных в 1859 и 1905 гг. В целом кривые носят одинаковый характер. На рис. 3 кривые обрываются на отметке 50–55 см, так как далее наружные стены при проведении обследования были зашты керамической плиткой. Кривые распределения прочности раствора имеют несколько иной характер. В данном случае на графиках не даны точки прочности раствора на наружной и внутренних стенах, так как стены были отремонтированы и швы заполнены новым раствором. Если принимать во внимание фотографии наружных стен здания, то кривые распределения прочности раствора можно виртуально привести в «0» на расстоянии 2–5 см от наружной плоскости стены, так как по фотографиям видно полное выветривание раствора на данную глубину. Возможно проанализировать кривую 2 на рис. 4. Данная кривая носит пологий характер в области низких значений прочности. Это можно объяснить тем, что произошло падение прочности раствора по всему сечению наружной стены.

Необходимо отметить, что не все кривые распределения прочности, выполненные на основании результатов проведенного обследования, носят одинаковый характер, идентичный приведенным графикам. На некоторых графиках прочность по сечению стены практически не изменялась. Это объясняется в первую очередь невозможностью более тщательной подготовки поверхности при проведении обследований, укреплением стен в процессе текущего восстановления здания и другими неявными причинами, например более качественной изоляцией внутренней поверхности стен отделочными мате-

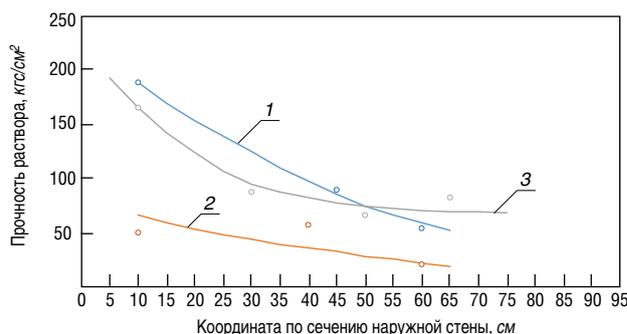


Рис. 4. Прочность раствора наружной стены: 1 – парная 1859 г., 810 мм; 2 – раздевалка 1859 г., 810 мм; 3 – раздевалка 1905 г., 950 мм

риалами. Основным выводом, который можно сделать на основании результатов проведенного обследования распределения прочности кладки по сечению наружных стен здания, является существование условия при которых прочность кирпичной кладки по сечению ограждающей конструкции здания может существенно изменяться. При этом минимальная прочность кладки по сечению не обязательно будет находиться на наружной поверхности ограждающей конструкции.

Изменение прочности ограждающей конструкции объясняется диффузией водяного пара через наружную ограждающую конструкцию, приводящей к ее увлажнению. Распределение влажности по сечению конструкции неравномерно, что было показано в [8, 9]. Действующим стандартом введено определение и регламентируется расчет плоскости максимального увлажнения в сечении ограждающей конструкции. Авторы [10] предлагают метод определения плоскости конденсации влаги в многослойной ограждающей конструкции с одномерным влагопереносом по механизму паропроницаемости и теплопроводности при стационарных граничных условиях. Расчеты, выполненные по традиционным графическим методикам и по методикам с применением вычислительной техники, показывают, что зона максимального увлажнения в однослойных ограждающих конструкциях, как правило, располагается в первой трети сечения стены с наружной стороны, т. е. в той зоне, где температура ограждения достигает отрицательных значений.

С другой стороны, авторами проведен анализ колебания температуры наружного воздуха и сопоставлен с глубиной промерзания ограждающей конструкции. Глубина промерзания наружной ограждающей конструкции является функцией температуры наружного воздуха, общего сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, коэффициента теплопроводности и коэффициента теплоотдачи наружной ограждающей поверхности. На основании графиков колебания температуры наружного воздуха в январе 2015 и 1977 гг. в г. Москве был проведен анализ глубины промерзания

Список литературы

1. Архив Департамента культурного наследия города Москвы, кв. 402, № 1277/88; № 748/07, кв. 69.
2. ЦАНТД, Якиманская часть, № 234/170, 174, 184, ед. хр. 2, 5, 6, 12, 13.
3. ЦИАМ, ф.179, оп.62, д. 17844; ф. 46, оп. , д. 6145; ф. 171, оп.1, д. 1176.
4. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. 1988. 36 с.
5. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. М.: АО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ». 2004.
6. Зубанов С.В., Ткачев Е.В. Определение прочности силикатного кирпича и кладки неразрушающими методами контроля // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. 2013. № 3 (11). С. 90–96.
7. Зубков С.В., Улыбин А.В., Федотов С.Д. Исследование механических свойств кирпичной кладки методом плоских домкратов // *Инженерно-строительный журнал*. № 8. 2015. С. 20–29.
8. Фокин К.Ф. Строительная теплофизика ограждающих частей зданий. М.: АВОК-пресс, 2006. 256 с.
9. Гагарин В.Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. Дисс. ... д-ра техн. наук. М. 2000. 396 с.
10. Гагарин В.Г., Зубарев К.П., Козлов В.В. Определение зоны наибольшего увлажнения в стенах с фасадными теплоизоляционными композиционными системами с наружными штукатурными слоями // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 1 (54). С. 125–132.

Глубина промерзания кладки, см	Количество циклов замораживания-оттаивания, январь 1977 г.	Количество циклов замораживания-оттаивания, январь 2015 г.
0–5	0	7
5–10	0	5
10–15	3	5
15–20	6	4
20–25	6	4
25–30	6	4
30–35	4	2
35–40	3	1
40–45	1	0

кирпичной наружной стены здания толщиной 640 мм. Количество циклов замораживания-оттаивания кладки на различной глубине приведено в таблице.

Из таблицы видно, что максимум циклов замораживания-оттаивания не всегда приходится на наружную поверхность ограждающей конструкции: если в январе 2015 г. количество циклов замораживания-оттаивания на поверхности кладки было действительно максимальным, то в январе 1977 г. ситуация была кардинально другой: на поверхности кладки и на глубине 50 мм за весь месяц не произошло ни одного цикла замораживания-оттаивания, тогда как на глубине от 150 до 250 мм таких циклов произошло шесть. Это показывает, что зона внутри ограждающей конструкции может находиться в более жестких температурных условиях, чем поверхность стены.

Наличие зоны максимального увлажнения кладки в области отрицательной температуры, а также режим замораживания-оттаивания с количеством циклов внутри ограждающей конструкции большим, чем на поверхности, дает объяснение неравномерному снижению прочности наружной ограждающей конструкции по сечению.

References

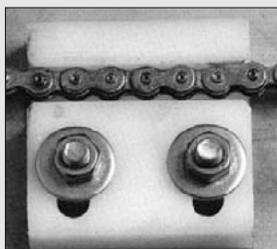
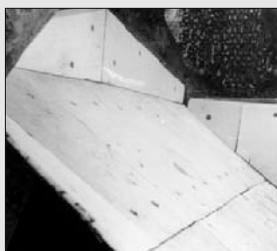
1. Archive of Department of cultural heritage of the city of Moscow, quarter 402, No. 1277/88; No. 748/07, quarter 69.
2. TsANTD, Yakimanskayachast', No. 234/170, 174, 184, ed. khr. 2, 5, 6, 12, 13.
3. TsIAM, f. 179, op. 62, d. 17844; f. 46, op. 7, d. 6145; f. 171, op. 1, d. 1176.
4. Recommendations about inspection and assessment of technical condition of large-panel and stone buildings]. Moscow: TsNIISKim. V.A. Kucherenko. 1988. 36 p.
5. Manual on inspection of structures of buildings. Moscow: АО «TsNIIPROMZDANII». 2004.
6. Zubanov S.V., Tkachev E.V. Determination of durability of a silicate brick and laying by non-destructive control methods. *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. No. 3 (11), pp. 90–96. (In Russian).
7. Zubkov S.V., Ulybin A.V., Fedotov S.D. Research of mechanical properties of a bricklaying by method of flat jacks. *Inzhenerno-stroitel'nyzhurnal*. 2015. No. 8, pp. 20–29. (In Russian).
8. Fokin K.F. Construction thermophysics of the protecting parts of buildings. Moscow: AVOK-press. 2006. 256 p.
9. Gagarin V.G. The theory of a state and moisture transfer in construction materials and heat-shielding properties of the protecting designs of buildings. Doct. Diss. (Engineering). Moscow. 2000. 396 p. (In Russian).
10. Gagarin V.G., Zubarev K.P., Kozlov V.V. Definition of a zone of the maximum moistening in walls with facade heat-insulating composite systems with external plaster layers. *Vestnik Tomskogo sudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2016. No. 1 (54), pp. 125–132. (In Russian).

Реклама



ООО «Ас-Тик КП»

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



ООО «Ас-Тик КП» — «ЛИДЕР ОТРАСЛИ 2014 г.»

Национальный сертификат Л10.9N20/14209 за высокий вклад в развитие российской экономики, добросовестную уплату налогов, достижение высоких экономических показателей в отраслевом рейтинге по ОКВЭД 25.24.9 «Предоставление услуг в области производства пластмассовых деталей».

Проблема налипания материала на рабочие поверхности оборудования решена!

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

ППФП-Астики обладают:

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

ППФП-Астики выпускаются по ТУ-2246-001-22711279-2008 различных размеров, технологичны, надежны в эксплуатации.

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

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

ООО «Ас-Тик КП» (г. Москва) продолжает реализацию и продажу продукции на территории Российской Федерации и государств СНГ.

ООО «Ас-Тик КП» (г. Москва) имеет Дилера в лице ООО «Арсланов» по реализации продукции на территории Российской Федерации и государств СНГ.

ООО «Ас-Тик КП»

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

УДК 678.026.3

В.Г. КУЗНЕЦОВ¹, президент, генеральный директор,
И.П. КУЗНЕЦОВ¹, коммерческий директор (astik_kp@mail.ru); А.В. ЛЯПУНОВ², главный инженер,
А.П. БЛЮДЕНОВ², начальник цеха обогащения (boris.gontarenko@evraz.com),
Б.Ю. ГОНТАРЕНКО², главный технолог цеха обогащения

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

² АО «ЕВРАЗ КГОК» (624350, г. Качканар, Свердловская обл., ул. Свердлова, 2)

Применение полимерных материалов для устранения налипания влажного магнетитового концентрата на рабочие поверхности технологического оборудования цеха обогащения АО «ЕВРАЗ КГОК»

При эксплуатации технологического оборудования в условиях цеха обогащения АО «ЕВРАЗ КГОК» отмечено значительное налипание увлажненного титаномагнетитового концентрата на рабочие поверхности. Результаты промышленных испытаний полимерных противоналипающих футеровочных пластин обычного исполнения – АСТИКИ на рабочих поверхностях технологического оборудования свидетельствуют об их надежности и высокой эффективности в борьбе с фактором налипания увлажненного титаномагнетитового концентрата.

Ключевые слова: технологическое оборудование, титаномагнетитовый концентрат, налипание, полимерная противоналипающая футеровочная пластина обычного исполнения – АСТИКИ, надежность, эффективность.

V.G. KUZNETSOV¹, President, General Director, I.P. KUZNETSOV¹, Commercial Director (astik_kp@mail.ru); A.V. LYAPUNOV², Chief Engineer, A.P. BLYUDENOV², Foreman Enrichment, B.Yu. GONTARENKO², Chief Technology Enrichment Plant (boris.gontarenko@evraz.com)

¹ "As-Tik KP" OOO (16, Teterinsky Lane, Moscow, 109004, Russian Federation)

² "EVRAZ KGOK" (2, Sverdlova Street, 624350, Kachkanar, Sverdlovsk Region, Russian Federation)

The Use of Polymeric Materials to Eliminate the Buildup of Wet Magnetitic Concentrate on Work Surfaces of Equipment on Enrichment Plant AO «EVRAZ KGOK»

When using the technological equipment in the enrichment plant AO «EVRAZ KGOK» a significant build-up of humidified titanium-magnetitic concentrate on work surfaces are noticed. The results of industrial tests of polymer lining plates of normal execution – ASTIKI on the working surfaces of the process equipment show their reliability and high efficiency in the fight against adhesion of moistened titanium-magnetitic concentrate.

Keywords: technological equipment, titanium-magnetitic concentrate, adhesion, polymer lining plate of normal execution – ASTIKI, reliability, efficiency.

При эксплуатации технологического оборудования (перегрузочные узлы конвейерных трактов, разгрузочные карманы дисковых вакуум-фильтров и т. д.) в условиях цеха обогащения АО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК» отмечено значительное налипание увлажненного титаномагнетитового концентрата (размер максимального зерна -0,28 мм; доля зерна -0,071 мм составляет до 92%; капиллярная влажность до 11%) на их рабочие поверхности.

Производимый магнетитовый концентрат является сырьем для получения агломерата и имеет выраженную склонность к налипанию и сводообразованию. Так, при работе дискового вакуум-фильтра ДШ 100×2,5 происходит налипание обезвоженного концентрата (кека) на металлические поверхности разгрузочных карманов с последующей полной забивкой последних концентратом, а в узлах перегрузки конвейерных трактов – налипание в нижней части течек, приводящее к образованию сводов. Для устранения указанных негативных факторов и с целью предотвращения аварийных ситуаций технологический персонал, обслуживающий данное оборудование, производил очистку стенок от налипшего материала сжатым воздухом с помощью переносных шуровок. Начиная с 2013 г., после предписания контролирующих органов о запрете применения сжатого воздуха для сбивания налипшего материала, очистка течек и карманов осуществлялась металлическими скребками. При этом очистка карманов ваку-

ум-фильтра производится на работающем оборудовании, что создает определенный риск травмирования работника, а очистка узлов перегрузки хотя и выполняется на остановленном оборудовании, но не имеет должного эффекта из-за значительной (более 4 м) высоты течи. Применение в качестве противоналипающих материалов отработанной конвейерной ленты и листового полиуретана не показало ощутимого эффекта, а футеровка стенок листовым полистиролом при устранении эффекта налипания материала выявила недостаточную устойчивость материала к ударным нагрузкам и истиранию.

С целью устранения налипания титаномагнетитового концентрата на рабочие поверхности узлов разгрузки дисковых вакуум-фильтров и перегрузочных узлов ленточных конвейеров ООО «Ас-Тик КП» предложено провести в цехе обогащения фабрики АО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК» промышленные испытания эффективного средства – полимерных противоналипающих футеровочных пластин обычного исполнения (ППФП ОИ-АСТИКИ) размером 6×1000×1400 мм общей площадью 28 м², изготовленных по ТУ 2246-001-22711279–2008.

Следует отметить, что указанные противоналипающие пластины надежно и эффективно на протяжении ряда лет эксплуатируются на технологическом оборудовании горнодобывающих и перерабатывающих предприятий основных отраслей народного хозяйства России и стран СНГ [1–7].

После получения партии ППФП ОИ-АСТИКИ и согласования мест установки специалистами цеха обогащения были зафутерованы: узел перегрузки ленточных конвейеров № 103, № 110, транспортирующих обезвоженный концентрат для производства агломерата из цеха обогащения в цех шихтоподготовки, а также наружные плоскости нескольких разгрузочных карманов дискового вакуум-фильтра № 4. Испытания были начаты 6.11.2015 г. и продолжаются по настоящее время. По состоянию на 12.05.2016 г., зафиксированы следующие результаты:

- на карманах вакуум-фильтра № 4, зафутерованных ППФП ОИ-АСТИКИ, фактов налипания продукта не выявлено; механических повреждений и видимого износа футеровки не выявлено. Нарработка вакуум-фильтра составила 2711 ч; непосредственно через

зафутерованные карманы разгружено около 18,7 тыс. т концентрата.

- на рабочих поверхностях перегрузочного узла конвейеров № 103, № 110, зафутерованных ППФП ОИ-АСТИКИ, налипание материала полностью отсутствует. Нарработка составила 1466 ч; перегружено 131,9 тыс. т концентрата.

Таким образом, результаты промышленных испытаний полимерных противоналипающих футеровочных пластин ППФП ОИ-АСТИКИ на рабочих поверхностях технологического оборудования цеха обогащения АО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК» свидетельствуют об их надежности и высокой эффективности в борьбе с фактором налипания увлажненного титаномагнетитового концентрата.

Список литературы

1. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. Определение толщины полимерной противоналипающей футеровочной пластины для различных условий эксплуатации оборудования. *Строительные материалы*. 2007. № 5. С. 13–14.
2. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Копылов С.В., Ситников Н.С. и др. Правильный подбор полимерных противоналипающих футеровочных пластин – залог эффективной эксплуатации технологического оборудования. *Горный журнал*. 2008. № 4. С. 80–81.
3. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кузнецов И.П. Повышение эффективности использования технологического оборудования при транспортировании и перегрузке увлажненного железорудного концентрата и офлюсованных сырых окатышей. *Строительные материалы*. 2010. № 1. С. 22–23.
4. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Бородин А.А., Иванников Д.И. и др. Заводской выпуск бункеров, оборудованных эффективным средством борьбы с налипанием материалов – ППФП-АСТИКИ. *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 55–56.
5. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кузнецов И.П., Кочетов Е.В. Эффективная эксплуатация технологического оборудования на фабрике окомкования ОАО «Михайловский ГОК» при работе на увлажненных сырьевых материалах. *Горный журнал*. 2013. № 12. С. 71–73.
6. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кузнецов И.П., Кочетов Е.В. Повышение эффективности использования горно-транспортного и технологического оборудования предприятий цветной металлургии на увлажненных липких материалах. *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 84–87.
7. Кузнецов В.Г., Кочетов Е.В., Кузнецов И.П. Повышение эффективности использования совместной системы «карьерный экскаватор–автосамосвал» при работе на увлажненных рыхлых вскрышных породах. *Уголь*. 2015. № 2. С. 4–5.

References

1. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. Determination of lining anti adhering polymer plate thickness for different operating conditions of the equipment. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 5, pp. 13–14. (In Russian).
2. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Kopylov S.V., Sitnikov N.S. and all. Proper selection of polymeric anti sticky lining plates – the key to efficient operation of process equipment. *Gorniy zhurnal*. 2008. No. 4, pp. 80–81. (In Russian).
3. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kuznetsov I.P. Enhancement of efficiency of the use of production equipment at transportation and reloading of wetted iron-ore concentrate and fluxed damp pellets. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 1, pp. 22–23. (In Russian).
4. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Borodin A.A., Ivannikov D.I., Zaostrovsky P.V., Anufriev D.A., Mokrousov N.S. Factory production of bunkers equipped with efficient means of struggle with adhering of materials – PFP-Astiki. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 55–57. (In Russian).
5. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kuznetsov I.P., Kochetov E.V. Efficient operation of process equipment in the factory pelletizing JSC «Mikhailovsky GOK» when working on moist raw materials. *Gorniy zhurnal*. 2013. No. 12, pp. 71–73. (In Russian).
6. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kuznetsov I.P., Kochetov E.V. Enhancement of efficiency of using mountain-transport and technological equipment of non-ferrous metallurgy enterprises on wetted sticky materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 84–87. (In Russian).
7. Kuznetsov V.G., Kochetov E.V., Kuznetsov I.P. Improved utilization of the joint system “career backhoe dump” when working on moist loose overburden. *Ugol'*. 2015. No. 2, pp. 4–5. (In Russian).

Подписаться на электронную версию журнала «Строительные материалы»®

Вы можете, прислав в произвольной форме заявку на адрес:

oorifsm@yandex.ru; mail@rifsm.ru; rifsm@mail.ru

Стоимость одного номера журнала составляет 1000 р.

Более подробно о подписке <http://rifsm.ru/page/5>



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



**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

К 100-летию со дня рождения Г.И. Горчакова

Исследование долговечности, состава, структуры и свойств цементных систем

Представлена картина жизни в науке Григория Ивановича Горчакова, доктора технических наук, профессора, лауреата Государственной премии СССР, заведующего кафедрой строительных материалов Московского инженерно-строительного института с 1968 по 1989 г. Приведены этапы развития исследований долговечности, пористости, морозостойкости цементного камня и бетона с учетом массы цемента и воды, водоцементного отношения, степени гидратации. Приводятся мысли профессора Горчакова по развитию научных основ строительного материаловедения. Рассмотрены пути прогнозирования свойств строительных материалов за счет применения структурных моделей гетерогенных систем. Указывается, что научная концепция профессора Горчакова о взаимозависимости состава, структуры и свойств цементных камней, бетона и других строительных материалов актуальна в настоящее время.

Ключевые слова: строительные материалы, портландцемент, бетон, долговечность, состав, структура, пористость.

On the 100th Anniversary of Grigoriy I. Gorchakov Study of Durability, Composition, Structure and Properties of Cement Systems

The article deals with the life in the science of Prof. Gorchakov, doctor of technical sciences, Professor, laureate of the State Prize of the USSR, the head of Department of Building materials of the Moscow Civil Engineering Institute from 1968 to 1989 years. The article describes the stages of development of research of durability, porosity, frost resistance of cement stone and concrete taking into account the weight of cement and water, the water cement relation, the degree of hydration. The article presents the thoughts of Prof. Gorchakov on development of scientific bases of building materials science. The article considers the ways of predicting the properties of construction materials due to the use of structural models of heterogeneous systems. The article states that the scientific concept of Prof. Gorchakov on composition, structure and properties of cement stones, concrete and other building materials is relevant now.

Keywords: construction materials, Portland cement, concrete, durability, composition, structure, porosity.



Григорий Иванович Горчаков (27 июня 1916 – 24 июня 2002) – лауреат Государственной премии СССР, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов МИСИ им. В.В. Куйбышева с 1968 по 1989 г.

Григорий Иванович Горчаков относится к категории людей, о которых все говорят только хорошее. Он прожил трудную и достойную жизнь, дорожил своей честью. Его отличала огромная тяга к знаниям. Природа подарила Г.И. Горчакову прекрасные умственные способности, трудолюбие, настойчивость в достижении цели.

Г.И. Горчаков родился 27 июня 1916 г. в г. Иваново-Вознесенске (с 1932 г. этот город называется Иваново) в большой семье директора гимназии, надворного советника Ивана Николаевича Горчакова. Состав семьи включал: отца, мать, двоюродную бабушку, двух сестер матери, трех сыновей. В 1919 и 1923 гг. родились две дочери.

Иван Николаевич Горчаков родился в 1870 г., окончил Учительский институт в Москве, преподавал математику и историю в гимназии города Ардатова Нижегородской губернии. В 1906 г. женился на Александре Ивановне Васильевой (1888 г. рождения). Она была дочерью сельского учителя, окончила гимназию, в 18 лет вышла замуж и занималась домашним хозяйством. Вскоре Ивана Николаевича перевели в Иваново-Вознесенск директором мужской гимназии. Ему присвоили чин надворного советника. Это был гражданский чин VII класса в Табели о рангах Российской империи, что автоматически давало право на личное дворянство. Официальным обращением к такому чину было «ваше высокоблагородие».

После Октябрьской революции отец Г.И. Горчакова был директором школы до самой смерти в 1923 г. В этот период семье было тяжело и приходилось много трудиться, чтобы выжить. После восьмилетней школы Г.И. Горчаков поступил в Иваново-Вознесенский строительный техникум, летом подрабатывал на строительстве первого в СССР завода синтетического каучука. Поскольку Г.И. Горчаков с отличием окончил техникум, он без необходимости трехгодичной отработки получил возможность поступить в институт без экзаменов. Так в 1935 г. началась его карьера в МИСИ им. В.В. Куйбышева на факультете гидротехнического строительства.

Все студенческие годы Григорию приходилось подрабатывать репетитором по математике, а летом на стройке. По воспоминаниям Григория Ивановича, его заворожил громадный размах строительства больших плотин на Волге, на Волгострое, где он работал мастером в период летней практики. Огромное впечатление произвело на молодого человека применение новых материалов, современной техники и технология производства бетонных работ.

По окончании с отличием МИСИ в 1940 г. началась учеба в аспирантуре на кафедре строительных материалов. В Красную армию Горчакова не призвали – получил освобождение от службы по зрению. В августе 1941 г. в МИСИ была сформирована бригада добровольцев и направлена на Брянский фронт на строительство оборонительных рубежей для защиты Москвы с юга. В это же время Григорий Иванович добровольцем вступил в ряды Красной армии и стал командиром взвода, а затем роты. Руководил строительством мостов, переправ, укреплений, оборонных сооружений под Москвой, под Тулой, в Белоруссии, Польше и Германии, в том числе при форсировании Вислы и Одера. Отличная учеба в МИСИ позволила не только освободить инженерные и оборонные объекты, но разминировать минные поля и руководить такой

По окончании с отличием МИСИ в 1940 г. началась учеба в аспирантуре на кафедре строительных материалов. В Красную армию Горчакова не призвали – получил освобождение от службы по зрению. В августе 1941 г. в МИСИ была сформирована бригада добровольцев и направлена на Брянский фронт на строительство оборонительных рубежей для защиты Москвы с юга. В это же время Григорий Иванович добровольцем вступил в ряды Красной армии и стал командиром взвода, а затем роты. Руководил строительством мостов, переправ, укреплений, оборонных сооружений под Москвой, под Тулой, в Белоруссии, Польше и Германии, в том числе при форсировании Вислы и Одера. Отличная учеба в МИСИ позволила не только освободить инженерные и оборонные объекты, но разминировать минные поля и руководить такой

По окончании с отличием МИСИ в 1940 г. началась учеба в аспирантуре на кафедре строительных материалов. В Красную армию Горчакова не призвали – получил освобождение от службы по зрению. В августе 1941 г. в МИСИ была сформирована бригада добровольцев и направлена на Брянский фронт на строительство оборонительных рубежей для защиты Москвы с юга. В это же время Григорий Иванович добровольцем вступил в ряды Красной армии и стал командиром взвода, а затем роты. Руководил строительством мостов, переправ, укреплений, оборонных сооружений под Москвой, под Тулой, в Белоруссии, Польше и Германии, в том числе при форсировании Вислы и Одера. Отличная учеба в МИСИ позволила не только освободить инженерные и оборонные объекты, но разминировать минные поля и руководить такой

По окончании с отличием МИСИ в 1940 г. началась учеба в аспирантуре на кафедре строительных материалов. В Красную армию Горчакова не призвали – получил освобождение от службы по зрению. В августе 1941 г. в МИСИ была сформирована бригада добровольцев и направлена на Брянский фронт на строительство оборонительных рубежей для защиты Москвы с юга. В это же время Григорий Иванович добровольцем вступил в ряды Красной армии и стал командиром взвода, а затем роты. Руководил строительством мостов, переправ, укреплений, оборонных сооружений под Москвой, под Тулой, в Белоруссии, Польше и Германии, в том числе при форсировании Вислы и Одера. Отличная учеба в МИСИ позволила не только освободить инженерные и оборонные объекты, но разминировать минные поля и руководить такой

работой. Трудность представляли наши мины в толевых и деревянных оболочках — они не реагировали на миноискатели и устанавливались минерами Красной армии еще при отступлении. Немецкие мины были в металлическом кожухе, выявлялись миноискателями, но имели особую опасность из-за сложных способов установки. Очень часто разминирование таких участков проводил сам командир, а потом учил молодых солдат. При одном таком разминировании Г.И. Горчаков был контужен.

После Победы ему пришлось служить в армии еще около двух лет. Долгожданный приказ о демобилизации пришел лишь 26 февраля 1947 г. А уже 5 марта 1947 г. Григорий Иванович был восстановлен в аспирантуре МИСИ им. В.В. Куйбышева.

Трудно было тридцатилетнему фронтовику восстанавливать знания и вновь учиться. Казалось, все забыто. Вернувшийся к научной жизни аспирант на основе приобретенного на войне опыта быстро восстановил свои научные знания. Ему тогда очень помогла поддержка Бориса Григорьевича Скрамтаева. Кроме учебы на кафедре строительных материалов Горчаков посещал лекции и внимательно изучил специальный курс Петра Александровича Ребиндера на кафедре физической химии МГУ.

Результатом серьезной и кропотливой научной работы аспиранта Горчакова в течение двух с половиной лет стала кандидатская диссертация. Ее защита состоялась 22 ноября 1949 г. После этого была работа в институте НИИЦемент в должности старшего научного сотрудника. А вскоре Григорий Иванович был назначен руководителем лабораторий испытаний цемента и бетона. Одновременно с 1951 г. он стал преподавать в МИСИ на кафедре строительных материалов.

Лаборатория испытаний проводила оценку качества цементов, их минерального и вещественного состава, свойств. Работать приходилось в тесном контакте с заводскими и другими лабораториями, а также с головным институтом Гипроцемент, который находился в Ленинграде. Перспективными направлениями работы лаборатории были: специальные цементы, проблемы долговечности, стандарты и новые методы контроля качества. Командировки на цементные заводы и строительные объекты занимали до 40% времени. *Работа лаборатории выполнялась по схеме: актуальная тема — исследование — результат — внедрение на заводах.*

Особое место в профессиональной и научной деятельности Г.И. Горчакова занимает длительная командировка в Заполярье в города Мурманск и Североморск в 1951 г. В этих городах проводились натурные и стендовые испытания, а также опытное бетонирование фрагментов конструкций в зоне приливов и отливов. Испытания проводились в суровых условиях Крайнего Севера, морской воды и ее переменного уровня. Бетоны приготавливались на основе опытных цементов, разработанных в институте НИИЦемент. Работы продолжались десять лет. Это требовало регулярных исследований и испытаний не только опытных, но и натурных образцов, выпиленных из построенных конструкций [1]. Долговечность цементных систем стала для Г.И. Горчакова темой научного интереса всей жизни. В 1953 г. ему было присвоено ученое звание старшего научного сотрудника.

В 1954 г. важнейшей темой института НИИЦемент стала разработка технологии и освоение на цементных заводах производства быстротвердеющего цемента (БТЦ) для железобетонных изделий и конструкций. В результате командировки Г.И. Горчакова на Урал на Сухоложский цементный завод была выпущена опытная партия БТЦ. Эта работа коллектива авторов была отмечена Первой премией Всесоюзного химического

общества им. Д.И. Менделеева. Результаты вошли в сборник трудов НИИЦемент [1].

Работа в НИИ позволила Григорию Ивановичу получить результаты исследований, которые он использовал в монографиях, научных статьях, учебниках и лекциях [2–9].

В 1956 г. Г.И. Горчаков был избран по конкурсу на должность доцента кафедры строительных материалов МИСИ им. В.В. Куйбышева. Научная деятельность продолжилась на кафедре. Более того, получилось гармоничное сочетание науки и просвещения.

Григорий Иванович Горчаков был одним из первых ученых, кто планомерно развивал материаловедческое направление по исследованию долговечности цементных систем и строительных материалов. В результате анализа, обобщения известных данных, а также получения, обработки и комплексного материаловедческого анализа экспериментальных результатов была выстроена научная теория. Результаты получили промышленное внедрение и широко использовались на производстве. Логическим завершением этого этапа жизни ученого стало окончание работы над докторской диссертацией. Ее защита состоялась 24 декабря 1963 г. на заседании ученого совета МИСИ им. В.В. Куйбышева, а в 1967 г. Григорий Иванович получил звание профессора.

В 1968 г. профессор Горчаков стал заведующим кафедрой строительных материалов. К этому времени он был уже известным ученым, автором нескольких книг и десяти свидетельств на изобретение.

Под руководством Г.И. Горчакова сотрудниками кафедры были налажены научные и хозяйственные связи с институтами и предприятиями в нашей стране, а также в ГДР, Венгрии, Чехословакии, Болгарии, Вьетнаме, Западном Берлине. Проводились совместные исследования, научные конференции, семинары. Так, в 1970 г. Г.И. Горчаков был командирован во Вьетнам. По его воспоминаниям, в то время там шла война, поэтому занятия со студентами велись в джунглях. Вьетнамцы своими силами оборудовали учебные помещения и общежития. Стране требовалось восстановление разбитого цементного завода, налаживание производства сборных домов, организация учебной и научной работы. Тогда и были заложены основы тесного сотрудничества.

В 1975 г. профессор Горчаков стал председателем диссертационного совета по защите кандидатских диссертаций по специальности 05.23.05 «Строительные материалы и изделия».

В начале 1984 г. кафедра переехала со Спартаковской и Смирновской улиц в новый комплекс зданий МИСИ на Ярославском шоссе. Вопрос о новом учебном оборудовании и лабораторной мебели был решен в процессе строительства. Однако на современную исследовательскую лабораторию с уникальным компьютеризированным оборудованием средств не было. С разрешением этой задачи помогло НПО «КОМПОЗИТ», которое разместило на площадях кафедры свои самые современные установки. Их мировой уровень позволял исследовать состав, структуру и свойства строительных материалов. Проводились рентгенофазовые, микроструктурные, элементные, химические, спектральные исследования. Эта аппаратура позволяла анализировать текстуру, профили и пористость материалов и изделий, что привело к ряду открытий в строительном материаловедении.

Развитию производственных и научных связей по всему Советскому Союзу способствовало участие в конференциях, методических совещаниях, консультациях, чтении лекций, написании статей, монографий, издания учебников.

МИСИ им. В.В. Куйбышева был головным вузом в строительном образовании, поэтому преподаватели кафедры в 1970-е гг. значительно обновили методическое содержание студенческих и аспирантских программ. Развивалась теория и производство материалов новых видов: многослойных, пластмасс, композитов и др. Профессор Горчаков постоянно вводил в свои учебники новые разделы [5, 9].

В то время Григорий Иванович пришел к выводу, что прежний описательный курс по дисциплине «Строительные материалы» себя изжил. Требовался современный учебник на основе материаловедения. Надо учить студентов проектировать материал заданных свойств с использованием комплексной зависимости состав – структура – свойства. Именно такую задачу поставил себе профессор Горчаков перед написанием учебника в 1979 г. Учебник «Строительные материалы» [9] вышел в свет в 1981 г., не раз переиздавался, был переведен на испанский, вьетнамский, чешский и др. языки.

С конца 1970-х гг. Горчаков был членом Комитета по присуждению Ленинских и Государственных премий СССР в области науки и техники. В 1984 г. Г.И. Горчакову была присуждена Государственная премия СССР за разработку теории коррозии бетона и железобетона и создание на ее основе долговечных железобетонных конструкций массового строительства. В состав лауреатов вошли: В.М. Москвин, руководителю работы, С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, Е.А. Гузев, А.М. Подвальный (НИИЖБ), В.Б. Ратинов (МАДИ), А.Ф. Полак (УФНИ), В.И. Бабушкин (ХИСИ), Г.И. Горчаков (МИСИ им. В.В. Куйбышева).

В 1989 г. Г.И. Горчаков ушел с поста заведующего и стал профессором на кафедре, которую возглавлял более 20 лет. Сложилась научная школа. Профессор Горчаков всегда имел большой авторитет в научном мире. Многие годы он входил в экспертный совет ВАК при Совете Министров СССР, подготовил восемь докторов и 49 кандидатов технических наук, написал более 300 научных работ, включая девять монографий, 21 авторское свидетельство, два патента на изобретения. Им написано восемь учебников и шесть учебных пособий. Его учебники «Строительные материалы» до сих пор считаются лучшими, а монография «Состав, структура и свойства цементных бетонов» продолжила

его научную концепцию и уже давно стала бесспорной парадигмой.

В должности профессора Григорий Иванович работал с аспирантами, докторантами, писал учебники, статьи, проводил мастер-классы, консультации, вел научно-исследовательскую работу. В 1990 г. он совместно с Г.П. Сахаровым, Д.В. Орешкиным и Е.П. Скориковым разработал методологию выполнения студенческих курсовых работ с использованием теоретических знаний в инженерном проектировании бетонов для фундаментов, работающих в условиях многолетних мерзлых пород и минерализованных грунтовых вод. В 1992–1993 гг. совместно с Г.П. Сахаровым был получен грант по разделу «Развитие научных основ строительного материаловедения». В процессе работы удалось решить задачу прогнозирования свойств строительных композитов, применив структурные модели гетерогенных систем. Это решение дало возможность компьютерного проектирования материалов с заданными гарантированными свойствами [10].

В мае 1996 г. ученый совет МГСУ присвоил Григорию Ивановичу звание почетного профессора университета. Это признание и оценка труда коллегами его очень растрогали. В это время шла работа над коллективным учебником, изданным в 1997 г.

Он увлекся русской и зарубежной историей, не терпел предательства, любил дружеские посиделки с гитарой, литературу, особенно поэзию; его собственные стихи составили небольшой сборник.

В своих работах Г.И. Горчаков особую роль отводил исследованиям долговечности, гелевой, капиллярной, воздушной и общей пористости, морозостойкости и долговечности цементных систем. Его формулы пористости цементного камня и бетона в зависимости от массы цемента, воды затворения, водоцементного отношения, степени гидратации актуальны и сейчас.

В 2009 г. в МГСУ проводились научные чтения, посвященные памяти Григория Ивановича Горчакова, и был выпущен сборник трудов. В него вошла статья профессора Горчакова [10].

*Д.В. Орешкин
д-р техн. наук, профессор
dmitrii_oreshkin@mail.ru*

Список литературы

1. Горчаков Г.И. Цементы для строительства в морской воде // *Труды НИИЦемент.* М.: Промстройиздат, 1951. Вып. 4. С. 56–62.
2. Горчаков Г.И., Орентлихер Л.П., Лифанов И.И., Мурадов Э.Г. Повышение трещиностойкости и водостойкости легких бетонов. М.: Стройиздат, 1971. 158 с.
3. Горчаков Г.И., Орентлихер Л.П., Савин В.И., Воронин В.В., Алимов Л.А., Новикова И.П. Состав, структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1976. 145 с.
4. Горчаков Г.И., Соловьев В.И., Томашпольский А.Л., Хигерович М.И. Добавки гидрофобизирующего действия как фактор технико-экономической эффективности цементов и бетонов. Исследование и применение бетонов с суперпластификаторами. М.: НИИЖБ, 1982. С. 130–135.
5. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1986. 688 с.
6. Горчаков Г.И., Лифанов И.И., Терехин Л.Н. Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов. М.: Издательство стандартов, 1969. 167 с.

References

1. Gorchakov G.I. Cement for construction in sea water. *Proceedings NIICement.* Moscow: Promstroyizdat. 1951. Vol. 4, pp. 56–62. (In Russian).
2. Gorchakov G.I., Orentlikher L.P., Lifanov I.I., Muradov E.G. Povyshenie treshchinostojkosti i vodostojkosti lyogkih betonov [Increasing the crack resistance and water resistance of lightweight concretes]. Moscow: Sroyizdat. 1971. 158 p.
3. Gorchakov G.I., Orentlikher L.P., Savin V.I., Voronin V.V., Alimov L.A., Novikova I.P. Sostav, struktura i svojstva cementnyh betonov [The composition, structure and properties of cement concrete]. Moscow: Sroyizdat. 1976. 145 p.
4. Gorchakov G.I., Solovyev V.I., Tomashpolsky A.L., Higerovich M.I. Additives hydrophobising acts as a factor of technical and economic efficiency of cements and concretes. *Research and application of concrete with superplasticizers.* Moscow: NIIZhB. 1982. pp. 130–135. (In Russian).
5. Gorchakov G.I., Bazhenov Yu.M. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. Moscow: Sroyizdat. 1986. 688 p.
6. Gorchakov G.I., Lifanov I.I., Terekhin L.N. Koeffficienty temperaturnogo rasshireniya i temperaturnye deformacii stroitel'nyh materialov [The coefficients of thermal ex-

7. Горчаков Г.И., Хигерович М.И., Иванов О.М. и др. Вяжущие вещества, бетоны и изделия из них. М.: Высшая школа, 1976. 294 с.
 8. Горчаков Г.И., Лифанов И.И., Орешкин Д.В. Применение цементного композиционного материала с полыми стеклянными микросферами для утепления внутренней поверхности торцевых стен жилых домов // *Экспресс-информация «Современное состояние и тенденции больших городов в СССР и за рубежом»*. М.: МГЦТИ, 1989. 2 с.
 9. Горчаков Г.И. Строительные материалы. М.: Высшая школа, 1981. 412 с.
 10. Сахаров Г.П., Горчаков Г.И. О материаловедческой концепции создания строительных материалов с функционально заданными свойствами // *Сборник трудов научных чтений, посвященных памяти Горчакова Г.И. и 75-летию с момента основания кафедры строительных материалов МГСУ*. М.: МГСУ, 2009. С. 217–226.
7. Gorchakov G.I., Higerovich M.I., Ivanov O.M. et al. Vyazhushchie veshchestva, betony i izdeliya iz nih [Binders, concrete and products made of them]. Moscow: Higher School. 1976. 294 p.
 8. Gorchakov G.I., Lifanov I.I., Oreshkin D.V. The use of cement composite material with hollow glass microspheres for warming the interior surface of the end walls of houses. *Express information «Current status and trends of big cities in the USSR and abroad»*. Moscow: MGTSNTI. 1989. p. 2. (In Russian).
 9. Gorchakov G.I. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. Moscow: Higher School. 1981. 412 p.
 10. Sakharov G.P., Gorchakov G.I. About the concept of creation of materials science of building materials with predetermined properties functionally. *Proceedings of the Scientific Conference dedicated to the memory of GI Gorchakov and the 75th anniversary since the founding of the Department of Building Materials MSUCE*. Moscow: MSUCE. 2009. pp. 217–226. (In Russian).

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

Завод DRAUBER вышел на полную проектную мощность

8 июня 2016 г., в г. Электросталь Московской области состоялась торжественное открытие второй производственной линии завода по производству строительных материалов из автоклавного газобетона DRAUBER. Ввод в эксплуатацию второй линии позволит предприятию выйти на полную проектную мощность, увеличить годовой выпуск продукции из автоклавного ячеистого газобетона торговой марки DRAUBER до 600 тыс. м³/год и обеспечить заводу статус крупнейшего производителя газобетонной продукции в Московском регионе.

Первая производственная линия, изготовленная и установленная компанией WENRHANN (Германия), была введена в эксплуатацию в мае 2014 г. Она позволила выпускать до 800 м³ газобетона/сут.

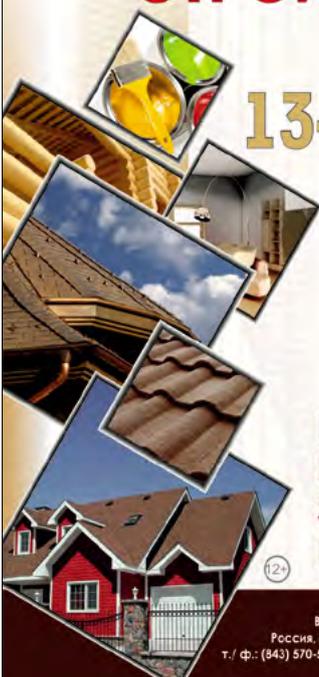
В настоящее время на заводе под контролем приглашенных немецких специалистов введена в эксплуатацию вторая полностью автоматизированная линия, изготовленная и установленная немецким концерном Masa-Henke. Общий объем инвестиций в строительство второй производственной линии составил около 2 млрд р. Мощность новой линии – 1200 м³ газобетона/сут. Суммарный выпуск продукции после выхода предприятия на полную проектную мощность составит порядка 2 тыс. м³ изделий из газобетона/сут.

В 2014 г. после запуска производства на заводе было создано 154 рабочих места. С введением в эксплуатацию второй линии появилась возможность увеличить штат сотрудников приблизительно еще на 100 человек.

Техническая оснащенность завода оборудованием от ведущих мировых производителей и строгий контроль качества с их стороны позволяют заводу соблюдать при выпуске продукции идеальные геометрические и физико-механические параметры газобетонных блоков. Предприятие выпускает полную линейку стеновых и перегородочных блоков для своих клиентов – строительных организаций Москвы и Подмосковья. Блоки DRAUBER используются в массовом многоэтажном и коттеджном строительстве.



XVIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ОСЕННИЙ **2016**
СТРОИТЕЛЬНЫЙ **КАЗАНЬ**
ФОРУМ
13-16 сентября



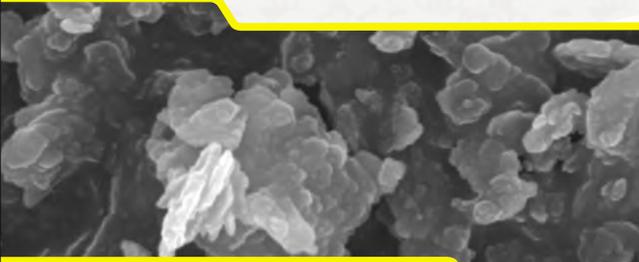
XVIII специализированная выставка
ЖИЛИЩЕ

X специализированная выставка
ИНЖЕНЕРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

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



ООО «СИНЕРГО»
 Производство инновационных минеральных продуктов



Продукция компании «СИНЕРГО»:

- **ВЫСОКОАКТИВНЫЙ МЕТАКАОЛИН (ВМК) (ВМК-35, ВМК-35 ВВу, ВМК-40, ВМК-45)**
 Наиболее эффективная из всех известных пуццолан. Применяется при производстве сухих смесей, цементов специального назначения, цеолитов, декоративных бетонов, бетонов с повышенными эксплуатационными характеристиками, самоуплотняющихся и высокопрочных бетонов.
- **РАСШИРЯЮЩИЙ МОДИФИКАТОР «METABOND»**
 Сульфидно-алюминатный расширяющий модификатор «MetaBond» применяется в коррозионно-стойких, напрягающих, расширяющихся, с частично компенсированной усадкой бетонов и растворов. Обеспечивает высокую прочность и низкую проницаемость бетона и раствора.

ООО «СИНЕРГО» Челябинская обл., пос. Желтинский, ул. Степная 1/3.
 тел. +7 (3519) 42-00-39, 39-77-57,
 www.metakaolin.ru e-mail: info@metakaolin.ru

ДЕСЯТАЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

При поддержке Правительства Республики САХА (Якутия)

ДОМ-2016

**МАЛОЭТАЖНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ. МЕБЕЛЬ. ИНТЕРЬЕР. ЛАНДШАФТ
 НЕДВИЖИМОСТЬ. ИПОТЕКА. СТРОИТЕЛЬСТВО. ИНВЕСТИЦИИ**

27-29 сентября 2016 г. ЯКУТСК



Организаторы:

 **Выставочная компания**
Сибэкспосервис
 г. Новосибирск

 **Выставочная компания**
СахаЭкспоСервис
 г. Якутск

Тел: (383) 3356350 - многоканальный
 E-mail: ses@avmail.ru, www.ses.net.ru

16+

УДК 666.9.04:535.37

Р.А. ПЛАТОВА¹, канд. техн. наук (raisa.platova@yandex.ru); В.А. РАССУЛОВ², канд. геол.-мин. наук; Ю.Т. ПЛАТОВ¹, д-р техн. наук; Т.М. АРГЫНБАЕВ³, генеральный директор, З.В. СТАФЕЕВА³, зам. директора по производству

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

² ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (119017, г. Москва, Старомонетный пер., 31)

³ ООО «Пласт-Рифей» (457020, Челябинская обл., г. Пласт, Магнитогорский тракт, 1)

Люминесцентный контроль пуццолановой активности метакеолина

Приведено исследование спектров фотолюминесценции метакеолина и идентифицированы две полосы оптически активных центров (ОАЦ) Fe^{3+} и $[\text{UO}_2]^{2+}$. Установлено, что изменение интенсивности полосы ОАЦ Fe^{3+} в спектре фотолюминесценции связано с изменением фазового состава и пуццолановой активности метакеолина. Интенсивность полосы ОАЦ Fe^{3+} в спектре фотолюминесценции метакеолина зависит от ряда факторов: температуры термообработки, содержания Fe_2O_3 в составе каолина, генезиса каолина (каолин по гранитам и гнейсам, щелочной каолин) и структурно-кристаллохимических особенностей каолинита. Показано, что после термообработки в диапазоне температур от 850 до 950°C снижается пуццолановая активность метакеолина, при этом резко увеличивается интенсивность полосы ОАЦ Fe^{3+} . Рекомендован показатель интенсивности полосы ОАЦ Fe^{3+} в спектре фотолюминесценции как экспресс-метод при контроле качества метакеолина.

Ключевые слова: метакеолин, пуццолановая активность, люминесценция, оптически активные центры, каолинит.

R.A. PLATOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (raisa.platova@yandex.ru); V.A. RASSULOV², Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy); Yu.T. PLATOV¹, Doctor of Sciences (Engineering); T.M. ARGYNBAEV³, General Director, Z.V. STAFEEVA³, Deputy Director for Production

¹ Plekhanov Russian University of Economics (36, Stremyanny Lane, 117997, Moscow, Russian Federation)

² All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M.Fedorovsky (31, Staromonetny lane, 119017, Moscow, Russian Federation)

³ LLC «Plast-Rifey» (1, Magnitogorskiy Trakt, Plast city, Chelyabinsk Region, Russian Federation)

Luminescence Control of Pozzolanic Activity of Metakaolin

The study of spectra of photoluminescence of metakaolin has been conducted; two bands of optically active centers (OAC) Fe^{3+} and $[\text{UO}_2]^{2+}$ have been identified. It is established that the change in the intensity of the band OAC Fe^{3+} in the photoluminescence spectrum is connected with the change in the phase composition and pozzolanic activity of metakaolin. The intensity of the band OAC Fe^{3+} in the photoluminescence spectrum of metakaolin depends on a number of factors: temperature of heat treatment, content of Fe_2O_3 in the composition of metakaolin, kaolin genesis (kaolin by granites and gneisses, alkaline kaolin) and structural-crystallochemical features of kaolinite. It is shown that after heat treatment in the range of 850–950°C the pozzolanic activity of metakaolin reduces and, at that, the intensity of band OAC Fe^{3+} increases sharply. An indicator of intensity of the band OAC Fe^{3+} in the photoluminescence spectrum is recommended as an express-method for control over the metakaolin quality.

Keywords: metakaolin, pozzolanic activity, luminescence, optically active centers, kaolinite.

Технология производства метакеолина (МК) основана на термической обработке каолина. Изучены условия термической обработки каолина месторождения Журавлиный Лог для получения метакеолина [1]. Определены основные факторы: структурно-кристаллохимические особенности и размер частиц каолинита, интервал и максимальная температура термообработки, влияющие на пуццолановую активность и цветовые характеристики метакеолина [1, 2]. Для получения максимальных значений пуццолановой активности метакеолина температура внутри объема обжигаемого продукта должна быть не более 900°C. Превышение температуры термообработки приводит к появлению стекловидной фазы в составе метакеолина и снижению пуццолановой активности [1].

Для ведения непрерывного технологического процесса в оптимальном режиме необходима оперативная информация о фазовом составе метакеолина и система поддержки принятия решений по управлению производством. Для получения такой оперативной информации можно рекомендовать оптические методы: спектроколориметрический и люминесцентный.

Электронная оптическая спектроскопия, изучающая спектры поглощения и люминесценции вещества, является одним из современных физических методов. Окраска присуща всем веществам, а люминесценция — очень малой части, тем не менее по доступности наблюдения, наглядности, высокой чувствительности, возможности дистанционного наблюдения при неразруша-

ющем исследовании люминесценция занимает особое место в методах исследования материалов.

Колористические характеристики, основанные на спектрах поглощения, можно использовать как экспресс-метод при контроле технологического режима производства метакеолина с высокой пуццолановой активностью. Показано [2], что после термической обработки каолина в широком диапазоне температуры (600–950°C) максимальные значения пуццолановой активности соответствуют максимальным значениям красноты $a^* \text{ CIE L}^* a^* b^*$ метакеолина.

Предлагаемый в данной работе метод основан на анализе спектра люминесценции изучаемой поверхности, возбуждаемой мощным импульсным излучением лазера ультрафиолетового диапазона [3].

На люминесцентные свойства метакеолина существенно влияют примеси — люминофоры, которые содержатся в исходном каолине и при термообработке формируют систему оптически активных центров (ОАЦ). Представляется актуальным изучение композиции ОАЦ и их характеристики в зависимости от технологических факторов, определяющих пуццолановую активность метакеолина.

Цель данной работы — исследование люминесцентных свойств метакеолина и использование показателей этих свойств для контроля технологического режима при производстве метакеолина с высокой пуццолановой активностью.

Таблица 1

Характеристики ОАЦ в спектрах люминесценции метакАОлина и изменение интенсивности полос от температуры термообработки

Индекс пробы	Температура, °С	Тип центра и диапазон длин волн (λ_{max}), нм	
		[UO ₂] ²⁺ , 520–540	Fe ³⁺ , 720–740
Интенсивность полосы, без задержки, отн. ед.			
ЦО	600	1105	585
	650	1077	604
	700	1079	856
	750	1147	1090
	800	1144	1123
	850	1884	2668
	900	1900	4933
	950	2122	12555
	1000	3938	70930
ФД	600	–	–
	650	1065	859
	700	1145	1383
	750	1281	1185
	800	1149	1102
	850	1387	2108
	900	1390	2566
	950	3396	57261
	1000	3188	64751

Исследования проводились на метакАОлине, полученном из каолина с различных участков месторождения Журавлиный Лог (Челябинская обл.). Каолинсырец обогащен сухим способом по технологии ООО «Пласт Рифей» с выделением четырех фракций: ЦО – фракция каолина с циклона основного; ЦП – метакАОлин из фракции каолина с циклона перечистного; ФД – метакАОлин из фракции каолина с фильтра дымового; ФТ – метакАОлин из фракции каолина с фильтра технологического. Содержание Fe₂O₃ в составе фракций каолина (мас. %): ЦО – 0,33; ЦП – 0,37; ФД – 0,34; ФТ – 0,43, каолинита 92–98. [1, 2]. Пробы каолина всех фракций были термообработаны в широком диапазоне температуры (600–950°С) с шагом в 50°С.

Для изучения люминесцентных свойств метакАОлина отобраны пробы каолина, различающегося по генезису [4]: каолин по гранитам (тип А); щелочной каолин по гранитам (тип В) и каолин по гнейсам (тип С) (содержание Fe₂O₃ 0,33–1,82 мас. %), и термообработаны при температуре 900°С.

Пуццолановую активность определяли по общей кислотной растворимости (ОКР, %) метакАОлина и по тесту Шаппеля (ПА, г/г) [1].

Исследования фотолюминесценции проведены на компьютеризованном комплексе с использованием микроспектрофотометра (МСФУ – 312, НПО «ЛОМО», Россия); N₂-лазера с длиной волны излучения 337,1 нм (3,67 эВ) (ЛГИ–505, НПО «Плазма», Россия) и системы регистрации в стандарте КАМАК (ФГУП ЭЗАН, Россия) [3].

Измерения проведены при комнатной температуре. Сначала записывали спектр в интегральном по времени режиме в диапазоне 390–850 нм с шагом в 2 нм, а затем, не изменяя положения образца, с временной задержкой

180 мкс после импульса лазера. Широкие полосы люминесценции металл-кислородных комплексов состоят из полос с малым (1–20 мкс) и большим (200–500 мкс) временем затухания. При времени задержки 180 мкс после импульса лазера регистрируются только полосы с большим временем затухания, что позволяет более точно определять их интенсивности. Контроль чувствительности установки и мощности излучения лазера проводили по эталону – образцу уранового стекла ЖС-19, входящего в набор микроспектрофотометра. Калибровку спектрометра по длине волны проводили по излучению ртутно-гелиевой лампы ДРГС-12. Учет спектральной чувствительности установки не проводился.

Расчет интенсивностей полос ОАЦ осуществляется с помощью программного обеспечения Origin 8.1. Процесс деконволюции проведен с использованием функций Гаусса и с использованием минимального количества компонентов. Результаты были охарактеризованы квадратом коэффициента регрессии (R² > 0,94).

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)). Цветовые характеристики представлены в системе CIEL*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 [5].

Идентификация оптически активных центров фотолюминесценции метакАОлина. Интенсивность фотолюминесценции метакАОлина зависит от длины волны возбуждающего излучения, содержания и координационно-валентного состояния элементов-люминогенов, соотношения аморфной и аморфной стекловидной фаз, максимальной температуры и состава газовой среды при термообработке.

В спектрах фотолюминесценции образцов метакАОлина (рис. 1) выявлены полосы ОАЦ Fe³⁺ и [UO₂]²⁺ (табл. 1) [6]. Идентификацию типа ОАЦ в метакАОлине проводили по положению максимума полосы, ее полуширине и кинетике затухания, определяемой из интегрального и спектра с задержкой регистрации [7, 8].

Трехвалентное железо является одной из наиболее распространенных примесей в природных минералах и продуктах их переработки, однако долгое время считалось, что ионы железа выступают только как гасители люминесценции [7]. Расширение спектрального диапазона исследований в ближнюю инфракрасную область (650–850 нм) позволило установить полосы люминесценции Fe³⁺ во многих алюмосиликатах. Так, все изученные образцы полевых шпатов обладают люминесценцией в красной области спектра (710–780 нм), максимум полосы которой смещается в зависимости от состава. Совместное исследование методами люминесценции и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) показало [7], что центрами люминесценции являются тетраэдрически координированные ионы Fe³⁺, занимающие позиции Al и Si. Для люминесценции Fe³⁺ характерны гауссова форма полосы и большая длительность затухания, порядка нескольких миллисекунд.

Как показали многочисленные исследования [7, 8] катион U⁶⁺ создает ОАЦ главным образом в виде уранила [UO₂]²⁺, обладающего вследствие кристаллохимической особенности и специфики электронной структуры высокой индивидуальностью – структурированностью полосы, большой длительностью затухания люминесценции. Высокая устойчивость уранила позволяет ему сохраняться в виде молекулярного иона в различных условиях, сохраняя общий характер спектров люминесценции, и только особенности тонкой структуры спек-

Интенсивность ОАЦ метакaoлина после термической обработки при 900°C

Индекс пробы	Содержание Fe_2O_3 , мас. %	Индекс кристалличности каолинита по Хинкли, χ^R	Fe^{3+}			$[UO_2]^{2+}$		
			Положение максимумов интенсивности полос (λ_{max}), эВ	Полуширина, эВ	Интенсивность полос, отн. ед.	Положение максимумов интенсивности полос (λ_{max}), эВ	Полуширина, эВ	Интенсивность полос, отн. ед.
A1	0,43	1,12	1,72	0,162	9543	2,34	0,348	5445
A2	0,45	1,06	1,7	0,15	14116	2,34	0,298	4158
A3	0,75	0,88	1,69	0,142	17441	2,34	0,294	4335
A4-1	0,86	0,89	1,68	0,133	23117	2,35	0,272	3107
A4-2	1,38	1,11	1,68	0,131	28753	2,32	0,356	2649
B5	0,56	0,82	1,68	0,133	32486	2,35	0,259	9307
B7	0,86	0,84	1,68	0,128	27755	2,35	0,256	4056
B8	1,21	0,73	1,68	0,128	31137	2,35	0,257	5745
C13	1,82	1,15	1,69	0,143	5192	2,32	0,485	2473

тров определяются структурой и свойствами локального окружения.

Изменение интенсивности полос фотолюминесценции метакaoлина от индекса кристалличности каолинита и содержания оксидов железа в каолине. Люминесцентные свойства метакaoлина после термообработки при 900°C в окислительной атмосфере изменяются в зависимости от генезиса каолина: по гранитам (тип А), щелочной каолин (тип В) и каолин по гнейсам (тип С) и содержания оксидов железа Fe_2O_3 в его составе (от 0,43 до 1,38 мас. % для каолина по гранитам и 1,82 мас. % для каолина по гнейсам) (табл. 2).

Интенсивность полосы ОАЦ Fe^{3+} метакaoлина из каолина по гранитам при увеличении Fe_2O_3 возрастает с 9543 до 32486 отн. ед. со смещением центра с 1,72 до 1,68 эВ (720 и 734 нм соответственно), а интенсивность полосы ОАЦ $[UO_2]^{2+}$ снижается с 5445 до 2649 соответственно.

Интенсивность полос ОАЦ Fe^{3+} фотолюминесценции метакaoлина (27755–32486 отн. ед.) из щелочного каолина по гранитам больше по сравнению с соответствующими значениями метакaoлинов из каолина по гранитам и гнейсам. По-видимому, повышение интенсивности полосы ОАЦ Fe^{3+} люминесценции метакaoлина связано со структурно-кристаллохимическими особенностями каолинита: каолинит щелочного каолина имеет меньшие размеры кристаллитов и является более дефектным [4]. При более мелких размерах кристаллитов и с повышением дефектности структуры каолинита, с одной стороны, при термообработке каолина более активно происходит сегрегация каолинита с выделением структурного железа и увеличением интенсивности полосы ОАЦ Fe^{3+} фотолюминесценции, а с другой – повышается пуццолановая активность метакaoлина [1].

Интенсивность полос ОАЦ Fe^{3+} и $[UO_2]^{2+}$ метакaoлина из каолина по гнейсам значительно меньше, но при этом соблюдается соотношение по интенсивности полос: ОАЦ Fe^{3+} = 5192 отн. ед. больше интенсивности ОАЦ $[UO_2]^{2+}$ = 2474 отн. ед. соответственно. Более низкая интенсивность полос ОАЦ Fe^{3+} фотолюминесценции метакaoлина из каолина по гнейсам обусловлена, вероятно, рядом факторов:

– структурно-кристаллохимические особенности каолинита оказывают влияние на фазовый состав и активность метакaoлина [1, 4]: каолин по гнейсам (тип С) имеет более высокие значения индекса кристалличности каолинита по Хинкли χ^R = 1,15 против каолина по

гранитам χ^R ~ 0,88-1,12 (тип А и В) и, соответственно, размеры кристаллитов каолинита: чем меньше размер кристаллитов каолинита, тем выше пуццолановая активность метакaoлина из него;

– эффектом тушения фотолюминесценции при содержании Fe_2O_3 > 1 мас. % в составе каолина по гнейсам (проба С13, табл. 2), но щелочной каолин по гранитам также содержит Fe_2O_3 > 1 мас. % (проба В8) и при этом имеет более высокие значения интенсивности полосы ОАЦ Fe^{3+} фотолюминесценции за счет повышенного содержания щелочей, выступающих в роли компенсатора заряда при замещении трехвалентным железом четырехвалентного кремния.

Изменение люминесцентных свойств метакaoлина от температуры термообработки. Значения интенсивности полос ОАЦ Fe^{3+} и $[UO_2]^{2+}$ метакaoлина из двух технологических фракций каолина: ЦО – с циклона основного; ФД – с фильтра дымового представлены в табл. 1. Содержание Fe_2O_3 в составе каолина минимальное (0,33–0,34 мас. %), что минимизирует влияние содержания оксидов железа на интенсивность полосы ОАЦ Fe^{3+} . По общей кислотной растворимости (ОКР) мета-

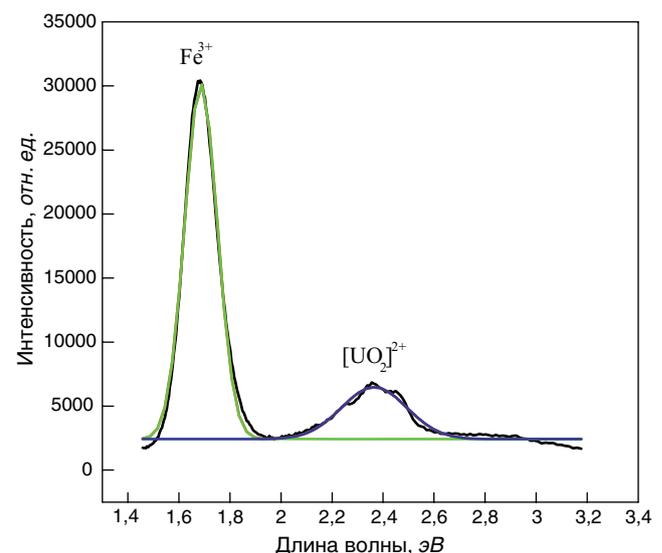


Рис. 1. Спектр люминесценции метакaoлина после термической обработки при 900°C. Процесс деконволюции спектра на две полосы ОАЦ Fe^{3+} и $[UO_2]^{2+}$ проведен с использованием функции Гаусса

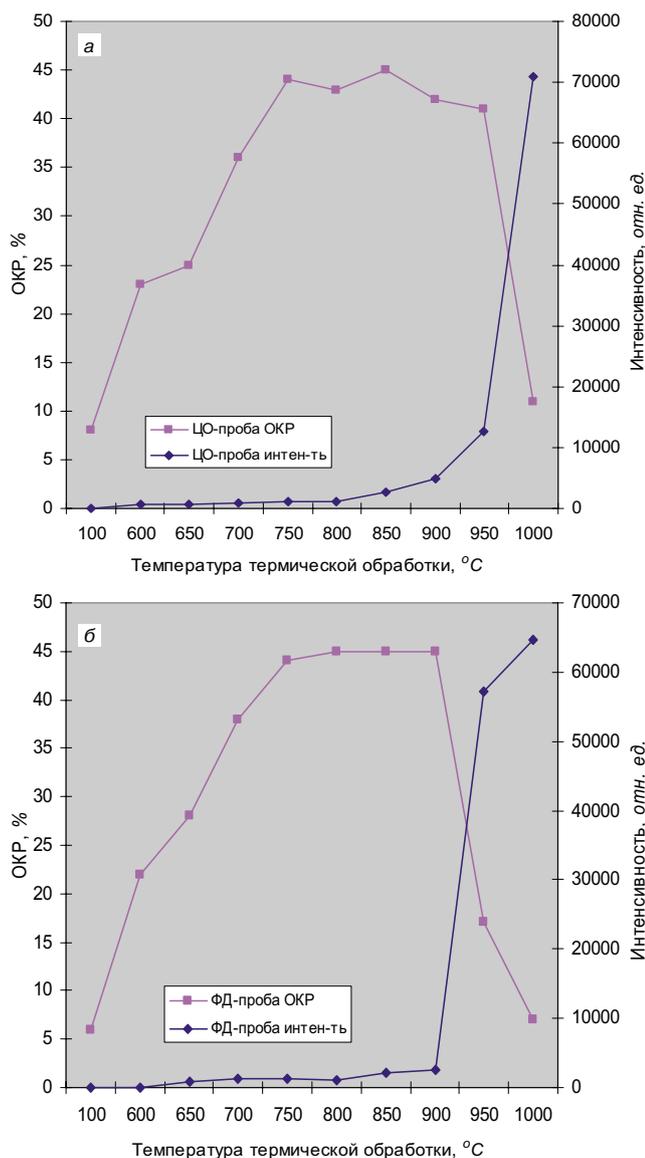


Рис. 2. Взаимосвязь интенсивности полосы ОАЦ Fe³⁺ (отн. ед) люминесценции и общей кислотной растворимости (ОАК, %) метакатолина в диапазоне температуры термообработки (600–1000°С). Метакатолин из технологических фракций каолина: а – ЦО; б – ФД (после сушки при 100°С)

каолина определен оптимальный диапазон температуры: 750–950°С – для фракции каолина ЦО; 750–900°С – для фракции ФД.

В зависимости от термообработки метакатолина в диапазоне 600–1000°С интенсивность полос ОАЦ Fe³⁺ и [UO₂]²⁺ изменяется по-разному: незначительно для полосы [UO₂]²⁺ и резко для полосы Fe³⁺ в диапазоне 900–950°С (рис. 2).

После термообработки метакатолина в диапазоне температуры 600–750°С (область дегидроксилирования каолинита) и выше происходит повышение желтизны b* и красноты a*. Изменение цветности a* и b* объясняется увеличением доли структурного железа (Fe_{2-x}·Al_xO₃), которое постепенно с повышением температуры выделяется при сегрегации метакатолина и превращается в Fe₂O₃ (гематит) [9]. По-видимому, небольшое увеличение доли структурного железа и объясняет незначительное повышение интенсивности полосы ОАЦ Fe³⁺ метакатолина вплоть до температуры образования расплава и стекловидной фазы.

При термообработке метакатолина из фракций каолина ФТ и ЦО выше температуры 900 и 950°С соот-

ветственно отмечается резкое повышение интенсивности полосы ОАЦ Fe³⁺ метакатолина. Показано [2], что после термообработки метакатолина в диапазоне этой температуры начинают снижаться значения красноты a* и желтизны b* в цветовой системе CIEL*a*b* [2]. Источником ОАЦ Fe³⁺ люминесценции метакатолина является магниторазбавленная форма железа или силикатное железо, которое образуется при растворении вновь образованного гематита в силикатном расплаве при термообработке метакатолина. Ранее показано [1], что во фракции каолина с фильтров ФД при термообработке начиная с 900°С образуется расплав, который при охлаждении образует стекловидную фазу. Следовательно, появление стекловидной фазы в составе метакатолина, с одной стороны, способствует снижению пуццолановой активности метакатолина, а с другой – растворению гематита и повышению интенсивности полосы ОАЦ Fe³⁺ фотолюминесценции метакатолина.

Взаимосвязь пуццолановой активности с интенсивностью ОАЦ Fe³⁺ и температуры термообработки метакатолина. Сопоставлены значения интенсивностей полос ОАЦ Fe³⁺ и общей кислотной растворимости (ОАК) от температуры термообработки метакатолина из двух технологических фракций каолина ЦО и ФД (рис. 2). Интенсивность полосы ОАЦ Fe³⁺ фотолюминесценции имеет обратную зависимость от значений общей кислотной растворимости метакатолина в диапазоне температур термообработки от 800–850 до 1000°С. Повышение интенсивности полосы ОАЦ Fe³⁺ в этом диапазоне сопровождается понижением пуццолановой активности метакатолина по значениям ОАК по мере увеличения стекловидной фазы. Следовательно, взаимосвязь двух показателей – интенсивность полосы ОАЦ Fe³⁺ и пуццолановой активности объясняется изменением фазового состава метакатолина.

Статистическая модель взаимосвязи пуццолановой активности метакатолина и оптических свойств. Для построения статистической модели взаимосвязи показателей пуццолановой активности метакатолина и оптических свойств использован метод главных компонент (программа «STATISTICA 6», модуль Principal Components). Две главные компоненты F1 и FII описывают 86,8% от общей дисперсии (рис. 3). Согласно факторным нагрузкам (f(x)) переменных на главные компоненты, их можно интерпретировать следующим образом (рис. 3):

- первая главная компонента F1 значима со всеми переменными, кроме ОАЦ [UO₂]²⁺, и из данных следует: чем больше пуццолановая активность метакатолина (ОАК и ПА) и его краснота a* и желтизна b*, тем меньше интенсивность полос ОАЦ Fe³⁺ люминесценции и, наоборот, при увеличении интенсивности полос ОАЦ Fe³⁺ люминесценции метакатолина снижается пуццолановая активность;

- вторая главная компонента FII связана с интенсивностью полос ОАЦ [UO₂]²⁺ люминесценции метакатолина: при увеличении интенсивности полосы ОАЦ [UO₂]²⁺ и красноты a* при снижении желтизны b* (диапазон температуры термообработки 750–850°С) слабо повышается пуццолановая активность метакатолина.

Для оценки дискриминантных возможностей переменных (пакет «STATISTICA 6», модуль Discriminant Analysis), характеризующих пуццолановую активность и цветность метакатолина, использована статистика F-исключение (табл. 3). Если две переменные имеют высокую взаимную корреляцию, например в нашем случае показатель пуццолановой активности ПА, г/г, ОАК, %, то выбирается один из них. Поэтому все переменные с высоким уровнем значимости (p<0,00), кроме двух – ПА и ОАЦ [UO₂]²⁺, участвуют в градации пуццолановой активности метакатолина по оптическим свой-

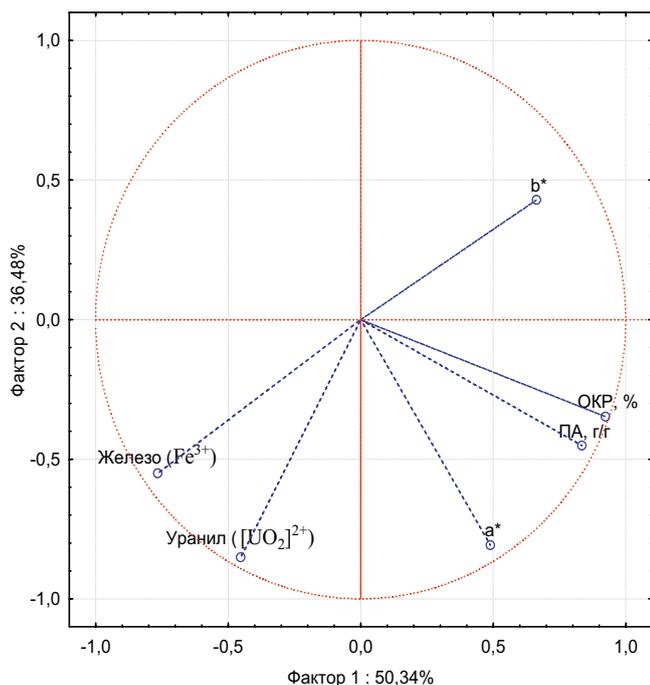


Рис. 3. Расположение точек, соответствующих значениям показателей пуццолановой активности (ПА и ОКР) и оптических характеристик: интенсивность ОАЦ Fe^{3+} и $[UO_2]^{2+}$; координат цветности a^* и b^* образцов метакаолина, в координатах двух главных компонент (фактор 1 и фактор 2)

ствам — координаты цветности a^* и b^* и интенсивность полосы ОАЦ Fe^{3+} .

Модуль Discriminant Analysis пакета «STATISTICA 6» позволяет проводить оценки эффективности переменных с пошаговым включением Forward stepwise (пошаговый вперед) или исключением переменных Backward stepwise (пошаговый назад) из отобранных переменных, чтобы исключить избыточность переменных.

При проведении дискриминантного анализа с применением пошагового метода с исключением выбраны только два показателя — интенсивность ОАЦ Fe^{3+} и общая кислотная растворимость (табл. 4).

При применении пошагового метода с включением помимо указанных выше переменных дополнительно выделяются еще два показателя: краснота a^* и желтизна b^* (табл. 4).

Таким образом, два независимых пошагового метода дискриминантного анализа показали, что можно использовать два показателя: интенсивность ОАЦ Fe^{3+} и показатель ОКР метакаолина для контроля качества при его производстве.

Заключение.

Исследованы спектры фотолюминесценции метакаолина, возбуждаемой импульсным излучением лазера ультрафиолетового диапазона (337,1 нм). В спектре фотолюминесценции метакаолина идентифицированы две полосы ОАЦ Fe^{3+} и $[UO_2]^{2+}$ с положениями центров максимума интенсивности полос, соответствующих 1,68–1,72 эВ (720–738 нм) и 2,32–2,35 эВ (527–534 нм).

Методом многомерного статистического анализа данных установлено, что из двух полос ОАЦ Fe^{3+} и $[UO_2]^{2+}$ фотолюминесценции метакаолина наиболее значима интенсивность полосы ОАЦ Fe^{3+} . Изменения интенсивности полосы ОАЦ Fe^{3+} фотолюминесценции связаны с

Список литературы

1. Платова Р.А., Аргынбаев Т.М., Стафеева З.В. Влияние дисперсности каолина месторождения Журавлинский Лог на пуццолановую активность метакаолина // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 75–80.

Таблица 3

Проверка статистической значимости переменных для градации пуццолановой активности метакаолина по оптическим свойствам

Показатель свойств	F-исключение	Уровень значимости, α
ОКР	37,8	<0,000
ПА	1,0	0,380
a^*	6,7	<0,001
b^*	4,8	0,003
ОАЦ $[UO_2]^{2+}$	0,9	0,451
ОАЦ Fe^{3+}	8,3	<0,000

Таблица 4

Стандартизованные коэффициенты для переменных статистической модели градации пуццолановой активности метакаолина по оптическим свойствам

Пошаговый метод дискриминантного анализа	Показатели	Дискриминантная функция	
		1	2
С включением переменных	ОКР, %	1,24	0,09
	ОАЦ Fe^{3+}	0,79	-0,95
	a^*	0,56	-0,61
	b^*	0,48	-0,65
С исключением переменных	ОКР, %	-1,27	-0,13
	ОАЦ Fe^{3+}	-0,69	-1,08

процессами превращения метакаолина при термической обработке и пуццолановой активностью метакаолина. Показано, что после термообработки в диапазоне температуры 850–950°C резко увеличивается интенсивность полосы ОАЦ Fe^{3+} и снижается пуццолановая активность метакаолина. Интенсивность полосы ОАЦ Fe^{3+} фотолюминесценции метакаолина изменяется в зависимости от температуры термообработки следующим образом:

– в диапазоне 600–950°C слабое постепенное повышение связано с сегрегацией каолинита и выделением структурного железа. Основная доля структурного железа превращается в гематит, что подтверждается увеличением значений координаты красноты a^* ;

– в диапазоне 850–1000°C отмечается резкое повышение интенсивности этой полосы, связанное с появлением расплава в составе метакаолинита, растворением гематита и увеличением доли структурного железа в составе стекловидной фазы метакаолина.

Люминесцентные свойства метакаолина после термообработки при 900°C изменяются от разных факторов: от содержания Fe_2O_3 в составе каолина (от 0,43 до 1,88%); генезиса каолина (каолин по гранитам и гнейсам, щелочной каолин) и от структурно-кристаллохимических особенностей каолинита (размер кристаллитов и дефектности каолинита). В зависимости от этих факторов значения интенсивности полосы ОАЦ Fe^{3+} фотолюминесценции метакаолина изменяются в определенном диапазоне, вплоть до температуры термообработки, при которой возможно образование расплава и при охлаждении стекловидной фазы в составе метакаолина.

References

1. 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).

2. Платова Р.А., Платов Ю.Т., Аргынбаев Т.М., Стафеева З.В. Белый метаксаолин: факторы, влияющие на окраску, и методы оценки // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 55–60.
3. Рассулов В.А. Локальная лазерная с учетом кинетики затухания люминесцентная спектроскопия минералов (на примере циркона). М.: ВИМС. 2005. 16 с.
4. Платова Р.А., Стафеева З.В. Природа разжижаемости и текучести каолина месторождения Журавлиный Лог // *Стекло и керамика*. 2012. № 3. С. 12–21.
5. Платов Ю.Т., Платова Р.А. Инструментальная спецификация цветовых характеристик строительных материалов // *Строительные материалы*. 2013. № 4. С. 66–72.
6. Платова Р.А., Рассулов В.А., Шмарина А.А. Идентификация минеральных примесей в составе каолина и фарфора на его основе методом люминесцентной спектроскопии // *Международная научная конференция «Федоровская сессия – 2008»*. СПб. 2008. С. 293–295.
7. Тарашан А.Н. Люминесценция минералов. Киев: Наукова думка. 1978. 296 с.
8. Рассулов В.А., Рогожин А.А., Гафт М.Л., Горобец Б.С. Люминесцентно-спектральные характеристики наиболее распространенных минералов при возбуждении ультрафиолетовым лазером // *Записки Всесоюзного минералогического общества*. 1988. Вып. 4. С. 474–479.
9. Castelein O., Aldon L., Olivier-Fourcade J. etc. ⁵⁷Fe Messbauer 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.
2. Platova R.A., Platov Yu.T., Argynbaev T.M., Stafeeva Z.V. White Metakaolin: Factors Influencing on Coloring and Evaluating Methods. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 55–60. (In Russian).
3. Rasulov V.A. Lokal'naya lazernaya s uchetom kinetiki zatukhaniya lyuminescentnaya spektroskopiya mineralov (na primere tsirkona) [Local luminescent spectroscopy of minerals, laser taking into account attenuation kinetics (on the example of zircon)]. Moscow: VIMS. 2005. 16 p.
4. Platova R.A., Stafeeva Z.V. Nature of the liquescency and fluidity of a kaolin of the field Zhuravliniy Log. *Steklo i keramika*. 2012. No. 3, pp. 12–21. (In Russian).
5. Platov Yu.T., Platova R.A. Instrumental Specification of Colour Characteristic of Building Materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 4, pp. 66–72. (In Russian).
6. Platova R.A., Rassulov V.A., Shmarina A.A. Identification of mineral impurity as a part of a kaolin and porcelain on his basis by method of luminescent spectroscopy. *The international scientific conference "Fedorovskiy session – 2008"*. Sankt-Peterburg. 2008, pp. 293–295. (In Russian).
7. Tarashchan A.N. Lyuminescentiya mineralov [Luminescence of minerals]. Kiev: Naukova Dumka. 1978. 296 p.
8. Rassulov V.A., Rogozhin A.A., Gaft M.L., Gorobets B.S. Luminescent spectral characteristics of the most widespread minerals at excitement by the ultra-violet laser. *Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva*. 1988. Vol. 4, pp. 474–479. (In Russian).
9. Castelein O., Aldon L., Olivier-Fourcade J. etc. ⁵⁷Fe Messbauer 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. No. 11, pp. 1767–1773.

СТРОИТЕЛЬСТВО

2016 ВЫСТАВКА-ФОРУМ

9-11 АВГУСТА

ЧЕЛЯБИНСК





**ПЕРВОЕ
ВЫСТАВОЧНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ**

ДС «Юность», Свердловский пр., 51
тел.: (351) 755-55-10, www.pvo74.ru

В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести специальную литературу

Монография «Защита деревянных конструкций»

Автор – Ломакин А.Д.

Приведены результаты исследований и рекомендации по конструкционной и химической защите деревянных конструкций. Особое внимание уделено защите несущих клееных деревянных конструкций и конструкций из ЛВЛ от эксплуатационных воздействий и возгорания. Описаны традиционные и разработанные автором методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натурных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Представлены результаты мониторинга влажностного состояния несущих ДКК в таких крупных объектах, как ЦВЗ «Манеж», крытый конькобежный центр в Крылатском в Москве и др., при проведении которого использована разработанная автором методика оценки древесины с использованием модельных образцов.



Учебное пособие «Химическая технология керамики»

Авторы – Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гузман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С.

Освещены вопросы современного состояния технологии основных видов керамических изделий строительного, хозяйственно-бытового и технического назначения, а также различных видов огнеупоров. Главное внимание уделено основным процессам технологии керамики и ее свойствам. Подробно изложены характеристика различных видов сырья, проблемы подготовки керамических масс различного вида и их формование различными методами, особенности механизмов спекания, а также дополнительные виды обработки керамики: металлизация, глазурирование, декорирование, механическая обработка. Детально описаны свойства керамических изделий – механические, деформационные, теплофизические, электрофизические, в том числе при высоких температурах.



Учебное пособие «Практикум по технологии керамики»

Авторы – коллектив ученых РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Рассмотрены основные методы отбора проб, испытаний сырьевых материалов, контроля и исследования технологических процессов, а также определения свойств готовой продукции, применяемые в керамической, огнеупорной и смежных отраслях промышленности. Пособие может быть использовано не только как учебное, но и в качестве полезного руководства для инженеров заводских и научно-исследовательских лабораторий.



Книга «Керамические пигменты»

Авторы – Масленникова Г.Н., Пиц И.В.

В монографии рассмотрены физико-химические основы синтеза пигментов, в том числе термодинамическое обоснование реакций, теория цветности, современные методы синтеза пигментов и их классификация, методы оценки качества. Приведены сведения по технологии пигментов и красок различных цветов и кристаллических структур. Описаны современные методы декорирования керамическими красками изделий из сортового стекла, фарфора, фаянса и майолики. Книга предназначена для научных сотрудников, студентов, специализирующихся в области технологии керамики и стекла, а также для инженерно-технических работников, занятых в производстве керамических изделий и красок.



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.



Книга «Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий»

Авторы – Балакшин Ю.З., Терехов В.А.

Описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Даны характеристики сырьевым материалам – песку, щебню, вяжущим и химическим добавкам, и рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.



Заказать литературу можно через редакцию, направив заявку произвольной формы по факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36; e-mail: mail@rifsm.ru, или оформить заявку на сайте www.rifsm.ru

УДК 625.861

А.В. КОЧЕТКОВ¹, д-р техн. наук (soni.81@mail.ru); Ш.Н. ВАЛИЕВ², канд. техн. наук;
С.Ю. АНДРОНОВ³, канд. техн. наук; Д.А. КЛИМОВ⁴, инженер

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29);

² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (125319, г. Москва, Ленинградский просп., 64);

³ Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

⁴ Владимирский государственный университет им. Николая Григорьевича и Александра Григорьевича Столетовых (600000, Владимирская обл., г. Владимир, ул. М. Горького, 87)

Рекомендации по определению теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов

Проект отраслевого дорожного методического документа разработан Федеральным автономным учреждением «РОСДОРНИИ». Проект устанавливает рекомендации по определению теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов при исследовании возможного диапазона изменения влажности, плотности и температуры материалов и грунтов, расположенных в дорожных конструкциях в районах сезонного промерзания (оттаивания) автомобильных дорог и искусственных сооружений на них, выбора методов измерения и приборов, обеспечивающих достоверные и воспроизводимые результаты определения теплофизических характеристик материалов дорожных одежд и грунтов земляного полотна.

Ключевые слова: теплофизические свойства, объемная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, теплоусвояемость, дисперсные материалы, грунты.

A.V. KOCHETKOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (soni.81@mail.ru); Sh.N. VALIYEV², Candidate of Sciences (Engineering);

S.Yu. ANDRONOV³, Candidate of Sciences (Engineering); D.A. KLIMOV⁴, Engineer

¹ Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Avenue, Perm, 614990, Russian Federation)

² Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (64, Leningradsky Avenue, 125319, Moscow, Russian Federation)

³ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (77, Politechnicheskaya Street, 410054, Saratov, Russian Federation)

⁴ Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (87, M. Gorky Street, 600000, Vladimir, Russian Federation)

Recommendations for Determining Thermal-Physical Properties of Road-Building Materials and Soils

A draft branch road methodical document has been developed by the Federal Autonomous Institution of "ROSDORNI". The draft provides recommendations for determining thermal-physical properties of road-building materials and soils in the course of the study of the possible range of changes in humidity, density and temperature of materials and soils located in road structures in areas of seasonal freezing (thawing) of auto roads and artificial constructions on them, selection of measuring methods and devices ensuring reliable and reproducible results of determining the thermal-physical characteristics of materials of road pavements and the roadbed soils.

Keywords: thermal-physical properties, volumetric thermal capacity, heat conductivity coefficient, temperature conductivity coefficient, heat absorption, disperse materials, soils.

Проект отраслевого методического документа для дорог разработан Федеральным автономным учреждением «РОСДОРНИИ». Проект устанавливает рекомендации по определению теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов при исследовании возможного диапазона изменения влажности, плотности, температуры материалов и грунтов, расположенных в дорожных конструкциях в районах сезонного промерзания (оттаивания) автомобильных дорог и искусственных сооружений на них, выбора методов измерения и приборов, обеспечивающих достоверные и воспроизводимые результаты определения теплофизических характеристик материалов дорожных одежд и грунтов земляного полотна с учетом [1–8].

Согласно п. 3 ст. 16 Федерального закона «Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» в расчетах строительных конструкций и оснований должны быть учтены все виды нагрузок, соответствующих функциональному назначению и конструктивному решению здания или сооружения, климатические, а в необходимых случаях технологические воздействия, а также усилия, вызываемые деформацией строительных конструкций и оснований. Для элементов строительных конструкций, характеристики которых, учтенные в расчетах прочности и устойчивости здания или сооружения, могут изменяться в процессе эксплуатации под воздействием климатических факторов или агрессивных факторов наружной и внутренней среды, в том числе под воздействием технологических процессов, которые могут вызывать усталостные явления в материале строительных конструкций, в проектной до-

кументации должны быть дополнительно указаны параметры, характеризующие сопротивление таким воздействиям, или мероприятия по защите от них. Условия обеспечения надежности по предельным значениям, устанавливаемым нормами проектирования конструкций или оснований автомобильных дорог, задаются согласно ГОСТ 27751. В соответствии с ним возможные отклонения принятой расчетной модели от реальных условий работы элементов конструкций, соединений, зданий и сооружений и их оснований, а также изменения свойств материалов вследствие влияния температуры, влажности, длительности воздействия, его многократной повторяемости и других факторов, не отражаемых непосредственно в расчетах, учитывают коэффициентами условий работы. Коэффициенты условий работы и способ их введения в расчет устанавливают на основе экспериментальных и теоретических данных о действительной работе материалов, конструкций и оснований в условиях эксплуатации и производства работ.

К теплофизическим свойствам и характеристикам дорожно-строительных материалов относят порядка 70 величин. Практическое определение (измерение) тепловых свойств материалов признается одной из труднейших задач метрологии. В настоящее время единство измерений в нашей стране осуществляют на основе международной температурной шкалы МТШ-90. Государственная поверочная схема для средств измерений теплопроводности твердых тел в диапазоне от 0,02 до 20 Вт/(м·К) при температуре 90–1100 К определяется ГОСТ 8.140.

В общем случае теплопроводность является функцией структуры, плотности, влажности, давления и температуры, при которой находится исследуемый материал. Теплопроводность материала точно предсказать теоретически невозможно. Единственным способом определения достоверного значения теплопроводности является непосредственный опыт. При разработке методов определения интерес представляют внутренние обратные задачи теории теплопроводности, связанные с тепловым воздействием, температурным полем и геометрией образца. Основу точных методов определения теплопроводности составляют аналитические закономерности одномерных плоских или цилиндрических тепловых и температурных стационарных полей в образцах, которые могут быть отнесены к классу плоского или цилиндрического полупространства.

Оценка степени промерзания дорожных одежд и грунтов земляного полотна непосредственно связана с определением теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов. Ее результаты учитывают при проектировании автомобильных дорог на всей территории Российской Федерации. Нормативные методы расчета глубин промерзания базируются на полумпирических положениях [10,11, СНиП II -3-79, СНиП 23-02-2003, ГОСТ 8.190–2009, ГОСТ 38.621-2006, ГОСТ 23250-78, ГОСТ 30256.94, ГОСТ 30290-94.

В настоящее время существуют вычислительные комплексы и отдельные программы, позволяющие решать задачи промерзания дорожных одежд и грунтов земляного полотна с точностью, удовлетворяющей требованиям автоматизированного проектирования строительства и ремонта автомобильных дорог. Для обеспечения высокой точности необходим соответствующий уровень исходных данных. Основное место в данных рекомендациях отводится теплофизическим характеристикам дорожно-строительных материалов и грунтов.

В современных подходах к решению теплотехнических задач по промерзанию дорожных конструкций рекомендуется использовать годовой цикл изменения температуры воздуха с учетом радиационного баланса на свободной поверхности. При решении теплотехнических задач собирают данные о теплофизических свойствах дорожно-строительных материалов и грунтов в реальном интервале изменения температуры. Это относится в большей степени к водонасыщенным грунтам, свойства которых меняются в зависимости от процентного содержания в них замерзшей воды и их засоления.

К определению рекомендуются параметры, характеризующие теплотехнические свойства дорожно-строительных материалов и грунтов, которые могут быть использованы в теплотехнических расчетах при проектировании автомобильных дорог на особо сложных по мерзлотно-грунтовым условиям участках. К теплофизическим характеристикам относят следующие:

1. Термические характеристики:
 - а) коэффициент теплопроводности λ ;
 - б) коэффициент температуропроводности k ;
 - в) объемная теплоемкость C' ;
 - г) теплоусвояемость β ;
2. Массообменные характеристики:
 - а) коэффициент влагопроводности K ;
 - б) коэффициент термовлагопроводности δ_T ;
 - в) коэффициент массы емкости δ_m .

В настоящих методических рекомендациях рассматривается комплекс термических характеристик, т. е. величины λ , k , C' и β . Для оценки тепловых свойств дисперсных материалов и для основных термических процессов, протекающих в них при самых различных

режимах и условиях, достаточно знания этих четырех параметров.

Рассматривается задача нахождения температурного поля в области теплообмена внутри твердых тел, которая состоит в определении температуры T в любой точке тела $M(x, y, z)$ в любой момент времени t :

$$T = f(x, y, z, t). \quad (1)$$

Стационарное температурное поле представляется в виде распределения температуры от одной точки поля к другой независимо от времени, нестационарное поле – в виде распределения температуры по координатам x , y , z и во времени t .

При исследовании вопросов переноса тепла через тело, о теплоотводе в окружающую среду, о тепловых потерях и теплоаккумуляции ищут решения уравнения (1) для случаев, являющихся частными решениями основного дифференциального уравнения теплопроводности:

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = C' \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (2)$$

В уравнение (2) входят коэффициент теплопроводности λ и объемная теплоемкость C' . Коэффициент температуропроводности k определяется из λ и C' :

$$k = \frac{\lambda}{C'}. \quad (3)$$

Коэффициент теплоусвояемости β представляет собой результат преобразования величин λ и C' :

$$\beta = \sqrt{\lambda C'}. \quad (4)$$

Коэффициент теплопроводности λ равен количеству тепла, проходящему в стационарном состоянии в единицу времени через две противоположные грани единицы объема материала, на которых поддерживается разность температур в 1°C . Эта величина характеризует степень проводимости тепла материалом или грунтом. Размерность λ – ккал/(м·ч·град).

Объемная теплоемкость C' численно равна количеству тепла, необходимому для нагревания или охлаждения единицы объема на 1°C . Эта величина характеризует интенсивность изменения температуры тела при его нагревании или охлаждении. Размерность C' – ккал/м³.

Для оценки быстроты выравнивания температуры и степени теплоаккумуляции также используют коэффициенты температуропроводности k и теплоусвояемости β . Размерности k – м²/ч; β – ккал/(м²·ч^{1/2}·град^{1/2}).

Рассматривают изменяющееся во времени температурное поле внутри образца материала, вырезанного по изотермической поверхности. Повышение температуры в образце в данный момент времени связано с накоплением проводимого к нему тепла и будет тем больше, чем меньше теплоемкость единицы объема образца. Скорость прогрева материала, мерой которой является его коэффициент температуропроводности k , обратно пропорциональна C' . Она обусловлена интенсивностью передачи тепла при данной разности значений температуры от соседнего слоя к рассматриваемому. Коэффициент температуропроводности k пропорционален коэффициенту теплопроводности λ :

$$k = D_0 \frac{\lambda}{C'}, \quad (5)$$

где D_0 – коэффициент, численная величина которого зависит от выбора единиц для расчета λ , k , и C' .

$$\text{При } D_0 = 1 \text{ имеем } k = \frac{\lambda}{C'}. \quad (6)$$

C' определяют как произведение плотности материала на его удельную теплоемкость c :

$$C' = c\rho, k = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (7)$$

Уравнения (1–7) связывают теплофизические характеристики материала. Характеристики λ , k , и C' порознь, в совокупности и в различных комбинациях входят в расчетные формулы температурного поля, тепловых потоков, теплоаккумуляции и тепловых потерь.

Для практического использования при определении теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов в настоящих методических рекомендациях в качестве информативных параметров рекомендуются к определению средствами измерения коэффициент теплопроводности λ и теплоемкость (удельная c или объемная C'). Коэффициенты температуропроводности k и теплоусвояемости β получают расчетным путем.

Неметаллические материалы группируют в несколько типов, каждый из которых объединяет материалы, сходные по природе, геометрическим особенностям, способу их исследования:

1. Твердые капиллярно-пористые материалы (связанные) – большое количество изоляционно-строительных материалов по признаку твердости. К этому типу материалов относят мрамор, известняк, бетоны, гранит и др.

2. Насыпные материалы (зернистые) – изоляционные засыпки, щебень, песок, шлак, минеральный порошок, глины, зола.

3. Волокнистые материалы – волокнистый асбест, хлопок, дерево вдоль и поперек волокон и т.п. Методика исследования этих материалов отличается от методики исследования теплофизических свойств зернистых материалов. Для волокнистой, чешуйчатой, пластинчатой структуры материала учитывают различные тепловые свойства вдоль и поперек волокон.

4. Материалы в виде тонких слоев – резиновые листы, пленки, слои мастики, лаки, краски, термопластики и т.д. Эти материалы можно объединить между собой, так как геометрическое сходство (малая толщина) требует специфических методов исследования теплофизических характеристик.

5. Замороженные материалы – лед, снег, мерзлые грунты и т.п. При исследовании их тепловых свойств возникают специальные задачи, связанные с недопустимостью подтаивания материала, а также с недопустимостью миграции влаги и водяных паров.

Минеральные материалы, применяемые для испытаний, выбирают в соответствии, например, с ГОСТ 10832, ГОСТ 12801, ГОСТ 22263, ГОСТ 25820, ГОСТ 16136 и др.

Образцы смесей асфальтобетонных, органоминеральных, грунтов, укрепленных органическими вяжущими, и асфальтобетона, применяемых для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог,готавливаются при подборе состава и контроле качества согласно ГОСТ 12801.

Статистическую обработку результатов определенных (изменений) теплофизических характеристик рекомендуется проводить с помощью существующих процессоров статистических вычислений, например EXCEL, STATISTICA 6 и др. Оценку систематических и случайных отклонений рекомендуется проводить на основе методики ГОСТ Р 8621–2006.

Места отбора проб грунта назначают с учетом водно-тепловых режимов. Теплофизические свойства грунтов земляного полотна и материалов дорожной одежды с повышением влажности изменяются. Влажность, температура грунтов и материалов изменя-

ются в зависимости от сезонных колебаний температуры воздуха, количества и характера атмосферных осадков. Водяной пар в грунтах, находящийся в насыщенном состоянии и в процессе перемещения, может конденсироваться и переходить в жидкое состояние. Вода в результате внутрипорового испарения может переходить из жидкого в парообразное состояние и перемещаться под действием давления, возникающего в пленках.

В зимний период промерзание грунта приводит к интенсивному перемещению в нем влаги. Скорость промерзания земляного полотна зависит от погодноклиматических условий и от его поперечного профиля.

Чем больше в грунте пылеватых и особенно глинистых частиц, тем больше в нем содержится незамерзающей воды.

Водно-тепловой режим морозного пучения зависит от вида и мощности источников увлажнения. В теплый период грунт увлажняется за счет выпадения дождя, от стока поверхностных вод и проникновения их в земляное полотно через его откосы и обочины. Грунт может увлажняться капиллярной водой, поднимающейся от уровня грунтовых вод. В осенний период пары перемещаются от более теплых нижних слоев к более холодным поверхностным. Вследствие большей теплопроводности материалов дорожной одежды, чем покрытого снегом грунта, он замерзает сначала под дорожной одеждой. У границы промерзания конденсируется пар, все поры грунта заполняются водой, вытесняющей воздух в нижние слои. Это происходит в зоне междуфазового перехода, в которой грунт имеет отрицательную температуру, а вода в его порах находится еще в жидком состоянии. Пленочная вода замерзает при -3°C и ниже, а капиллярная вода – при более низкой температуре, в зависимости от тонкости капилляров. В этой зоне при температуре грунта ниже 0°C вода может находиться в жидком состоянии и к ней поднимаются новые частицы пара; конденсирующаяся вода заполняет все пустоты между частицами грунта, вытесняя воздух. По мере понижения температуры глубина промерзания увеличивается и большая часть воды переходит в лед.

Если процесс промерзания происходит медленно и вода успевает заполнить все пустоты между частицами грунта, то при переходе в лед увеличивается объем замерзшей части земляного полотна и происходит пучинообразование. Теплообмен осуществляется за счет теплопроводности грунтов и фазовых превращений влаги. В зоне конденсации пара тепло освобождается, а в зоне образования льда поглощается.

Рекомендуется учитывать неоднородность физикомеханических свойств грунта земляного полотна и неравномерность заполнения пор водой и льдом и режим промерзания, зависимость пучинообразования и его размеров от пористости и степени влажности грунта.

Весной грунт оттаивает в первую очередь под дорожной одеждой. В это время может прекратиться дальнейшее промерзание грунта, а затем начнется его оттаивание. Оттаивание происходит сверху и снизу промерзшего грунта. При повсеместном оттаивании грунта в центре земляного полотна остается на некоторое время не оттаявший массив замерзшего грунта блюдцеобразной формы (донник). Донник образуется за счет большей глубины промерзания земляного полотна под дорожной одеждой.

Использование закономерностей и представлений об основных схемах движения воды в верхней части земляного полотна позволяет обоснованно назначить места отбора образцов грунта для определения основных теплофизических характеристик.

Согласно принятым нормам СП 25.13330.2012, по особенностям физико-механических свойств среди

вечномерзлых грунтов выделяют сильнольдистые, засоленные и биогенные (зоторфованные) грунты, твердомерзлые, пластичномерзлые и сыпучемерзлые грунты.

Необходимые для расчета оснований и фундаментов физические и деформационно-прочностные характеристики вечномерзлых грунтов определяют на основании их полевых или лабораторных испытаний. Характеристики грунта устанавливают для выделенных при изысканиях инженерно-геологических элементов на основании статистической обработки результатов экспериментальных исследований в соответствии с учетом предусмотренного проектной документацией состояния и температуры грунтов основания.

Согласно общим строительным нормам для оснований зданий и сооружений СП 22.13330.2011 основания рассчитывают по двум группам предельных состояний: по несущей способности и деформациям грунтов. В качестве основных параметров механических свойств грунтов, определяющих несущую способность оснований и их деформации, используют прочностные и деформационные характеристики грунтов (угол внутреннего трения j , удельное сцепление c , модуль деформации грунтов E , предел прочности на одноосное сжатие скальных грунтов R_c и т. п.).

Для расчета вечномерзлых оснований помимо физических и механических характеристик грунтов, предусмотренных в СП 22.13330.2011, дополнительно учитываются:

1. Физические и теплофизические характеристики мерзлых грунтов:

- а) суммарная влажность мерзлого грунта и влажность мерзлого грунта между включениями льда;
- б) суммарная льдистость мерзлого грунта и льдистость мерзлого грунта за счет включений льда;
- в) степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой;
- г) влажность мерзлого грунта за счет незамерзшей воды;
- д) температура начала замерзания грунта;
- е) теплофизические характеристики грунта (теплопроводность и объемная теплоемкость);
- ж) теплота таяния (замерзания) грунта;

2. Деформационные и прочностные характеристики грунтов для расчета мерзлых оснований по деформациям и несущей способности:

- а) коэффициент сжимаемости мерзлого грунта;
- б) расчетное давление и сопротивление мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по поверхности смерзания;

3. Деформационные характеристики грунтов для расчета оттаивающего основания по деформациям:

- а) коэффициент оттаивания и сжимаемости оттаивающего грунта;
- б) относительная осадка оттаивающего грунта;
- в) характеристики грунтов слоя сезонного промерзания-оттаивания для расчета оснований и фундаментов на воздействие сил морозного пучения грунтов, а также характеристики мерзлых грунтов для расчета оснований на горизонтальные статические и сейсмические воздействия.

При необходимости определяют и другие характеристики мерзлых грунтов, характеризующие особенности их состояния или взаимодействия с элементами конструкции автомобильной дороги:

- вид криогенной текстуры;
- коэффициент вязкости;
- эквивалентное сцепление грунта;
- скорость вязкопластического течения льда;
- негативное трение оттаивающего грунта и др.

Часть характеристик для различных грунтов определяют по таблицам согласно СП 25.13330.2012.

Дополнительно выделяют следующие характеристики грунта:

- а) степень засоленности грунта;
- б) плотность сухого грунта (скелета грунта);
- в) плотность талого и мерзлого грунта;
- г) вязкость льда, определяемая из испытаний образцов льда на одноосное сжатие;
- д) плотность грунта;
- е) плотность мерзлого грунта;
- ж) плотность частиц грунта;
- з) коэффициент пористости мерзлого грунта.

При расчетах характеристик различных грунтов согласно СП 25.13330.2012 также учитывают:

- а) расчетную среднегодовую температуру вечномерзлого грунта;
- б) среднюю высоту снегового покрова, м, принимаемую по метеоданным;
- в) среднюю плотность снегового покрова, т/м, принимаемую по метеоданным;
- г) среднюю скорость ветра в зимний период;
- д) нормативные глубины сезонного оттаивания и промерзания;
- е) среднюю по многолетним данным температуру воздуха за период отрицательных значений температуры, °С, и продолжительность периода, ч;
- ж) природное (бытовое) давление в грунте на уровне подошвы фундамента от массы вышележащих слоев грунтов (до отметки природного рельефа), кПа (кгс/см²);
- з) дополнительное (к природному) вертикальное давление на грунт под подошвой фундамента, кПа;
- и) среднее давление на грунт под подошвой фундамента от постоянных и длительных долей временных нагрузок, кПа;
- к) расчетный срок эксплуатации сооружения;
- л) тепловое влияние сооружения.

Влияние засоления на теплофизические свойства засоленных многолетнемерзлых пород неоднозначно. Это обусловлено совместным влиянием соотношения льда и незамерзшей воды, изменением теплопроводности порового раствора в зависимости от концентрации, температуры и других факторов.

Рекомендуется учитывать, что коэффициент теплопроводности уменьшается с увеличением засоленности, а коэффициент теплоемкости увеличивается в указанном диапазоне концентраций.

При расчетах температурного состояния сооружений некоторых классов и их оснований, а также при выполнении предварительных теплотехнических расчетов расчетные значения теплофизических характеристик талых и мерзлых песков, супесей, суглинков, глин, зоторфованных грунтов и торфа при наличии засоленности допускается принимать из таблиц по [10]. В табл. 1 приведены некоторые значения теплопроводности и теплоемкости искусственных насыпных грунтов в зависимости от концентрации солей при одинаковой суммарной влажности.

При увеличении пористости теплопроводность понижается в талом и мерзлом состоянии. Имеется зависимость коэффициента теплопроводности от степени K_s заполнения пор влагой.

В проекте ОДМ оценивается влияние глубины сезонных оттаиваний и промерзаний на пористость грунта, температуры начала замерзания грунта, миграции влаги вследствие неравномерности промерзания грунта, а также среднего давления на пористость грунта.

Присутствие в мерзлых грунтах того или иного количества незамерзшей воды обуславливает зависимость их свойств от температуры. Переход грунта из талого в мерзлое состояние характеризует T_{bf} , °С. Для незасоленных песчаных и крупнообломочных грунтов значение T_{bf} рекомендуется принимать равным 0°С.

Таблица 1

Концентрация порового раствора, т/м ³	Плотность сухого грунта, т/м ³	Суммарная влажность грунта, доли ед.	Теплопроводность грунта, Вт/(м·°С) [ккал/(м·ч·°С)]	Объемная теплоемкость грунта, Дж/(м ³ ·°С) 10 ⁻⁶ [ккал/(м ³ ·°С)]
			l_{th}	l_f
Засоление хлоридами Na				
0,04	1,8	0,13	0,99 (0,85)	0,86 (0,74)
0,16	1,8	0,13	1,14 (0,98)	1,04 (0,89)
0,26	1,8	0,13	1,08 (0,93)	0,92 (0,8)

Примечания.
 1. l_{th} ; l_f – теплопроводность талого и мерзлого грунтов соответственно.
 2. C_{th} ; C_f – объемная теплоемкость талого и мерзлого грунтов.

Таблица 2

Грунты	Температура начала замерзания грунта T_{bf} , °С, при концентрации порового раствора c_{ps} , доли ед.					
	0	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04
Песчаные	0	-0,6	-0,8	-1,6	-2,2	-2,8
Пылевато-глинистые:						
супеси	-0,1	-0,6	-0,9	-1,7	-2,3	-2,9
суглинки и глины	-0,2	-0,6	-1,1	-1,8	-2,5	-3,2

Температуру начала замерзания пылевато-глинистых, засоленных и заторфованных грунтов T_{bf} устанавливают опытным путем.

Для предварительных расчетов мерзлых оснований значение T_{bf} принимают по табл. 2 (СП 25.13330.2012) в зависимости от вида грунта и концентрации порового раствора c_{ps} .

В проекте ОДМ определены факторы, влияющие на теплофизические характеристики дисперсных материалов. Определение и изменение теплофизических характеристик системы проводят в результате варьирования состояния системы, определяемого тремя факторами: пористостью, температурой и влажностью. После выбора системы с заданной структурой и химико-минералогической основой определяют возможности изменения величин ее теплофизических характеристик: уплотнением или рыхлением системы; ее нагреванием или охлаждением, увлажнением или сушкой.

Влияние на теплофизические характеристики материалов структурно-механических факторов (размера, формы зерен и способов контактирования), определяющих состояние системы (плотная, рыхлая, влажная, сухая, горячая, холодная), может широко варьироваться экспериментатором. В качестве объекта исследования рекомендуется выбирать наиболее сложную из нематаллических материалов дисперсную систему.

При учете резкой зависимости теплофизических характеристик от факторов состояния системы учитывают возможности рационального регулирования параметров структурно-механических и химико-минералогических факторов. Такое регулирование проводят за счет примешивания к скелету системы различных фракций частиц или цементирующих, балластных или иных связей. При этом изменяют пористость и фактически создают систему с измененными свойствами. Для конкретной системы ограничиваются пористостью, температурой и влажностью – факторами, способными привести на практике к желательным значениям теплофизических характеристик.

Чем выше влажность грунта, тем больше его удельная теплоемкость и теплопроводность. С увеличением влажности при ее некотором значении, характерном для данного типа грунтов, уменьшается удельный объем. В известном интервале вероятно по-

стоянство влажности, так как теплопроводность растет с увеличением плотности и удельной теплоемкости. Дальнейшее понижение теплопроводности с увеличением влажности связано с затуханием теплопроводности материала до значения теплопроводности воды. С увеличением влажности грунта появившиеся тонкие, а потом утолщающиеся водные пленки выполняют роль водяных мостов, по которым тепло распространяется от одной частицы к другой, при этом значения λ и k начинают расти. Рекомендуется учитывать плотность, пористость, крупность зерен, природу материала.

Учитывают мелкодисперсность материала, при которой снижается теплопроводность. Важны величины λ и k , для определения которых устанавливают влажность, пористость, механический состав или дисперсность. При одинаковых значениях влажности и пористости важна дисперсность материала, обуславливающая степень связности скелета с влагой.

Выводы, полученные для грунтов, могут быть распространены на другие порошкообразные и зернистые материалы с учетом их особенностей [1–6]:

1. В зависимости от крупности зерен дисперсные материалы разделяют на три группы: крупно-, средне-, и мелкодисперсные. При увеличении малых значений влажности теплопроводность дисперсных материалов увеличивается в линейной зависимости, причем темп этого возрастания тем больше, чем крупнее зерна материала.

2. При дальнейшем увлажнении материала, начиная с определенной степени его увлажнения, рост теплопроводности затухает (крупнозернистые материалы), либо становится сильно выраженным (мелкозернистые материалы), либо продолжает подчиняться линейной зависимости (среднедисперсные материалы).

3. Наблюдается близкое к линейному изменению теплопроводности многих строительных и изоляционных материалов с изменением влажности (при невысоких влажностях материалов среднедисперсной структуры).

4. В пределах каждой из трех групп материалов в довольно широких пределах изменения степени зернистости характер зависимости коэффициента теплопроводности от влажности сохраняется одинаковым.

Список литературы

1. Бойков Г.П., Видин Ю.В., Фокин В.М. Определение теплофизических свойств строительных материалов. Красноярск: Красноярский университет, 1992. 172 с.
2. Власов В.В. Автоматические устройства для определения теплофизических характеристик твердых материалов. М.: Машиностроение, 1977. 168 с.
3. Чернышова Т.И., Чернышов В.Н. Методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов. М.: Машиностроение, 2001. 240 с.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 599 с.
5. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / Под ред. А.В. Лыкова. М.: Энергия, 1973. 336 с.
6. Фокин В.М., Чернышов В.Н. Теоретические основы определения теплопроводности строительных материалов методом неразрушающего контроля // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2004. Вып. 4-1. Т. 10. С. 936–945.
7. Барац Я.И., Маслякова И.А., Барац Ф.Я. Математические модели технологической теплофизики и физических взаимодействий. Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2002. 92 с.
8. Аржанухина С.П., Овчинников И.Г., Кочетков А.В. Теоретические и правовые основы применения чистых противогололедных материалов на основе хлоридов кальция и натрия // *Дорожная держава*. 2009. № 16. С. 58–63.
9. Киялбаев А.К. Экологическая безопасность при эксплуатации автомобильных дорог и городских улиц. Алматы: НИЦ «Гылым», 2003. 300 с.
10. Рекомендации по комплексному определению теплофизических характеристик строительных материалов. М.: Стройиздат, 1987. 30 с.
11. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. М.: Стройиздат, 1973. 194 с.

References

1. Boikov G.P., Vidin Yu.V., Fokin V.M. Opredelenie teplofizicheskikh svoystv stroitel'nykh materialov [Determination of thermal properties of building materials]. Krasnoyarsk: Publishing Krasnoyarsk University. 1992. 172 p.
2. Vlasov V.V. Avtomaticheskie ustroystva dlya opredeleniya teplofizicheskikh kharakteristik tverdykh materialov [Automatic device for determining the thermal characteristics of solid materials]. Moscow: Mashinostroenie. 1977. 168 p.
3. Chernyshova T.I., Chernyshov V.N. Metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya teplofizicheskikh svoystv materialov [Methods and tools for non-destructive testing of thermal properties of materials]. Moscow: Mashinostroenie. 2001. 240 p.
4. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti [The theory of heat conduction]. Moscow: Vysshaya shkola. 1967. 599 p.
5. Metody opredeleniya teploprovodnosti i temperaturoprovodnosti [Methods for determination of thermal conductivity and thermal diffusivity]. Moscow: Energiya. 1973. 336 p.
6. Fokin V.M., Chernyshov V.N. Teoreticheskie osnovy opredeleniya temperaturoprovodnosti stroitel'nykh materialov metodom nerazrushayushchego kontrolya

[Theoretical basis of determining the thermal diffusivity of building materials by non-destructive testing]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2004. Vol. 4-1. No. 10, pp. 936–945. (In Russian).

7. Barats Ya.I., Maslyakova I.A., Barats F.Ya. Matematicheskie modeli tekhnologicheskoi teplofiziki i fizicheskikh vzaimodeystvii [Mathematical models of thermal physics and technology of physical interactions]. Saratov: Saratov State Technical University. 2002. 92 p.
8. Arzhanukhina S.P., Ovchinnikov I.G., Kochetkov A.V. Theoretical and legal basis for the use of net-icing materials based on calcium and sodium chlorides. *Dorozhnaya derzhava*. 2009. No. 16, pp. 58–63. (In Russian).
9. Kiyalbaev A.K. Ekologicheskaya bezopasnost' pri ekspluatatsiy avtomobil'nykh dorog i gorodskikh ulits [Environmental safety in the operation of highways and city streets]. Almaty: NITs «Gylym». 2003. 300 p.
10. Rekomendatsii po kompleksnomu opredeleniyu teplofizicheskikh kharakteristik stroitel'nykh materialov [Recommendations for a comprehensive definition of thermal performance of building materials]. Moscow: Stroyizdat. 1987. 30 p.
11. Rukovodstvo po opredeleniyu fizicheskikh, teplofizicheskikh i mekhanicheskikh kharakteristik merzlykh gruntov [Guidelines for the determination of physical, thermal and mechanical characteristics of frozen soil]. Moscow: Stroyizdat. 1973. 194 p.

Крым Стройиндустрия Энергосбережение

2016

Осень

27-29 октября
г. Симферополь,
ул. Киевская, 115,
ДКП

МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

- Современные строительные материалы и технологии.
- Краски, лаки.
- Строительные машины и механизмы.
- Окна, двери.
- Сантехника.
- Экология. Системы очистки воды.
- Системы отопления, вентиляции и кондиционирования.
- Электротехническое и осветительное оборудование.
- Энергосбережение и использование нетрадиционных экологически чистых источников энергии.
- Системы автоматизации. Программное обеспечение предприятий строительной, энергетической, электротехнической отраслей промышленности.

Оргкомитет: Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Горького, 8, оф. 27,
моб.: +7 978 78 178 83,
тел./факс: +7(3652) 54-60-66,
+7(3652) 54-67-46,
E-mail: marketing@expoforum.biz,
http://expoforum.biz/



ФОРУМ
КРЫМСКИЕ
ВЫСТАВКИ

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 не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»[®], ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов (заполненная информационная карта). 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>

20-23
сентября

г. Уфа

УралСтройИндустрия

XXVI международная выставка



Недвижимость-2016

IX специализированная выставка

 #БВК #стройБВК

 **БВК**
БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

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

Место проведения
ВДНХ ЭКСПО
ул. Менделеева, 158



ООО «ПЛАСТ-РИФЕЙ»

САМОЕ КРУПНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ
КАОЛИНА В РОССИИ



МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАОЛИНА ЖУРАВЛИНЫЙ ЛОГ:

- **МКЖЛ** метакаолин
- **АМДЖЛ** ТЕРМОАКТИВИРОВАННЫЙ КАОЛИН
активная минеральная добавка
- **Обогащенные каолины**
- **Пески Кварцевые**
фракционированные
- **Минеральный порошок**
кварцевая мука
- **КаолиноКварцевая смесь**
Каолин-сырец, Премикс
- **РДЖЛ** расширяющая добавка
для цементных растворов



Продукция ООО «Пласт-Рифей» поставляется для следующих отраслей промышленности:
производство строительных материалов; производство керамических изделий; производство фарфора; производство огнеупоров; бумажная промышленность; производство стекловолокна; производство резинотехнических изделий; косметическая промышленность

Россия
Челябинская область
г. Пласт, Магнитогорский тракт, 1

телефон:
(35160) 2-26-56
(35160) 2-29-45
www.kaolinzhl.ru
plast-rifey@chel.surnet.ru