

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ<sup>®</sup> №6



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

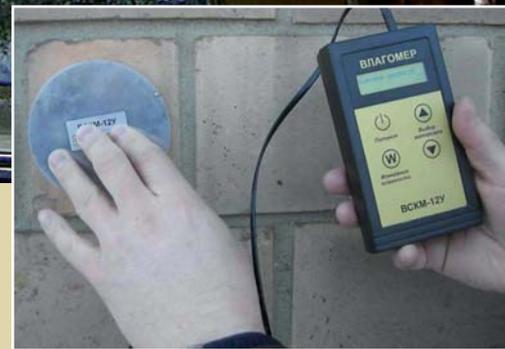
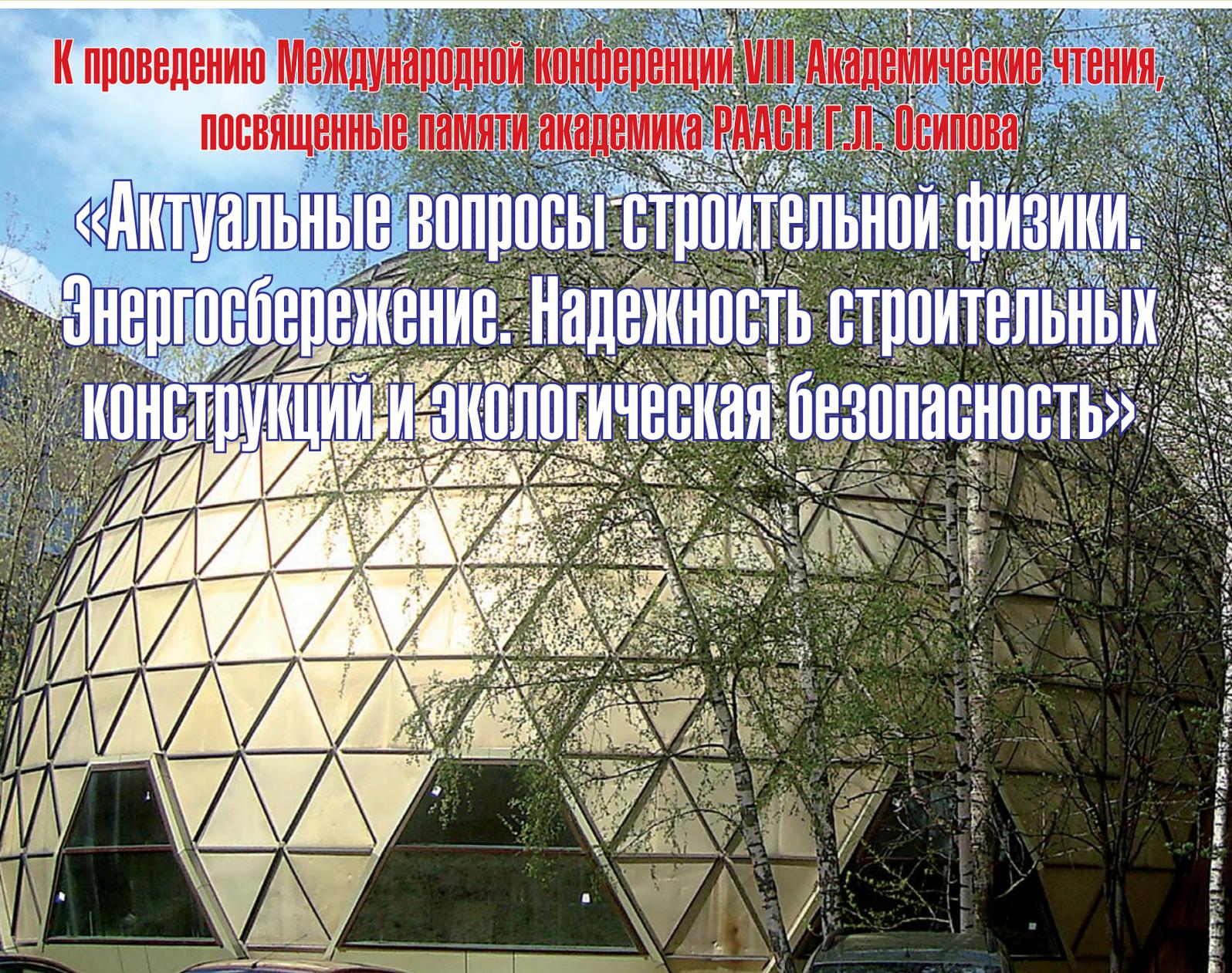
ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

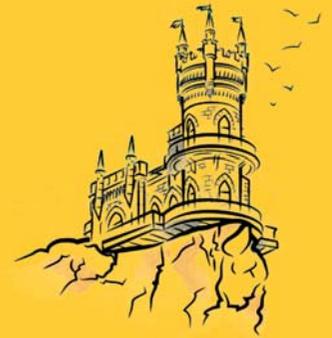
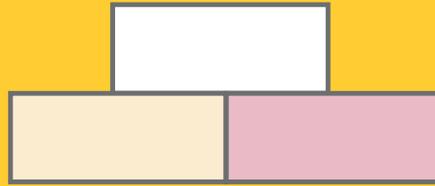
ИЮНЬ 2017 г. (749)

**К проведению Международной конференции VIII Академические чтения,  
посвященные памяти академика РААСН Г.Л. Осипова**

**«Актуальные вопросы строительной физики.  
Энергосбережение. Надежность строительных  
конструкций и экологическая безопасность»**



# СИЛИКАТЭКС



## XI Международная конференция «Развитие производства силикатного кирпича»

19–21 сентября 2017 г.

Республика Крым, Алушта  
парк-отель Порто Марэ



### Программа работы:

19.09 – заезд участников

20.09 – пленарное заседание

21.09 – посещение производства



*В программе конференции СИЛИКАТЭкс наряду с актуальными вопросами производства и применения силикатного кирпича будут рассматриваться технологии выпуска стеновых материалов методом ускоренной карбонизации. Запланирована экскурсия на производственную площадку фирмы "КАНОН".*

Генеральный спонсор:



Организатор конференции – журнал



### Оргкомитет:

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

Телефон/факс: (499) 976-22-08, 976-20-36. М. т.: +7 (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»®

**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.

(749) июнь 2017 г.

**Главный редактор:**

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

**Редакционный совет:**

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

**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,  
 академик 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)

**ЛЕОНИВИЧ 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)

**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 VIII Академических чтений РААСН  
 «Актуальные вопросы строительной физики»**

Н.Г. ВОЛКОВА	<b>Целесообразность разработки федерального закона о применении климатических нормативов в строительстве</b> .....	4
Н.В. КУЗНЕЦОВА	<b>Физико-механические свойства цементных композиционных строительных материалов с применением отходов производства ЦСП</b> .....	7
Н.И. КАРПЕНКО В.Н. ЯРМАКОВСКИЙ Д.З. КАДИЕВ	<b>Влияние влажности бетона на диаграммы его деформирования под нагрузкой при низкой отрицательной (до -70°C) температуре</b> .....	10
Т.Ф. ЕЛЬЧИЩЕВА	<b>Определение влажностного режима помещений зданий при наличии в стеновом материале гигроскопических солей</b> .....	14
М.Э. ПИЛЕЦКИЙ, А.Ф. ЗУБКОВ, К.А. АНДРИАНОВ	<b>Исследование битумоминеральной смеси, применяемой для ямочного ремонта дорожных покрытий струйно-инъекционным методом</b> .....	19
Г.С. ВАЙСЕРА О.В. ПУЧКА В.С. ЛЕСОВИК И.В. БЕССОНОВ С.В. АЛЕКСЕЕВ	<b>Влияние влагосодержания, воздухопроницаемости и плотности материала на его звукопоглощающие характеристики</b> .....	24
В.Г. ГАГАРИН, П.П. ПАСТУШКОВ	<b>Изменение во времени теплопроводности газонаполненных полимерных теплоизоляционных материалов</b> .....	28
Д.В. КРАЙНОВ	<b>Учет коэффициента остекленности фасада при проектировании тепловой защиты зданий</b> .....	32
В.А. КУЗЬМИН	<b>Исследование возможностей применения отражательной теплоизоляции в многослойных сэндвич-панелях с учетом многократного отражения</b> .....	35
С.А. БУГАЕВСКАЯ	<b>Применение современного перспективного материала Изофом в строительной практике</b> .....	42
О.И. МАТВЕЕВА, А.Т. ВИНОКУРОВ, Л.С. САВВИНОВ	<b>Исследование теплотехнических характеристик экспериментальных образцов ограждающих конструкций, изготавливаемых по технологии двойного бруса</b> .....	46
С.Н. ОВСЯННИКОВ, Т.А. СТЕПАНОВА, У. ТОПЧУБАЕВ	<b>Тепловая защита ограждающих конструкций быстровозводимых зданий на основе древесины</b> .....	52

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,  
 журнал «Строительные материалы»®, 2017

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

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

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

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

Monthly scientific-technical and industrial journal

# STROYTEL'NYE MATERIALY®

№6  
(749) June 2017

Founded in 1955

**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),  
Academician 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)

**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 VIII Academic reading RAACS  
«Actual issues of building physics»**

N.G. VOLKOVA

**Expediency of Development of the Federal Law on Application  
of Climatic Normative Standards in Building ..... 4**

N.V. KUZNETSOVA, O.S. BARINOVA

**Physical-Mechanical Properties of Cement Composite Building Materials  
with the Use of Waste of CWB Production ..... 7**

N.I. KARPENKO, V.N. YARMAKOVSKY

**Influence of Humidity of Concrete on Its Deformation Diagrams under Load  
at Low Negative (up to -70°C) Temperatures..... 10**

T.F. EL'CHISHCHEVA

**Determination of Humidity Conditions in Premises of Buildings at Presence  
of Hygroscopic Salts in Wall Material ..... 14**

M.E. PILECKIJ, A.F. ZUBKOV, K.A. ANDRIANOV

**Research of Bitumen-Mineral Mixture Applied for Patching Repair  
of Road Pavements Using Jet-Injection Method ..... 19**

S.S. VAISERA O.V. PUCHKA V.S. LESOVIK I.V. BESSONOV S.V. ALEKSEEV

**Impact of Moisture Content, Air Permeability, and Density of Material  
on Its Noise-Absorption Characteristics..... 24**

V.G. GAGARIN, P.P. PASTUSHKOV

**Changes in the Time of Thermal Conductivity of Gas-Filled Polymer  
Thermal Insulation Materials..... 28**

D.V. KRAYNOV

**Accounting of Glazing of the Facade when Designing the Heat Protection  
of a Building ..... 32**

V.A. KUZMIN

**Research in Possibilities to Use Reflective Heat Insulation in Multi-Layer  
Sandwich-Panels with Due Regard for Multiple Reflection ..... 35**

S.A. BUGAEVSKAYA, A.V. RYZHKOV, V.A. AISTOV

**The Use of Modern Prospective Material Izofom in Building Practice ..... 42**

O.I. MATVEEVA, A.T. VINOKUROV, L.S. SAVVINOV

**Research in Thermal-Technical Characteristics of Experimental Samples  
of Enveloping Structures Produced According to the Technique of Double Beam ..... 46**

S.N. OVSYANNIKOV, T.A. STEPANOVA, U. TOPCHUBAEV, K.S. OVSYANNIKOV

**Thermal Protection of Enclosing Structures of Rapidly Erected Buildings  
on the Timber Basis ..... 52**

D.S. SKRIPCHENKO, S.N. OVSYANNIKOV

**Methods of Tests Conduction for Determining the Dynamic Elasticity Modulus,  
Dynamic Shear Modulus, and Loss Factor of Sound Insulation Materials..... 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

Д.С. СКРИПЧЕНКО, С.Н. ОВСЯННИКОВ

Методика проведения испытаний по определению динамического модуля упругости, динамического модуля сдвига и коэффициента потерь звукоизоляционных материалов ..... 55

В.П. ГУСЕВ, А.В. СИДОРИНА

Акустические исследования звукоизолирующих покрытий на трубопроводы воздушных и газовых систем ..... 59

## Результаты научных исследований

Х.А. КАЙС, Н.Н. МОРОЗОВА

Свойства природного цеолита для получения высокопрочного мелкозернистого бетона ..... 63

А.С. БАЛЫКОВ Т.А. НИЗИНА Л.В. МАКАРОВА

Критерии эффективности цементных бетонов и их применение для анализа составов высокопрочных композитов ..... 69

Г.И. ЯКОВЛЕВ А.Ф. ГОРДИНА И.С. ПОЛЯНСКИХ Х.-Б. ФИШЕР Н.С. РУЗИНА Е.В. ШАМЕЕВА М.Е. ХОЛМОГОРОВ

Гипсовые композиции, модифицированные портландцементом и металлургической пылью ..... 76

# Stroitel'nye Materialy No. 6

V.P. GUSEV, A.V. SIDORINA

Acoustic Investigations of Insulation Coating on Piping Air and Gas Systems ..... 59

## Results of scientific research

H.A. QAIS, N.N. MOROZOVA

Properties of Natural Zeolite for Producing High-Strength Fine Concrete ..... 63

A.S. BALYKOV, T.A. NIZINA, L.V. MAKAROVA

Criteria of Efficiency of Cement Concretes and Their Use for Analyzing Compositions of High-Strength Composites ..... 69

G.I. YAKOVLEV, A.F. GORDINA, I.S. POLYANSKIKH, H.-B. FISHER, N.C. RUZINA, E.V. SHAMEEVA, M.E. KHOLMOGOROV

Gypsum Compositions Modified with Portland Cement and Metallurgic Dust ..... 76

## 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](mailto: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**

УДК 69:551.58(035)

Н.Г. ВОЛКОВА, канд. техн. наук (vngeo12@yandex.ru)

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

## Целесообразность разработки федерального закона о применении климатических нормативов в строительстве

В хозяйственной деятельности страны наиболее значительными являются затраты на строительство. Современное строительство в связи с климатическими переменами на территории РФ и сложившейся климатологической ситуацией нуждается в разработке новых климатических нормативов. Отмечено, что в ряде нормативных документов не уделяется должного внимания климатической информации, которая не обновлялась не одно десятилетие, что приводит к использованию устаревших данных и является недопустимым. Разработка федерального закона об использовании климатических нормативов в строительной отрасли позволит обеспечить экономию энергии и повысить качество работ в строительстве.

**Ключевые слова:** законодательство, климатические перемены, строительство, экономия, нормирование, безопасность.

**Для цитирования:** Волкова Н.Г. Целесообразность разработки федерального закона о применении климатических нормативов в строительстве // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 4–6.

N.G. VOLKOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (vngeo12@yandex.ru)

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

### Expediency of Development of the Federal Law on Application of Climatic Normative Standards in Building

In economic activities of the country, the most considerable expenses are for building. Modern building, in connection with climatic changes on the territory of the Russian Federation and the developed climatological situation requires the development of new climatic normative standards. It is noticed that in a number of standard documents, the due attention to the climatic information, which was not updated no one decade that leads to use the out-of-date data, is not paid and is inadmissible. The development of the Federal law on the use of climatic normative standards in the building industry will make it possible to provide energy savings and to improve the quality of works in construction.

**Keywords:** legislation, climatic changes, building, economy, rationing, safety.

**For citation:** Volkova N.G. Expediency of development of the federal law on application of climatic normative standards in building. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 4–6. (In Russian).

Очевидность климатических перемен ни у кого не вызывает сомнений. В хозяйственной деятельности страны наиболее значительными являются затраты на строительство. Энергосбережение, безопасность и экономия затрат находятся в прямой зависимости от климатических условий территории строительства. Учет современных климатических параметров важен как на стадии проектирования, так и при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. В последние годы число опасных природных явлений и крупных техногенных катастроф неуклонно растет. Риски ЧС, возникающие в процессе глобального изменения климата и хозяйственной деятельности, несут значительную угрозу для населения и объектов экономики страны.

По данным МЧС РФ, температура в зимний период на всей территории России к середине XXI в. может увеличиться из-за глобального изменения климата на 2–5°C. Центр «Антистихия» подтверждает, что наибольшее потепление коснется зимы... в середине XXI в. повышение на 2–5°C прогнозируется на всей территории страны» (Изменение климата: что ждет Россию. [https://gia.ru/warming\\_prognosis/20130924/964750728.html](https://gia.ru/warming_prognosis/20130924/964750728.html). Дата обращения 15.06.2017). В России повышение средней температуры планеты за каждое десятилетие XXI в. может составить 0,3°C, что превысит темпы любого потепления за предыдущие 10 тыс. лет (Саммит по проблеме изменения климата. Опубликовано Департаментом общественной информации ООН. DPI/2543B. Сентябрь, 2009 г. <https://gia.ru/eco/20091219/200230113.html>. Дата обращения 15.06.2016). Текущее изменение климата России, в целом, характеризуется как продолжающееся потепление со скоростью, более чем в два с половиной раза превышающей скорость глобального

потепления. При этом тенденция к замедлению потепления, наблюдаемая в глобальном масштабе, для территории России пока не прослеживается [1]. Изменение климатической системы Земли произошло на глобальном и региональном уровнях (доклад МГЭИК, 2001 г). Перемены очевидны и для нашей страны, которая простирается с севера на юг более чем на 4 тыс. км, а с запада на восток приближается к 10 тыс. км. Большие территории и значительное природное разнообразие способствовали развитию климатической науки и высокому уровню научных разработок [2].

Строительство базируется на информации, представленной в нормативных документах [3, 4]. Наиболее устойчивое состояние климатических систем фиксируется в нормативных показателях, которые учитывают методики европейских и международных документов. Строительные климатические нормативы разрабатываются с целью повышения энергетической эффективности и уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях, а также сохранности материальных ценностей. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий регламентируются федеральными законами: ФЗ № 261 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и ФЗ № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Строительные климатические нормы учитывают требования к зданиям, строениям, сооружениям и инженерным системам на стадии проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений, включая капитальный ремонт и реконструкцию зданий. Климатические нормативы также востребованы при разра-

ботке технологий производства строительных материалов, позволяющих исключить нерациональный расход энергетических ресурсов. НИИСФ РААСН разработал Свод правил СП 131.13330.2012, СНиП II-23-01 «Строительная климатология» который по постановлению Правительства РФ от 26 декабря 2014 г. № 1521 вошел в Перечень национальных стандартов и сводов правил за № 75. В результате применения перечисленных стандартов на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований ФЗ № 384. Можно предположить, что из этого постановления должен автоматически следовать вывод о необходимости пересмотра климатических нормативов, входящих в отраслевые документы. Однако, несмотря на ФЗ, в ряде документов используется устаревшая климатическая информация.

В настоящее время проводятся работы по пересмотру СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». В новом документе метеорологические параметры будут значительно обновлены. Работу осуществляет НИИСФ РААСН, совместно с ГГО им. А.И. Воейкова. Всего в СНиП «Строительная климатология» содержится более 500 городов и населенных пунктов.

На данном этапе развития науки и технологий проблему климатологии и градостроительства необходимо рассматривать с позиции минимизации суммарного расхода энергии, идущей на строительство и эксплуатацию зданий и сооружений [5, 7]. Мониторинг изменения температуры наружного воздуха в непрерывной динамике в период резкого похолодания позволяет оптимизировать инженерные системы обеспечения микроклимата в зданиях [7]. Изменение климатической ситуации сказывается на развитии перспективных территорий РФ [8]. Решение ряда строительных задач, затронуется в связи с тем, что СП 131.13330.2012 содержит недостаточный набор данных, часть которых к тому же давно не обновлялась. При рассмотрении следующей редакции документа, наряду с обновлением климатических параметров целесообразно рассмотреть вопрос о включении дополнительно и геофизических характеристик, востребованных в строительстве. Такой обновленный СП с учетом предыдущего опыта, должен иметь название «Строительная климатология и геофизика». НИИСФ обладает опытом разработки необходимых климатических нормативов.

Недостаток климатических нормативов, востребованных при строительстве зданий и сооружений, привел к тому, что СНиП 1982 г. «Строительная климатология и геофизика» входит в профессиональные справочные системы «Техэксперт», что, строго говоря, недопустимо вследствие того, что климатические нормативы, приведенные в этом документе, давно устарели. Безусловно, эта информация используется на предварительной стадии проектирования при подготовке технорабочих проектов, однако и здесь она может сослужить плохую службу, внося значительные погрешности в оценку климатической ситуации. В настоящее время назрела необходимость в учете климатических рисков и адаптации зданий и сооружений к изменению и изменчивости климата [9].

Значительные климатические различия отражены посредством температурного зонирования (ТЗ) территории при разработке стоимостных нормативов. Однако и здесь, при оценке трудозатрат на выполнение строительных и строительно-монтажных работ в зимнее время, дела обстоят неважно. Устаревшие климатические показатели переходят из одного нормативного документа в другой, после его актуализации [10].

В НИИСФ РААСН в начале 2000-х гг. были проведены исследования температурного режима представи-

тельных городов РФ, в зимний период ряда. Исследования показали неравномерный характер климатических изменений в различные периоды времени. Климатические характеристики территорий до 1980 г. были меньше подвержены изменениям, что привело к понятию климатической нормы. Но после 1980-х гг. многие климатические показатели изменились, в первую очередь это относится к температуре наружного воздуха.

Сравнительный анализ климатических нормативов, приведенных в сборниках сметных норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время, показал, что начиная с 1980 гг. они оставались неизменными, как и информация по температурному режиму территории РФ. Изначально основные положения ТЗ вошли в сборник ВНДЗ-69 «Временные нормы дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время». В 1972 г. издано «Указание о порядке разработки норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время по конструкциям и видам работ, 693/698», утвержденное Госстроем СССР постановлением от 30.XII-1971 № 200. В этом документе были регламентированы основные положения ТЗ и приведены требования к нормам зимних удорожаний. Строительные нормы по конструкциям и видам работ учитывали затраты, связанные с понижением производительности труда при отрицательной температуре наружного воздуха в разных температурных зонах.

В развитие этих документов вышел «Сборник сметных норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время», НДЗ-84. Сметные нормы, а следовательно, и основные положения ТЗ являлись обязательными к применению на всей территории СССР. Далее для определения дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных и строительно-ремонтных работ на территории РФ разработаны сборники ГСН-2001 и ГСНр-2001. В настоящее время действующим документом является ГСН 7781-05-02-2007. «Сборник сметных норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время». Следует отметить, что во всех этих документах неизменной оставалась климатическая информация, что, строго говоря, недопустимо. Как правило, обеспеченность нормативов соотносится со сроком эксплуатации зданий, строений и инженерных систем. Но такая практика не обязательна при нормировании параметров наружного воздуха в случае оценки трудозатрат на выполнение наружных строительных работ.

Сложившаяся ситуация свидетельствует о целесообразности разработки федерального закона о применении климатических нормативов в строительной отрасли. В практике использования метеорологических показателей в России большее внимание уделялось зимнему периоду как основному расчетному, изменение климатических условий привело к необходимости также тщательного учета теплого периода года. Современное состояние науки позволяет разрабатывать новые статистические методы расчета климатических параметров и расширять спектр использования климатических характеристик в строительстве.

**Выводы.** Климатические перемены на территории РФ происходят со скоростью, более чем в два с половиной раза превышающей скорость глобального потепления. При этом тенденция к замедлению этого явления, наблюдаемая в глобальном масштабе, для территории России пока не прослеживается. В связи с погодными переменами на территории РФ строительная отрасль

нуждается в применении современных климатических нормативов. В ряде строительных нормативных документов метеорологическая информация не обновлялась не одно десятилетие. Использование устаревших данных является недопустимым. Федеральный закон о применении климатических нормативов в строительной отрасли позволит обеспечить экономию энергии, повысить качество работ в строительстве, а также предотвратить случаи использования устаревшей климатической информации.

#### Список литературы

1. Саммит Организации Объединенных Наций по климату. Резюме Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2013 год // *Информационный бюллетень «Изменение климата»*. 2014. № 49. С. 1–26. (<http://www.global-climate-change.ru/index.php/ru/bul-izmenenie-klimata/archive-of-bullet>. Дата обращения 15.06.2016).
2. Волкова Н.Г. О прикладной климатологии и государственных интересах. *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2016 г.* Т. 2. С. 144–150.
3. Волкова Н.Г. Развитие нормирования строительной климатологии // *БСТ*. 2012. № 2. С. 37–38.
4. Умнякова Н.П. Новый СП 131.13330.2012. СНиП 23-01-99\* Строительная климатология. Актуализированная редакция // *АВОК*. 2013. № 7. С. 72–76.
5. Савин В.К. Энергосбережение и климатология // *АВОК*. 2016. № 2. С. 72–77.
6. Самарин О.Д. Влияние изменения параметров наружного климата на окупаемость энергосберегающих мероприятий // *Известия вузов. Строительство*. 2009. № 6. С. 43–48.
7. Ботнар М.И., Рымаров А.Г. Особенности мониторинга изменения температуры наружного воздуха в период резкого похолодания. *Строительная физика. Системы обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях. Сб. докладов*. Москва: МГСУ, 2014. С. 260–263.
8. Аникеев В.В. Как развивать Дальний Восток. Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2014 г. Москва-Курск, 2015. С. 231–238.
9. Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменению и изменчивости климата в технической сфере. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Гл. геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. Н. Новгород: Кириллица, 2015. 213 с.
10. Волкова Н.Г. Об учете последних климатических перемен в строительстве // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. 2017. № 1. С. 120–123.
2. Volkova N.G. About application-oriented climatology and the state interests. *Basic, exploratory and applied researches of PAACH on scientific support of development of architecture, town planning and construction branch of the Russian Federation in 2016*. Т. 2, pp. 144–150.
3. Volkova N.G. Development of rating of construction climatology. *BST*. 2012. No. 2, pp. 37–38. (In Russian).
4. Umnyakova N.P. New joint venture 131.13330.2012. *Construction Norms and Regulations 23-01-99\* Construction climatology*. The staticized edition. *AVOK*. 2013. No. 7, pp. 72–76. (In Russian).
5. Savin V.K. Energy saving and climatology. *AVOK*. 2016. No. 2, pp. 72–77. (In Russian).
6. Samarin O.D. Influence of change of parameters of outside climate on payback of energy saving actions. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2009. No. 6, pp. 43–48. (In Russian).
7. Botnar M.I., Rymarov A.G. Features of monitoring of change of temperature of outside air in the period of a sharp cold snap. *Construction physics. Papers of systems of support of a microclimate and energy saving in buildings*. Moscow: MGSU, 2014, pp. 260–263.
8. Anikeev V.V. How to develop the Far East. Basic researches of PAACH on scientific support of development of architecture, town planning and construction branch of the Russian Federation in 2014 Moscow-Kursk, 2015, pp. 231–238.
9. Kobysheva N.V., Akentyev E.M., Galyuk L.P. Klimaticheskie riski i adaptatsiya k izmeneniyu i izmenchivosti klimata v tekhnicheskoi sfere. Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy i gl. geofizicheskaya observatoriya im. A.I. Voeikova [Climate risks and adaptation to change and variability of climate in the technical sphere. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring and hl. geophysical observatory of A.I. Voyeykov]. Nizhny Novgorod: Kirillitsa, 2015. 213 p.
10. Volkova N. G. About the accounting of the last climatic changes in construction. *ACADEMIA. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2017. No. 1, pp. 120–123. (In Russian).

#### References

1. The summit of the United Nations on climate. The abstract of the Second evaluation report of Roshydromet on climate changes and their consequences in the territory of the Russian Federation. The review of a status and environmental pollution in the Russian Federation for 2013. *Informatsionnyi byulleten' «Izmenenie klimata»*. 2014. No. 49, pp. 1–26. (<http://www.global-climate-change.ru/index.php/ru/bul-izmenenie-klimata/archive-of-bullet>. Date of the address 15.06.2016).

## Вниманию авторов!

Ознакомьтесь с правилами и рекомендациями, размещенными на сайте издательства:

[www.rifsm.ru/page/7](http://www.rifsm.ru/page/7)

Информация по оформлению подписки на странице:

[www.rifsm.ru/page/5](http://www.rifsm.ru/page/5)

www.rifsm.ru

УДК 691.115

Н.В. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук (nata-kus@mail.ru), О.С. БАРИНОВА, магистрант  
Тамбовский государственный технический университет (392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106)

## Физико-механические свойства цементных композиционных строительных материалов с применением отходов производства ЦСП

Анализируется возможность введения отходов производства цементно-стружечных плит (ЦСП) в качестве компонентов цементных смесей при производстве новых композиционных строительных материалов. С целью максимальной утилизации данных отходов подобран оптимальный состав компонентов смесей. Экспериментально исследованы физико-механические характеристики цементных композиционных материалов с использованием отходов ЦСП – плотность, центральное сжатие и прочность на изгиб в зависимости от вида и количества добавок (суперпластификатора, полипропиленовой микрофибры). Построены зависимости прочности при сжатии и плотности в зависимости от количества вводимого в смесь суперпластификатора. Выявлено, что расчет количества добавки следует производить от суммарной массы вяжущего и отходов ЦСП. Доказано, что при введении в древесно-цементную композицию добавок есть возможность получить экологичный материал, не уступающий по своим физико-механическим свойствам традиционному бетону.

**Ключевые слова:** ресурсосбережение, отходы производства цементно-стружечных плит, цементные композиционные материалы, физико-механические характеристики.

**Для цитирования:** Кузнецова Н.В., Баринаова О.С. Физико-механические свойства цементных композиционных строительных материалов с применением отходов производства ЦСП // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 7–9.

N.V. KUZNETSOVA, Candidate of Sciences (Engineering), Docent, (nata-kus@mail.ru), O.S. BARINOVA, Magistrand  
Tambov State Technical University (106, Sovetskaya Street, 392000, Tambov, Russian Federation)

### Physical-Mechanical Properties of Cement Composite Building Materials with the Use of Waste of CWB Production

A possibility to use the waste of production of cement-woodchip boards (CWB) as components of cement mixes when producing new composite building materials is analyzed. To achieve the maximum utilization of these wastes, the optimal composition of components of mixes has been chosen. Physical-mechanical characteristics of cement composite materials with the use of CWB waste, density, central compression, bending strength depending on the type and quantity of additives (superplasticizer of polypropylene microfiber) have been experimentally studied. Dependences of compression strength and density depending on the amount of a superplasticizer introduced in the mix were constructed. It is revealed that the calculation of the amount of additive is to be made from the summary mass of a binder and CWB waste. It is proved that the introduction of additives into the wood-cement composition makes it possible to obtain an eco-friendly material not inferior in its physical-mechanical properties to the traditional concrete.

**Keywords:** resource saving, waste of cement-woodchip board production, cement composite materials, physical-mechanical properties.

**For citation:** Kuznetsova N.V., Barinova O.S. Physical-mechanical properties of cement composite building materials with the use of waste of CWB production. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 7–9. (In Russian).

В настоящее время на предприятиях различных отраслей промышленности в технологических процессах образуется большое количество отходов. Эти отходы могут быть в твердом, жидком или газообразном состояниях [1].

Твердые промышленные отходы вывозятся и хранятся на специально оборудованных полигонах. Жидкие отходы после предварительной очистки выбрасываются в сточные воды, а отходы в виде газов и аэрозолей – в атмосферу. Для очистки воды и воздуха от промышленных выбросов существует большое количество методов, например методы химического осаждения, газоабсорбционные методы и др. Твердые промышленные отходы требуют других методов переработки [2].

На территории Центрального Черноземья существуют несколько заводов, производящих цементно-стружечные плиты (ЦСП). Объем производства ЦСП только одного предприятия «Тамак» (г. Тамбов) составляет 50 тыс. м<sup>3</sup> год, при этом в сутки образуется порядка 15 м<sup>3</sup> отходов. Доля мелких отходов (средний размер частиц 0,03 мм) составляет в 10 раз меньше, чем крупных (средний размер частиц 0,32 мм).

Смесь для производства ЦСП состоит из портландцемента (65%), древесной стружки (24%), воды (8,5%) и гидратационных добавок (2,5%) (<http://www.tamak.ru/>

about/. Дата обращения 10.03.2017 г.). Химический состав отходов ЦСП аналогичен составу самих плит, так как отходы образуются при резке кромок листов ЦСП. По размеру их можно отнести к мелкодисперсным – средний размер частиц составляет 0,32 мм.

Опыт производства ЗАО «Тамак» показывает, что отходы ЦСП не используются вторично, а складываются на полигонах. В связи с этим рассматривается возможность применения отходов производства ЦСП при производстве новых цементных композиционных строительных материалов в качестве заполнителя [3]. По степени опасности плиты относятся к IV классу, т. е. к малоопасным веществам. Это дает возможность производить материалы не представляющие опасности для здоровья и жизнедеятельности человека, а также не наносящие вред окружающей среде [4].

Очевидно, что предполагаемая смесь должна быть многокомпонентной и состоять из заполнителя, связующего, воды и различных добавок.

В работе [5], целью которой являлось нахождение состава с применением максимального количества утилизируемых отходов, было проведено исследование основных свойств композиционных материалов с применением отходов ЦСП. Результаты прочности при сжатии приведены на рис. 1.

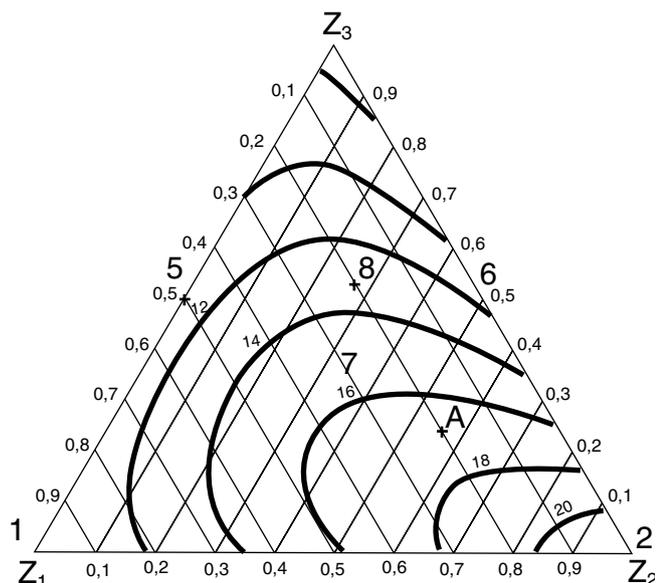


Рис. 1. Прочность при центральном сжатии образцов цементного композиционного материала в зависимости от содержания составляющих в координатах:  $z_1$  (цемент – 0,333; песок – 0,333; отходы ЦСП – 0,333);  $z_2$  (цемент – 0,25; песок – 0,75; отходы ЦСП – 0);  $z_3$  (цемент – 0,143; песок – 0; отходы ЦСП – 0,857)

В результате эксперимента было выявлено, что полная замена песка отходами ЦСП дает наименьшую прочность образцов – 7,5 МПа, а при замене 50% песка отходами ЦСП снижение прочности при сжатии составило 30%. Это говорит о том, что данная добавка негативно сказывается на прочностных характеристиках материалов.

Исходя из возможности максимальной утилизации отходов был подобран оптимальный состав смеси (цемент : песок : отходы ЦСП = 0,237:0,422:0,341). Так как отношение вяжущего к заполнителю в выбранном составе смеси с учетом разброса размеров их частиц составляет 3,2, предполагается формирование контактной структуры композиционного материала [6]. Для компенсации потери прочности материала с добавкой из отходов ЦСП необходимо введение добавок, модифицирующих структуру цементного материала для улучшения ее свойств.

С этой целью проводилось экспериментальное исследование влияния добавок на свойства композиционных строительных материалов [7]. В качестве добавок были выбраны суперпластификатор и полипропиленовая микрофибра.

Наличие в цементной смеси частиц заполнителя с большой удельной поверхностью приводит к значительному росту водопотребности и повышенному водопоглощению. Выбор суперпластификатора в качестве добавки объясняется способностью снижать водопотребность, сохраняя при этом заданную подвижность смеси. Микрофибра применяется с целью улучшения рабочих качеств бетонного раствора, армирования и защиты материала от внешних факторов.

Экспериментально исследовались прочность на центральное сжатие и изгиб (ГОСТ 10180–2012), а также плотность образцов (ГОСТ 12730.1–78).

В данной работе в качестве связующего использовался портландцемент марки М500 насыпной плотностью 1100 кг/м<sup>3</sup> (ГОСТ 10178–85). В качестве заполнителя применялся кварцевый песок с модулем крупности 1,8 и насыпной плотностью 1530 кг/м<sup>3</sup> (ГОСТ 8736–2014), а также тонкодисперсный порошок отходов ЦСП ОАО «ТАМАК» насыпной плотностью 650 кг/м<sup>3</sup>.

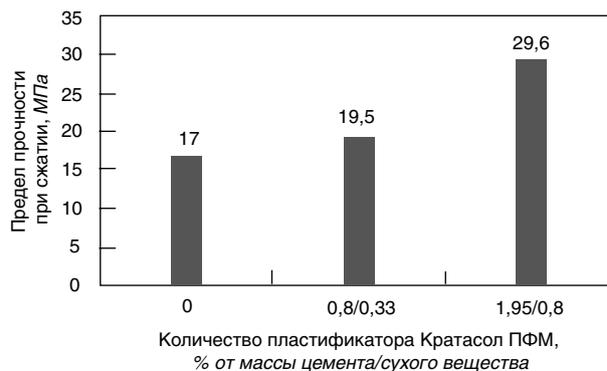


Рис. 2. Прочность образцов при сжатии при соотношении компонентов П:Ц:О = 1:0,56:0,8 в зависимости от количества пластификатора

Были выбраны следующие добавки: суперпластификатор Кратасол ПФМ и полипропиленовая микрофибра. Кратасол ПФМ вводился в дозировке 0,33 и 0,8% в перерасчете на сухое вещество по отношению к массе вяжущего, что составляет соответственно 0,8 и 1,95% от массы цемента [8]. Расход полипропиленовой микрофибры составлял 1 кг на 1 м<sup>3</sup> раствора.

Количество воды принималось для получения одинаковых показателей подвижности смесей. Водоцементное отношение (В/Ц) находилось в пределах 0,35–0,6. Затворенная смесь уплотнялась штыкованием стальным стержнем диаметром 16 мм с закругленным концом. Спустя 72 ч образцы освобождались из форм, дальнейшее твердение осуществлялось в нормальных условиях в течение 28 сут.

Для проведения эксперимента были изготовлены образцы в форме балочек 40×40×160 мм.

Компонентные составы смесей представлены в таблице. Прочность образцов мелкозернистого бетона состава 1 (без отходов ЦСП) составила 27 МПа, плотность – 1600 кг/м<sup>3</sup>.

Прочность композиционного материала при сжатии (рис. 2) при введении суперпластификатора в количестве 0,8% от массы вяжущего (0,33% от массы сухого вещества) увеличилась до 19,5 МПа, что составило 13%; при увеличении количества добавки до 1,95% от массы вяжущего (0,8% от массы сухого вещества) прочность увеличилась до 29,6 МПа, что составило 43% по сравнению с материалом без добавок и отходов ЦСП. Прочность цементного композиционного материала с добавкой ЦСП выше по сравнению с материалом без отходов на 9%, что позволяет говорить об эффективности предложенного способа утилизации отходов ЦСП.

Увеличение прочности цементного композиционного материала при увеличении дозировки пластифика-

№ смеси	Компонентный состав смеси				
	Песок	Цемент	Отходы ЦСП	Пластификатор Кратасол ПФМ, % от массы цемента/сухого вещества	Полипропиленовая микрофибра
1	0,422	0,237	–	–	–
2	0,422	0,237	0,341	–	–
3	0,422	0,237	0,341	0,8/0,33	–
4	0,422	0,237	0,341	1,95/0,8	–
5	0,422	0,237	0,341	–	1 кг на 1 м <sup>3</sup> раствора

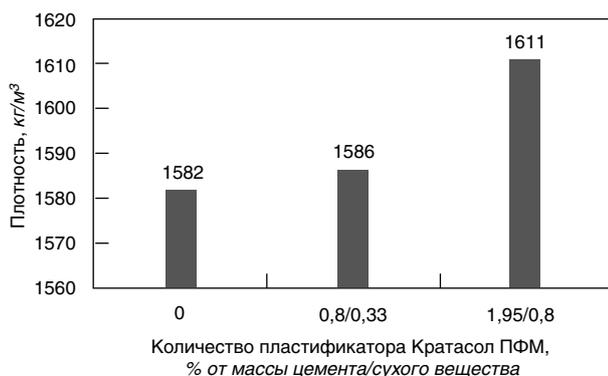


Рис. 3. Плотность образцов при соотношении компонентов П:Ц:О = 1:0,56:0,8 в зависимости от количества пластификатора

тора объясняется тем, что отходы ЦСП представляют собой мелкодисперсные частицы, основой которых является цементное вяжущее. Пластификатор с цементом представляет собой вариант сложного вяжущего. В этом случае для достижения водоредуцирующего эффекта требуется увеличение количества пластификатора [9].

При введении добавки в количестве 0,33% от массы сухого вещества наблюдается незначительный прирост плотности (рис. 3), в то время как при введении добавки в количестве 0,8% от массы сухого вещества наблюдается более существенное увеличение плотности. Значения плотности существенно не изменяются и находятся в пределах 1580–1610 кг/м³.

Зависимость прочности образцов при изгибе аналогична прочности при сжатии. Так, прочность при изгибе

образца с отходами ЦСП без применения добавок составила 3,05 МПа; при введении пластификатора в количестве 0,8% от массы цемента прочность составила 3,28 МПа, а при количестве пластификатора 0,8% от массы сухого вещества (цемент и отходы ЦСП) – 4,44 МПа.

Для образцов с добавлением микрофибры было выявлено ухудшение физико-механических характеристик по сравнению с остальными образцами. Прочность при сжатии составила 14,1 МПа, плотность – 1498 кг/м³, прочность при изгибе – 2,34 МПа. По-видимому, это связано с завышенной дозировкой полипропиленовой микрофибры, в связи с чем были утрачены оптимальные физико-механические свойства материала.

Таким образом, исследования доказали положительное влияние пластификатора на физико-механические свойства образцов цементного композиционного материала с использованием отходов ЦСП: при введении пластифицирующей добавки прочность при сжатии увеличилась на 69%, прочность на изгиб – на 45% по сравнению с образцами без добавок.

Также результаты эксперимента показали, что дозировка вводимого пластификатора должна рассчитываться на сухое вещество (в данном случае по сумме цемента и отходов ЦСП), так как это дает возможность получить образцы с более высокими прочностными показателями.

Полученные данные о физико-механических характеристиках цементных композиционных строительных материалов с добавлением отходов ЦСП показывают, что проектируемый материал является не только экологичным, но и при применении модифицирующих добавок может стать заменой традиционному бетону.

#### Список литературы

1. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 368 с.
2. Наназашвили И.Х., Наназашвили В.И. Ресурсосбережение в строительстве. М.: АСВ, 2012. 488 с.
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. Цховребов Э.С., Величко Е.Г. Вопросы охраны окружающей среды и здоровья человека в процессе обращения строительных материалов // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 99–103.
5. Езерский В.А., Кузнецова Н.В., Барина О.С. Модификация цементных смесей с использованием отходов производства цементно-стружечных плит // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 47–49.
6. Белов В.В., Образцов И.В., Куляев П.В. Методология проектирования оптимальных структур цементных бетонов // *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 17–21.
7. Орешкин Д.В., Горностаева Е.Ю., Капцов П.В., Хаев Т.Э. Древесно-цементные композиции с улучшенными физико-техническими показателями // *Вестник ВолгГАСУ*. 2015. № 40. С. 174–182.
8. Дмитриев А.А. Добавки к бетонам «Кратасол» от ОАО «Пигмент» – ассортимент для решения любых задач // *Технология бетонов*. 2012. № 9–10. С. 12–14.
9. Калашников В.И., Мороз М.Н., Тараканов О.В., Калашников Д.В., Суздальцев О.В. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами // *Строительные материалы*. 2014. № 9. С. 70–75.

#### References

1. Dvorkin L.I. Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti [Structural materials from an industry waste]. Rostov-na-Donu: Feniks. 2007. 368 p.
2. Nanazashvili I.Kh., Nanazashvili V.I. Resursosberezhenie v stroitel'stve [Resource-saving in construction]. Moscow: ASV. 2012. 488 p.
3. Gornostaeva E.Yu., Lasman I.A., Fedorenko E.A., Kamozha 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).
4. Tskhovrebov E.S., Velichko E.G. Environmental protection and health of the person in the process of the circulation of building materials. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 99–103. (In Russian).
5. Ezerskiy V.A., Kuznetsova N.V., Barinova O.S. Modification of cement mixtures using waste cement-bonded particleboards. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 47–49. (In Russian).
6. Belov V.V., Obratsov I.V., Kulyaev P.V. Methodology for designing optimal structures of cement concrete. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 3, pp. 17–21. (In Russian).
7. Oreshkin D.V., Gornostaeva E.Yu., Kaptsov P.V., Khaev T.E. Wood and cement compositions with the improved physics and technology indexes. *Vestnik VolgGASU*. 2015. No. 40, pp. 174–182. (In Russian).
8. Dmitriev A.A. Additives to Kratasol concrete from JSC Pigment – the range for the solution of any tasks. *Tekhnologiya betonov*. 2012. No. 9–10, pp. 12–14. (In Russian).
9. Kalashnikov V.I., Moroz M.N., Tarakanov O.V., Kalashnikov D.V., Suzdal'tsev O.V. New ideas about action mechanism of superplasticizers grinded jointly with cement or mineral rocks. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 9, pp. 70–75. (In Russian).

УДК 693.9:699.841

Н.И. КАРПЕНКО, д-р техн. наук, академик РААСН (niisf\_lab9@mail.ru),  
В.Н. ЯРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук, почетный член РААСН (yarmakovsky@yandex.ru),  
Д.З. КАДИЕВ, инженер

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

## Влияние влажности бетона на диаграммы его деформирования под нагрузкой при низкой отрицательной (до $-70^{\circ}\text{C}$ ) температуре

Статья содержит анализ экспериментальных исследований по определению совместного влияния низкой отрицательной климатической (до  $-70^{\circ}\text{C}$ ) температуры и влажности бетона (в диапазоне от 3,12 до 5,2%) при  $В/Ц=0,4$  на трансформацию диаграмм деформирования тяжелого бетона. Разработанные диаграммы предназначены для построения общих физических соотношений применительно к расчету железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях одновременного воздействия силовых нагрузок, значительной по величине отрицательной температуры и влажности бетона, современными вычислительными методами (МКЭ и др.).

**Ключевые слова:** диаграмма деформирования бетона, низкая отрицательная температура, влажность, железобетонные конструкции, нагрузка.

**Для цитирования:** Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Кадиев Д.З. Влияние влажности бетона на диаграммы его деформирования под нагрузкой при низкой отрицательной (до  $-70^{\circ}\text{C}$ ) температуре // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 10–13.

N.I. KARPENKO, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS (niisf\_lab9@yandex.ru)  
V.N. YARMAKOVSKY, Candidate of Sciences (Engineering), Honorary Member of RAACS (yarmakov-sky@yandex.ru)  
D.Z. KADIEV, Engineer, (yarmakovsky@yandex.ru)  
Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS)  
(21, Lokomotivny Passage, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Influence of Humidity of Concrete on Its Deformation Diagrams under Load at Low Negative (up to $-70^{\circ}\text{C}$ ) Temperatures

The article contains the analysis of experiment research in the definition of the joint effect of low negative climatic (up to  $-70^{\circ}\text{C}$ ) temperature and humidity of concrete (in the range of 3,12 to 5,20%) at the water-cement ratio=0.4 on the transformation of the diagrams of heavy (normal weight) concrete deformation. Developed diagrams are intended for building general physical ratios as applied to the calculation of reinforced concrete structures which operate under the conditions of simultaneous action of power loads, a significant negative temperature and humidity of concrete with the help of modern computational methods (finite element method for example).

**Keywords:** diagram of concrete deformation, low negative temperatures, humidity, reinforced concrete structures, load.

**For citation:** Karpenko N.I., Yarmakovsky V.N., Kadiev D.Z. Influence of humidity of concrete on its deformation diagrams under load at low negative (up to  $-70^{\circ}\text{C}$ ) temperatures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 10–13. (In Russian).

Актуальность выполнения исследований определяется необходимостью расчета диаграммным методом деформирования железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях одновременных силовых воздействий и воздействия низкой (до  $-70^{\circ}\text{C}$ ) климатической температуры.

Диаграммный метод расчета железобетонных конструкций является, как показано в работах авторов [1, 2], наиболее эффективным для использования при проектировании строительных конструкций инженерных сооружений, эксплуатируемых в суровых климатических условиях.

Авторами выполнены соответствующие исследования [1, 2] тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В40 при  $В/Ц$ , равном 0,4 (наиболее эффективной величине  $В/Ц$  высокодолговечных бетонов типа High Performance Concrete – по классификации fib [3]). В результате получены аналитические зависимости, связывающие напряжения осевого сжатия с относительными продольными деформациями бетона. При этом учтены результаты соответствующих экспериментальных и теоретических исследований, выполненных профессорами Ю.В. Зайцевым и С.Н. Леоновичем [4].

И в тех, и в других исследованиях не учитывалось влияние на прочностные и деформативные характеристики бетона в замороженном до низкой отрицательной температуры состоянии такого важного фактора, как влажность бетона в естественном состоянии. Значение

этого фактора в поведении бетона в условиях воздействия отрицательной температуры показано в работах В.М. Москвина и его учеников [5–6].

На рис. 1, а показаны полученные в исследованиях авторов статьи зависимости относительных величин призмочной прочности тяжелого бетона с различной влажностью ( $W_i$ ), определенных в испытаниях при  $\sigma=0,92 R_{пр}$  и при температуре  $+20$  и  $-65^{\circ}\text{C}$  ( $R_{пр}^{65^{\circ}\text{C}}/R_{пр}^{20^{\circ}\text{C}}$ ). Как видим, зависимость величины  $R_{пр}^{65^{\circ}\text{C}}/R_{пр}^{20^{\circ}\text{C}}$  от  $W_i$  (см. нижний ряд значений влажности по оси абсцисс) имеет линейный характер при увеличении последней до значения 5,11% ( $W_i/W_0=1,26$ , где  $W_0$  – влажность бетона, условно принятая равной 4,05% как средневзвешенная в рассматриваемом интервале  $W_i$  от 3,12 до 5,2%). Именно при такой величине влажности  $W_i=5,11\%$  определяется пиковая точка рассматриваемой зависимости, имеющей при приближении к данной величине  $W_i$  параболический характер.

Как следует из результатов исследований профессора В.М. Москвина и его учеников [5–6], эта величина влажности бетона (5,11% при  $W_i/W_0=1,26$ ) близка к так называемой «критической»  $W^{кр}$ , когда практически все поры и капилляры бетона заполняются водой более чем на 90% их объема.

Известно [5, 6], что при замораживании бетона с влажностью  $W^{кр}$  при температуре около  $-70^{\circ}\text{C}$  развивающееся при этом гидравлическое давление на стенки пор и капилляров цементного камня в бетоне при фазовом пе-

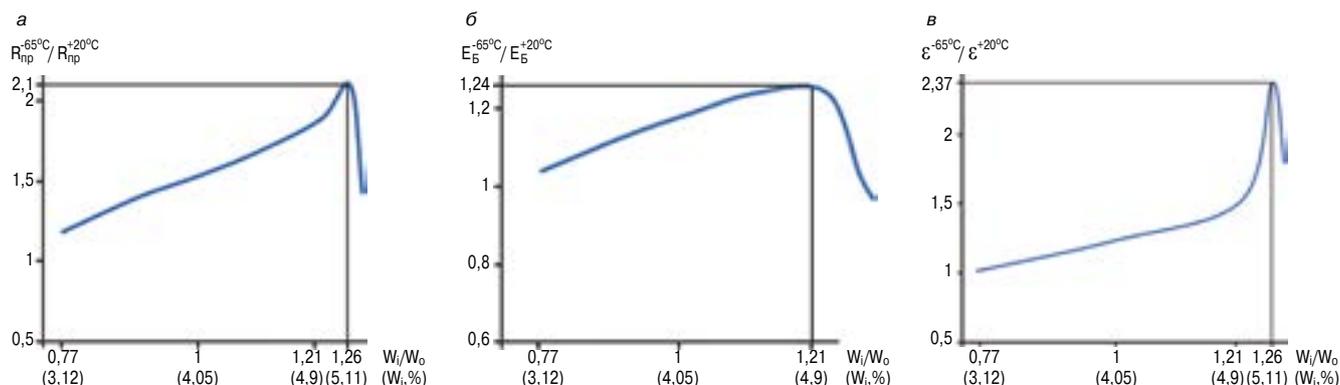


Рис. 1. Зависимость относительных величин призмочной прочности (а); модулей упругости (б); деформаций сжатия при  $\sigma=0,92 R_{np}$  (в) тяжелого бетона при температуре  $-65$  и  $+20^\circ\text{C}$  от его влажности в абсолютном значении ( $W_i$ ) и от его относительной влажности ( $W_i/W_0$ )

реходе воды в лед (когда происходит соответствующая трансформация структуры молекул воды) достигает величины, при которой структура бетона разрушается. Этому способствуют образующиеся в цементном камне необратимые микротрещины, которые затем соединяются с такими же необратимыми микротрещинами в контактной зоне цементного камня и крупного плотного заполнителя (называемыми в зарубежных источниках [7] bond cracks – «трещинами сцепления»). Развитие «трещин сцепления» в рассматриваемом случае обусловлено в основном существенной разницей в коэффициентах линейного температурного расширения компонентов бетона (цементного камня и крупного заполнителя): при замораживании водонасыщенного цементного камня развиваются напряжения преимущественно растяжения, а при замораживании плотного заполнителя, в частности гранита, в который не проникает вода, – напряжения сжатия. В конечном результате процесса деформирования тяжелого бетона под нагрузкой сжатия образуются непрерывные магистральные трещины (по Ю.В. Зайцеву [8]), разрушающие макроструктуру бетона.

На рис. 1, б приведена зависимость относительной величины модуля упругости бетона  $E_b^{-65^\circ\text{C}}/E_b^{+20^\circ\text{C}}$  от его влажности  $W_i$ . Эта зависимость, как и зависимость  $R_{np}^{-65^\circ\text{C}}/R_{np}^{+20^\circ\text{C}}$  от  $W_i$ , имеет экстремальный параболический характер. Точка перегиба параболы наблюдается уже при меньшей влажности бетона, а именно при  $W_i=4,9\%$  ( $W_i/W_0=1,21$ ). Последнее может свидетельствовать о том, что модуль упругости бетона – характеристика, более чувствительная (в сравнении с призмочной прочностью) к структурным изменениям, происходящим в бетоне при столь низкой (до  $-65^\circ\text{C}$ ) отрицательной температуре.

На рис. 1, в представлена зависимость относительной величины предельных деформаций сжатия ( $\epsilon$ ) тяжелого бетона того же класса (В40) и такого же состава при том же  $V/C=0,4$ , определенная при температуре  $+20$  и  $-65^\circ\text{C}$  при уровнях напряжений сжатия  $\sigma/R_{np}=0,92$ , т. е. зависимость величины  $\epsilon^{-65^\circ\text{C}}/\epsilon^{+20^\circ\text{C}}$  от относительной влажности бетона  $W_i/W_0$ . Эта зависимость, так же как и зависимость относительного модуля упругости бетона от величины  $W_i/W_0$ , имеет явно параболический характер, но более выраженный. При этом пиковая точка перегиба параболы также соответствует влажности бетона  $W_i=5,11\%$ .

Ниже рассматривается влияние величины влажности бетона на диаграммы его деформирования при низкой отрицательной температуре, построенные на основе результатов исследований [5, 6]. Эти диаграммы могут быть непосредственно использованы в разработанном авторами [1, 2] диаграммном методе расчета стержневых железобетонных конструкций, эксплуатируемых при низкой отрицательной температуре.

Аналитическая зависимость для криволинейных диаграмм деформирования бетона принимается в виде:

$$\epsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b \beta_{tE} v_b}, \quad (1)$$

где  $\epsilon_b$ ,  $\sigma_b$ ,  $E_b$  – соответственно относительная деформация, напряжение сжатия и начальный модуль упругости бетона при  $t=+20^\circ\text{C}$  и влажности  $W_0=4,05\%$ ;  $\beta_{tE}$  – коэффициент изменения модуля упругости бетона при воздействии низкой отрицательной температуры, определяемый в диапазоне от  $+20$  до  $-70^\circ\text{C}$ , с учетом коэффициента влажности по формуле:

$$\beta_{tE} = \gamma_E + 0,2\varphi_E \frac{20^\circ\text{C} - t^\circ\text{C}}{90^\circ\text{C}}, \quad (2)$$

где  $\gamma_E$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности на изменение модуля упругости бетона при температуре  $+20^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_E$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности на изменение модуля упругости бетона при низкой отрицательной температуре (до  $-70^\circ\text{C}$ );

$$\gamma_E = 1,2 - 0,52 \left( \frac{W_i}{W_0} \right) + 0,32 \left( \frac{W_i}{W_0} \right)^2; \quad (3)$$

$$\varphi_E = -5,37 + 10,4 \left( \frac{W_i}{W_0} \right) - 4,03 \left( \frac{W_i}{W_0} \right)^2, \quad (4)$$

где  $W_0$  – средневзвешенная влажность бетона для рассматриваемого диапазона его влажности от 3,12 до 5,2% при  $V/C=0,4$ , равная 4,05%.

Значение коэффициента секущего модуля  $v_b$  определяется по формуле:

$$v_b = \hat{v}_b \pm (v_0 - \hat{v}_b) \sqrt{1 - \omega_1 \eta - (1 - \omega_1) \eta^2}, \quad (5)$$

где  $\hat{v}_b$  – значение коэффициента  $v_b$  в вершине диаграммы зависимости величины относительных деформаций тяжелого бетона от напряжений сжатия при температуре от  $+20$  до  $-70^\circ\text{C}$  и влажности бетона в диапазоне от 3,12 до 5,2% (при  $\sigma_b = \hat{\sigma}_{bt}$ , где  $\hat{\sigma}_{bt}$  – величина напряжения в вершине диаграммы вышеназванной зависимости при заданной температуре); плюс (+) принимается для восходящей ветви диаграммы, минус (-) – для нисходящей ветви;  $v_0$  – значение коэффициента  $v_b$  в начале диаграммы;  $\omega_1$  – коэффициент, характеризующий полноту диаграммы:

– для восходящей ветви:

$$v_0 = 1; \quad \omega_1 = 2 - 2,5 \hat{v}_b; \quad (6)$$

– для нисходящей ветви:

$$v_0 = 2,05 \hat{v}_b; \quad \omega_1 = 1,95 \hat{v}_b - 0,138; \quad (7)$$

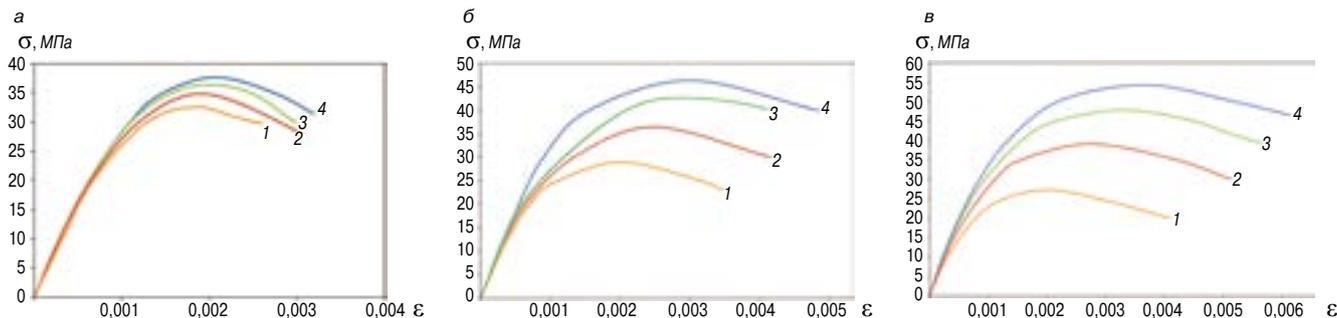


Рис. 2. Диаграммы зависимости величины относительных деформаций тяжелого бетона от напряжений сжатия при температуре от +20°C до -70°C и влажности бетона: а - 3,12%; б - 4,05%; в - 4,9%; 1 - +20°C; 2 - -20°C; 3 - -50°C; 4 - -70°C

$\eta$  – уровень напряжений при заданной отрицательной температуре:

$$\eta = \sigma_b / \hat{\sigma}_{b t^0}, \quad (8)$$

где

$$\hat{\sigma}_{b t^0} = \hat{\sigma}_b \beta_{t^0 R}, \quad (9)$$

где  $\hat{\sigma}_b$  – напряжение в вершине диаграммы при  $t = +20^\circ\text{C}$  (в расчетах  $\hat{\sigma}_b = R_{b, \text{сер}}$ ;  $\beta_{t^0 R}$  – коэффициент увеличения прочности в вершине диаграммы в зависимости от величины отрицательной температуры  $t$ ):

$$\beta_{t^0 R} = \gamma_R + 0,6 \varphi_R \frac{20^\circ\text{C} - t^\circ\text{C}}{90^\circ\text{C}}, \quad (10)$$

где  $\gamma_R$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности бетона на его призменную прочность при температуре +20°C;  $\varphi_R$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности бетона на его призменную прочность при низкой отрицательной температуре (до -70°C):

$$\gamma_R = 1,99 - 1,61 \left( \frac{W_i}{W_0} \right) + 0,62 \left( \frac{W_i}{W_0} \right)^2; \quad (11)$$

$$\varphi_R = -2,78 + 4,83 \left( \frac{W_i}{W_0} \right) - 1,05 \left( \frac{W_i}{W_0} \right)^2; \quad (12)$$

– для диаграммы сжатия:

$$\hat{\nu}_b = \frac{\hat{\sigma}_b \beta_{t^0 R}}{\hat{\epsilon}_b \cdot \beta_{t^0 \epsilon} E_b \beta_{t^0 E}}, \quad (13)$$

где  $\beta_{t^0 E}$  – коэффициент изменения деформаций в вершине диаграммы сжатия, в диапазоне температуры от +20 до -70°C:

$$\hat{\epsilon}_{b t^0} = \hat{\epsilon}_b \beta_{t^0 \epsilon}; \quad (14)$$

$$\beta_{t^0 \epsilon} = \gamma_\epsilon + 0,55 \varphi_\epsilon \frac{20^\circ\text{C} - t^\circ\text{C}}{90^\circ\text{C}}, \quad (15)$$

где  $\gamma_\epsilon$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности на величину деформаций сжатия бетона при темпе-

ратуре +20°C;  $\varphi_\epsilon$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности на величину деформаций сжатия бетона при низкой отрицательной температуре (до -70°C);

$$\gamma_\epsilon = 0,69 + 0,56 \left( \frac{W_i}{W_0} \right) - 0,25 \left( \frac{W_i}{W_0} \right)^2; \quad (16)$$

$$\varphi_\epsilon = -5,14 + 9,29 \left( \frac{W_i}{W_0} \right) - 3,15 \left( \frac{W_i}{W_0} \right)^2. \quad (17)$$

Деформации в вершине диаграммы при  $t = +20^\circ\text{C}$  определяются следующим образом:

$$\hat{\epsilon}_b = -\frac{B}{E_b} \lambda \frac{1 + \left( 0,8 - 0,15 \frac{B^2}{10000} \right) \lambda B / 60 + 0,2 \lambda / B}{0,12 + 1,03 B / 60 + 0,2 / B}, \quad (18)$$

где  $B$  – класс бетона по прочности при сжатии;  $\lambda$  – безразмерный коэффициент, зависящий от вида бетона и определяемый по рекомендациям в работах [1, 2]. Для тяжелого бетона  $\lambda = 1$ .

Анализ данных диаграмм на рис. 2 показывает, что зависимость величины относительных деформаций сжатия бетонов от напряжений сжатия при всех рассматриваемых значениях влажности бетона  $W_i$  и температуре от +20 до -70°C имеет параболический характер. При этом вершины этих парабол сдвигаются в сторону больших величин относительных деформаций при замораживании бетона и в сторону больших значений напряжений сжатия при всех величинах температуры испытаний бетонных образцов-призм.

**Заключение.** На основании анализа приведенных выше результатов экспериментальных исследований выполнена корректировка диаграмм деформирования тяжелого бетона при осевом сжатии в диапазоне температур от +20 до -70°C и изменения влажности бетона в диапазоне от 3,12% до 4,9%. Представленные в статье диаграммы могут быть использованы для расчета стержневых железобетонных элементов разработанным авторами диаграммным методом в условиях совместного действия нагрузок и значительных по величине отрицательной температуры при различной влажности бетона.

### Список литературы

1. Карпенко С.Н., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Диаграммный метод расчета стержневых железобетонных конструкций, эксплуатируемых при воздействии низких климатических (до -70°C) и технологических (до -150°C) температур // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. 2017. № 1. С. 104–108.
2. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н. О построении диаграммного метода расчета стержневых железобетонных конструкций при отрица-

### References

1. Karpenko S.N., Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N. The chart (diagram) method of calculation of rode's reinforced concrete structures operated under the influence of low climatic (up to -70°C) and technologic (up to -150°C) temperatures. *AKADEMIYA. Arhitektura i Stroitelstvo*. 2017. No. 1, pp. 79–83. (In Russian).
2. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N. About the construction of the chart method of calculation of rode's reinforced concrete structures at low temperatures.

- тельных температурах // *Сборник трудов Международной конференции «Полярная механика»*. Владивосток: СФУ, 2016. С. 181–191.
3. Lightweight Aggregate Concrete/ Codes and standards of fib (CEB-FIP). Stuttgart. 1999. 35 p.
  4. Зайцев Ю.В., С.Н. Леонович. Прочность и долговечность конструкционных материалов с трещиной. Минск: БНТУ, 2010. 362 с.
  5. Ярмаковский В.Н. Прочностные и деформативные характеристики бетона при низких отрицательных температурах // *Бетон и железобетон*. 1971. № 10. С. 9–15.
  6. Москвин В.М., Капкин М.М., Савицкий А.Н., Ярмаковский В.Н. Бетон для строительства в суровых климатических условиях. Л.: Стройиздат (Ленинградское отделение). 1973. 172 с.
  7. Hsu T.C., Slate F.O., Sturman G.M., Winter G. Microcracking of Plain Concrete and the Shape of Stress-strain Curve. JACI, 1963. v. 60. No. 2, pp. 8–16.
  8. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами разрушения. М.: Стройиздат, 1982. 310 с.
- Proceedings of the International conference “Polar mechanics”*. Vladivostok. 2016, pp. 181–191. (In Russian).
3. Lightweight Aggregate Concrete/ Codes and standards of fib (CEB-FIP). Stuttgart. 1999. 35 p.
  4. Zaitsev Yu.V., Leonovich S.N. [Prochnost' i dolgovechnost' konstruktsionnykh materialov s treshchinoy ] The strength and durability of structural materials with crack. Minsk: BNTU, 2010. 362 p.
  5. Yarmakovskiy V.N. Strength and deformation characteristics of concrete at low temperatures. *Beton i zhelezobeton*. 1971. No. 10, pp. 9–15. (In Russian).
  6. Moskvina V.M., Kapkin M.M., Savitskiy, A.N., Yarmakovskiy V.N. [Beton dlya stroitel'stva v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh] Concrete for construction in severe climatic conditions. Leningrad: Stroyizdat, 1973. 172 p.
  7. Hsu T.C., Slate F.O., Sturman G.M., Winter G. Microcracking of Plain Concrete and the Shape of Stress-strain Curve. JACI, 1963. v. 60. No. 2, pp. 8–16.
  9. Zaitsev Yu. V. [Modelirovaniye deformatsiy i prochnosti betona metodami razrusheniya] Modeling of deformation and strength of concrete methods of destruction. Moscow: Stroyizdat, 1982. 310 p.

## СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 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 натуральных 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 «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., Пищ 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.



**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 692.232: 697.93:54-145.1

Т.Ф. ЕЛЬЧИЩЕВА, канд. техн. наук (elschevat@mail.ru)

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

## Определение влажностного режима помещений зданий при наличии в стеновом материале гигроскопических солей

Наружные ограждающие конструкции помещений жилых и общественных зданий часто возводятся из строительных материалов, имеющих в своем составе гигроскопические соли и их смеси, которые вводятся в качестве технологических добавок, регулирующих свойства и процессы твердения материалов, попадают из окружающей среды либо присутствуют в исходном сырье. Наличие солей способствует повышению сорбционных свойств и влагосодержания стеновых материалов, что ухудшает санитарное состояние помещений. Показана необходимость учета влияния солей при установлении влажностного режима помещений таких зданий; предложен порядок инженерного расчета парциального давления насыщенного водяного пара при наличии в стеновом материале помещений отдельных солей, а также их смесей при различной температуре, соответствующей режиму эксплуатации наружных ограждающих конструкций.

**Ключевые слова:** влажностный режим, гигроскопические соли, кристаллогидраты, наружные ограждающие конструкции, парциальное давление насыщенного водяного пара.

**Для цитирования:** Ельчищева Т.Ф. Определение влажностного режима помещений зданий при наличии в стеновом материале гигроскопических солей // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 14–18.

T.F. EL'CHISHCHEVA, Candidate of Sciences (Engineering) (elschevat@mail.ru)

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

### Determination of Humidity Conditions in Premises of Buildings at Presence of Hygroscopic Salts in Wall Material

External enclosing structures of premises of residential and public buildings are often constructed with the use of building materials containing hygroscopic salts and their mixes which are introduced as technological additives regulating properties and processes of material hardening, come from the environment, either present in the initial raw material. The presence of salts contributes to improving sorption properties and moisture content of wall materials that worsens the sanitary condition of the premises. The necessity to take into account the influence of salts when establishing the humidity conditions in premises of such buildings is shown; the procedure of engineering calculation of the partial pressure of saturated water vapour at presence of some salts in the wall material of premises as well as their mixes at different temperature corresponding to the operation conditions of external enclosing structures is proposed.

**Keywords:** humidity conditions, hygroscopic salts, crystalline hydrate, external enclosing structures, partial conditions, pressure of saturated water vapor

**For citation:** Elchishcheva T.F. Determination of humidity conditions in premises of buildings at presence of hygroscopic salts in wall material. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 14–18. (In Russian).

Наружные ограждающие конструкции зданий, введенных из каменных строительных материалов, часто содержат неорганические гигроскопические соли. Это вызвано наличием природных солей в сырье [1–5] для изготовления материалов и строительных растворов, проникновением солей из окружающей воздушной среды и грунта, целенаправленным внесением солей — добавок в бетоны и растворы — для улучшения свойств, регулирования сроков схватывания [5–6], а также образованием солей в результате твердения смесей [7].

Известен эффект понижения парциального давления насыщенного водяного пара над растворами солей по сравнению с давлением над водой: до 33,7 отн. % для многокомпонентных растворов и до 26,3 отн. % для бинарных растворов (растворы с одной солью) [1]. Величину понижения можно прогнозировать, ориентируясь на значения гигроскопических точек солей. Для смеси солей величина гигроскопической точки отличается от значений для отдельных солей в смеси. Соли, находясь на поверхности и в толще стенового материала, активно поглощают влагу из воздуха, повышают сорбционные свойства строительных материалов, которые усиливаются при понижении величины гигроскопической точки. В местах локализации солей образуются водные солевые растворы, способствующие ухудшению санитарного состояния стен и качества внутреннего воздуха. Меняется влажностный режим помещений, из категории «сухой» и «нормальный» он может перейти в категорию «влажный» и «мокрый». Также изменяются условия эксплуатации наружных

ограждающих конструкций (с условий А на условия Б), что приводит к изменениям расчетных характеристик влажности [8–16], теплопроводности и теплоусвоения материалов, назначенных при проектировании здания, к ухудшению условий жизни и работы людей.

Анализ нормативной литературы по теме исследования показал, что влажностный режим помещений с учетом воздействия солевой среды определяется лишь для производственных зданий [1]. Результаты первых исследований приведены в Справочном пособии<sup>1</sup> к СНиП II-3-79\*<sup>2</sup>: значения упругости водяного пара  $E_p$ , Па для температуры ( $t$ ) от 10 до 30°C и относительной влажности внутреннего воздуха  $\phi'_v$ , % над насыщенными растворами солей при атмосферном давлении 100,7 кПа, для  $t = 20^\circ\text{C}$ . Впервые была дана оценка влияния на влажность внутреннего воздуха в производственных помещениях калийных комбинатов хлоридов натрия (NaCl), калия (KCl), магния ( $\text{MgCl}_2$ ) и их смесей состава: NaCl — 50%, KCl — 30%,  $\text{MgCl}_2$  — 20% (в цехах дробления руды), а также NaCl — 30%, KCl — 60%,  $\text{MgCl}_2$  — 10% (в цехах сушки), которая была представлена в виде изолиний сорбционного влагосодержания при изменении относительной влажности воздуха  $\phi_v$ , %, и массового солесодержания  $C$ , %, для керамзитобетона плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup> на керамзитовом песке. В Пособии<sup>1</sup> приведены примеры вычисления относительной влажности внутреннего воздуха помещений с учетом солевой производственной среды и даны рекомендации по устройству защитных покрытий внутренней поверхности стен.

В Своде правил<sup>3</sup> в разделе «Расчет сопротивления паропрооницанию ограждающих конструкций» помещений с агрессивной средой было рекомендовано в формулах (34–37) СНиП II-3-79\*\*<sup>2</sup> принимать значения упругости водяного пара для керамзитобетона плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup> равными, в соответствии с Пособием<sup>1</sup>, значениям над растворами солей. При  $\varphi'_p \leq 60\%$  рекомендовалось проектировать влагозащиту внутренних поверхностей стен.

В СНиП 23-02–2003<sup>4</sup> и принятых позже нормативных документах отсутствуют рекомендации определения влажностного режима помещений и условий эксплуатации наружных ограждающих конструкций с учетом воздействия агрессивной среды помещений; вместе с тем в разделе «Защита от переувлажнения ограждающих конструкций» рекомендуется рассчитывать парциальное давление водяного пара  $E_p$  Па в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации с учетом воздействия среды.

В СП 23-101–2004<sup>5</sup> в разделе «Расчет сопротивления паропрооницанию ограждающих конструкций (защита от влаги)» сохранились рекомендации Пособия<sup>1</sup> о назначении величины  $E_p$  над насыщенными растворами солей, определении парциального давления водяного

пара по формулам, приведенным в СНиП II-3-79\*\*<sup>2</sup> и СНиП 23-02–2003<sup>4</sup> и сорбционного влагосодержания керамзитобетона в соответствии с Пособием<sup>1</sup> и СП 23-101–2000. Проектирование тепловой защиты зданий<sup>3</sup>.

В СП 50.13330.2010<sup>6</sup> и СП 50.13330.2012<sup>7</sup> рекомендации по определению величины  $E_p$  при наличии агрессивной среды отсутствуют.

В октябре 2016 г. закончилось общественное обсуждение первой редакции проекта Свода правил «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»<sup>8</sup>. Наличие неорганических гигроскопических солей характерно не только для внутреннего воздуха помещений и территории промышленных предприятий. Как показано выше, соли могут обнаруживаться и непосредственно в материале наружных ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, что вызывает понижение парциального давления насыщенного водяного пара в поровом пространстве над растворами солей. Без учета этого явления расчетные характеристики теплопроводности и теплоусвоения стеновых материалов и парциальное давление водяного пара  $E_p$  Па в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации могут быть назначены некорректно. Поэтому к п. 8.1 «Требования к сопротивлению

Таблица 1

Парциальное давление водяного пара и относительная влажность воздуха над насыщенными растворами солей при давлении  $B=100,7$  кПа

Химическая формула	Парциальное давление водяного пара, $E_p$ , Па, при температуре $t$ , °C					Относительная влажность над насыщенным раствором соли $\varphi_p$ , %, при температуре $t$ , °C				
	10	15	20	25	30	10	15	20	25	30
ZnBr <sub>2</sub>	–	–	230,6	286,6	305,3	–	–	9,9	9	7,2
MgCl <sub>2</sub>	–	–	–	–	1400	–	–	–	–	33
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	548	761,3	1051	1451	1895	44,6	44,7	45,0	45,8	44,6
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	–	–	1261	1659	2169	–	–	53,9	52,4	51,1
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	746,6	954,6	1288	1605	2005	60,8	56,0	55,1	50,7	47,2
NaBr	–	959,9	1400	1787	2240	–	56,3	60	56,4	52,8
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	917,3	1193	1566	1992	2524	74,7	70	67	62,9	59,4
NaNO <sub>3</sub>	950,6	1313	1804	2364	3076	77,4	77	77,2	74,6	72,4
NaCl	923,6	1279	1807	2381	3253	75,2	75	77,3	75,2	76,6
NH <sub>4</sub> Cl	969,3	1353	1856	2416	3281	78,9	79,4	79,4	76,3	77,3
Ca(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	997,2	1365	1873	2408	3078	81,2	80,1	80,1	76	72,5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	971,9	1355	1896	2600	3362	79,1	79,5	81,1	82,1	79,2
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	909,3	1333	1927	2748	3633	74	78,2	82,4	86,7	85,6
KCl	1055	1445	1968	2636	3733	85,9	84,8	84,2	83,2	87,9
NaSO <sub>3</sub>	1075	1487	2038	2762	3706	87,5	87,2	87,2	87,2	87,3
CdSO <sub>4</sub>	1099	1511	2077	2812	3768	89,5	88,6	88,8	88,8	88,7
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	–	1601	2090	2704	3465	–	93,9	89,4	85,4	81,6
CdBr <sub>2</sub>	–	–	2120	2820	3678	–	–	90,7	89	86,6
ZnSO <sub>4</sub>	1189	1597	2126	2802	3661	96,8	93,7	90,9	88,4	86,2
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1192	1658	2146	2921	3890	97,1	97,2	91,8	92,2	91,6
KNO <sub>3</sub>	1183	1635	2161	2925	3845	96,3	95,9	92,4	92,3	90,6
CaH <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1193	1689	2202	3052	3980	97,1	99,1	94,2	96,3	93,7
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1195	1683	2251	3034	3946	97,3	98,7	96,3	95,8	92,9
MgSO <sub>4</sub>	–	–	–	–	4000	–	–	–	–	94,2
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1208	1701	2306	3141	4112	98,4	99,8	98,6	99,2	96,8

<sup>1</sup> Расчет и проектирование ограждающих конструкций зданий (Справочное пособие к СНиП). М.: Стройиздат, 1990. 233 с.

<sup>2</sup> СНиП II-3–79\*\*. Строительная теплотехника. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 32 с.

<sup>3</sup> СП 23-101–2000. Проектирование тепловой защиты зданий. М.: ЦНС, 2001. 79 с.

<sup>4</sup> СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, ЦПП. 2004. 26 с.

<sup>5</sup> СП 23-101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий, М.: ЦПП. 2004. 186 с.

Таблица 2

Парциальное давление водяного пара  $E_p$  и относительная влажность воздуха  $\phi_p$  над насыщенными растворами смеси солей при давлении  $B=100,7$  кПа

t, °C	Химический состав смеси солей			
	NaCl-K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -KCl		NaCl-Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
	$E_p$ , Па	$\phi_p$ , %	$E_p$ , Па	$\phi_p$ , %
10	908	73,9	896,2	70,78
15	1277,9	75	1131,3	66,35
20	1778,6	76,1	1637,8	70,05
25	2353,1	74,3	2449,8	77,33
30	3155,3	74,3	3344,5	78,77

паропроницанию ограждающих конструкций» проекта СП предлагается ввести Приложение, в котором приводятся данные для учета влияния солей на характеристики влажностного состояния ограждающих конструкций. Сведения, необходимые для Приложения, приведены ниже.

В проекте СП в п. 8.1 формула (8.3) имеет вид (1):

$$e_b = (\phi_b / 100) E_b, \quad (1)$$

где  $E_b$  – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре внутреннего воздуха помещения  $t_g$  рассчитывается в соответствии с п. 8.2.5 проекта СП;  $\phi_b$  – относительная влажность внутреннего воздуха, %, принимается для различных зданий в соответствии с табл. 4, п. 4.3<sup>7</sup>.

В формуле (1) вместо значения  $E_g$  предлагается принимать  $E_{pi}$  (при наличии одной соли) и  $E_p$  (при наличии смеси солей), вместо  $\phi_b$  принимать  $\phi_b^c$ . Тогда формула (1) примет вид (2):

$$\phi_b^c = e_b \cdot 100 / E_{pi}; \quad \phi_b^c = e_b \cdot 100 / E_p, \quad (2)$$

где  $E_{pi}$ ,  $E_p$  – парциальное давление водяного пара соответственно над насыщенным раствором одной соли и раствором смеси солей, Па, при температуре  $t_g$ , °C;  $\phi_b$  – относительная влажность воздуха, %, с учетом наличия солей, определяется по формуле (3):

$$\phi_b^c = \phi_b \cdot 100 / \phi_p, \quad (3)$$

где  $\phi_p$  – относительная влажность воздуха, %, над насыщенным раствором соли (гигроскопическая точка соли).

При содержании в поровом растворе стенового материала одной соли значения  $E_{pi}$  и  $\phi_p$  принимаются по табл. 1, которая составлена на основе Приложения 7<sup>1</sup> в зависимости от температуры.

При наличии в поровом пространстве материала наружных ограждающих конструкций солей, образующих разные кристаллогидраты при одной температуре,  $E_p$  над раствором смеси изменяется скачками по правилу «ступенчатых переходов» В. Оствальда [17] и принимается равным давлению  $E_{pi}$  над раствором кристаллогидрата с наибольшим числом присоединенных молекул воды.

Для трех и более солей (А, В, С...), кристаллизующихся в безводной форме, давление пара изотермически инвариантных смешанных растворов (растворы, состав которых не изменяется при одной и той же температуре) и смешанных растворов, насыщенных хотя бы одной солью или близких к насыщению,  $E_p$  рассчитывается по

Таблица 3

Концентрации  $c_i^H$ ,  $c_{H_2O}^i$  в бинарных растворах при температуре  $t$  и давлении воздуха 100,7 кПа

Состав раствора	t, °C	$c_i^H$ , % мас.	$C_{H_2O}^i$ , % мас.
NaCl-H <sub>2</sub> O	10	26,31	73,69
	15	26,36	73,64
	20	26,4	73,6
	25	26,47	73,53
	30	26,52	73,48
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O	10	9,6	90,4
	15	13,1	86,9
	20	16,1	83,9
	25	27,9	72,1
	30	28,98	71,02
KCl-H <sub>2</sub> O	10	23,78	76,22
	15	24,7	75,3
	20	25,6	74,4
	25	26,47	73,53
	30	27,22	72,78
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O	10	8,51	91,49
	15	9,17	90,83
	20	9,99	90,01
	25	10,75	89,25
	30	11,5	88,5

принятой в аналитической химии формуле Н.И. Хайдукова и З.Г. Линецкой (4) [18]:

$$p_{np} = p_n - (p_n - p_A) \cdot \frac{M_1}{M_A} - (p_n - p_B) \cdot \frac{M_2}{M_B} - (p_n - p_C) \cdot \frac{M_3}{M_C}, \text{ Па} \quad (4)$$

где  $p_n$  – давление паров воды, Па;  $p_A$ ,  $p_B$ ,  $p_C$  – давление паров воды над насыщенными растворами солей А, В и С, Па;  $M_A$ ,  $M_B$ ,  $M_C$  – растворимость солей А, В и С при температуре  $t$ , г соли на 100 г воды.

Из формулы (4) автором была выведена формула (5), в которой для удобства расчетов концентрация  $i$ -х растворов солей выражена в мас. %:

$$E_p = E_b - \sum (E_b - E_{pi}) \cdot \frac{c_i \cdot C_{H_2O}^i}{c_i^H \cdot C_{H_2O}}, \quad (5)$$

где  $c_i$ ,  $c_i^H$  концентрация  $i$ -й соли соответственно в растворе смеси солей и ее насыщенном растворе, мас. %;  $C_{H_2O}$ ,  $C_{H_2O}^i$  – содержание воды соответственно в растворе смеси солей и насыщенном растворе  $i$ -й соли, мас. %.

Количественные значения  $c_i$  и  $C_{H_2O}$  принимаются по результатам химического анализа отобранных проб стенового материала или замеров уровней соле- и влагосодержания соле- и влагомерами.

Значения  $E_p$  и  $\phi_p$  для многокомпонентных растворов смеси солей вида H<sub>2</sub>O+NaCl+K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+KCl и H<sub>2</sub>O+NaCl+Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> принимаются по вычисленным автором значениям (табл. 2) для различной температуры.

Величины  $c_i^H$ ,  $C_{H_2O}^i$  в бинарных растворах для NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KCl и K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> принимаются по [19] (табл. 3). При наличии в растворе смеси других солей расчет производится по формуле (5), значения  $c_i^H$ ,  $C_{H_2O}^i$  принимаются по [19].

<sup>6</sup> СП 50.13330.2010. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: ФЦС. 2012. 76 с.

<sup>7</sup> СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: ФЦС. 2012. 100 с.

<sup>8</sup> Проект СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты». <http://www.normacs.info/discussions/3086#8862>. Дата обращения 31.05.2017.

Влажностный режим помещений предлагается определять по величине относительной влажности внутреннего воздуха  $\varphi_{в}^c$ , %, при наличии в материале наружных ограждающих конструкций одной соли или смеси солей, соответственно по табл. 1 и 2<sup>7</sup>.

В работе показана необходимость учета влияния одно- и многокомпонентных солевых систем в составе внутрипорового вещества стеновых материалов на изменение относительной влажности воздуха над растворами солей,

#### Список литературы

1. Ельчищева Т.Ф. Влажностный режим помещений зданий с производственной средой, содержащей гигроскопические соли // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2016. № 4. С. 13–21.
2. Коробкова М.В. Испытания бетонных образцов с демпфирующими добавками на динамическую прочность // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 9–12.
3. Кожухова Н.И., Войтович Е.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Алехин Д.А. Термостойкие ячеистые материалы на основе композиционных гипсокремнеземных вяжущих // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 65–69.
4. Булдыжова Е.Н., Бурьянов А.Ф., Гальцева Н.А., Соловьев В.Г. Сухие строительные смеси на основе многофазного гипсового вяжущего // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 82–83.
5. Гальцева Н.А., Бурьянов А.Ф., Булдыжова Е.Н., Соловьев В.Г. Использование синтетического ангидрита сульфата кальция для приготовления закладочных смесей // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 76–77.
6. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Влияние новой комплексной добавки на основные свойства цементных композиций // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 63–65.
7. Токарев Ю.В., Гинчицкий Е.О., Яковлев Г.И., Бурьянов А.Ф. Эффективность модификации гипсового вяжущего углеродными нанотрубками и добавками различной дисперсности // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 84–87.
8. 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.
9. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Определение расчетной влажности строительных материалов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 8. С. 41–44.
10. Киселев И.Я. Равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов и ее полимолекулярно-адсорбированная и капиллярно-конденсированная составляющие // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 20–22.
11. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Зубарев К.П. Анализ расположения зоны наибольшего увлажнения в ограждающих конструкциях с различной толщиной теплоизоляционного слоя // *Жилищное строительство*. 2016. № 6. С. 8–12.
12. Шепс Р.А., Шукина Т.В. Теплозащитные свойства ограждений с учетом прогнозируемых условий эксплуатации // *Жилищное строительство*. 2015. № 7. С. 29–30.
13. Корниенко С.В. Предложения по корректировке СП 50.13330.2012 в части защиты от переувлажнения ограждающих конструкций // *Жилищное строительство*. 2015. № 7. С. 31–34.
14. Бородин А.И., Чапанов З.Б. Учет влияния влажности среды при расчете термического сопротивления

что приводит к изменению расчетных характеристик материалов и параметров внутренней среды. Предложен порядок определения парциального давления насыщенного водяного пара при наличии в стеновом материале смеси гигроскопических солей. Результаты исследований необходимы для корректного определения влажностного режима помещений, условий эксплуатации, расчета сопротивления паропрооницанию наружных ограждающих конструкций и их защиты от переувлажнения.

- ограждающей конструкции // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2009. № 7. С. 40–43.
15. Иванцов А.И., Куприянов В.Н. К разработке методологических основ оценки срока службы многослойных ограждающих конструкций // *БСТ*. 2016. № 6. С. 34–35.
16. Перехоженцев А.Г., Груздо И.Ю. Температурно-влажностное состояние поверхностных слоев наружных ограждающих конструкций зданий // *БСТ*. 2016. № 6. С. 70–71.
17. Позин М.Е. Технологии минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот). Ч. 1. Л.: Химия. 1974. 792 с.
18. Викторов М.М. Методы вычисления физико-химических величин и прикладные расчеты. Л.: Химия. 1977. 360 с.
19. Справочник химика. Т. 3. Л.— М.: Химия, 1965. 1008 с.
20. Коган В.Б., Огородников С.К., Кафаров В.В. Справочник по растворимости. Тройные и многокомпонентные системы, образованные неорганическими веществами. Т. 3. Кн. 2. Л.: Наука, 1969. 1170 с.
21. Викторов М.М. Графические расчеты в технологии неорганических веществ. Л.: Химия, 1972. 464 с.

#### References

1. El'chishcheva T.F. Humid regime of premises of buildings with industrial environment containing hygroscopic salts. *Biosfernaya sovmesimost': chelovek, region, tekhnologii*. 2016. No. 4, pp. 13–21. (In Russian).
2. Korobkova M.V. Tests of concrete samples with damping additives for dynamic strength. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 9–12. (In Russian).
3. Kozhukhova N.I., Voytovich E.V., Cherevatova A.V., Zhernovskiy I.V., Alekhin D.A. Heat-resistant cellular materials based on composite gypsum-silica astringents. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 65–69. (In Russian).
4. Buldyzhova E.N., Bur'yanov A.F., Gal'tseva N.A., Solov'ev V.G. Dry building mixtures on the basis of multiphase gypsum binder. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 82–83. (In Russian).
5. Gal'tseva N.A., Bur'yanov A.F., Buldyzhova E.N., Solov'ev V.G. Use of synthetic calcium sulphate anhydrite for preparation of filling mixtures. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 76–77. (In Russian).
6. Izotov V.S., Ibragimov R.A. Effect of a new complex additive on the main properties of cement compositions. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 6, pp. 63–65. (In Russian).
7. Tokarev Yu.V., Ginchitskiy E.O., Yakovlev G.I., Bur'yanov A.F. Efficiency of modification of gypsum binder with carbon nanotubes and additives of various dispersity. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 84–87. (In Russian).
8. Gagarin V.G., Pastushkov P.P., Reutova N.A. To the question of designating the design moisture of building

- materials on the sorption isotherm. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015. No. 4, pp. 152–155. (In Russian).
9. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Determination of the calculated humidity of building materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 8, pp. 41–44. (In Russian).
  10. Kiselev I.Ya. The equilibrium sorption moisture of cellular concrete and its polymolecular-adsorbed and capillary-condensed constituents. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 20–22. (In Russian).
  11. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Zubarev K.P. Analysis of the location of the zone of maximum moisture in the enclosing structures with different thickness of the thermal insulation layer. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2016. No. 6, pp. 8–12. (In Russian).
  12. Sheps R.A., Shchukina T.V. Thermal protective properties of fences taking into account the forecasted operating conditions. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2015. No. 7, pp. 29–30. (In Russian).
  13. Kornienko S.V. Proposals for the correction of SP 50.13330.2012 regarding the protection from waterlogging of enclosing structures. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2015. No. 7, pp. 31–34. (In Russian).
  14. Borodin A.I., Chapanov Z.B. Accounting for the influence of environmental humidity in calculating the thermal resistance of the enclosing structure. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2009. No. 7, pp. 40–43. (In Russian).
  15. Ivantsov A.I., Kupriyanov V.N. To the development of methodological bases for estimating the service life of multi-layered enclosing structures. *BST*. 2016. No. 6, pp. 34–35. (In Russian).
  16. Perekhozhentsev A.G., Gruzdo I.Yu. Temperature-humidity state of surface layers of external enclosing structures of buildings. *BST*. 2016. No. 6, pp. 70–71. (In Russian).
  17. Pozin M.E. Tekhnologiya mineral'nykh solei (udobrenii, pestitsidov, pro-myshlennykh solei, okislov i kislot) [Technology of mineral salts (fertilizers, pesticides, industrial salts, oxides and acids)]. Vol. 1. Leningrad: Khimiya. 1974. 792 p.
  18. Viktorov M.M. Metody vychisleniya fiziko-khimicheskikh velichin i prikladnye raschety [Methods for calculating physicochemical quantities and applied calculations]. Leningrad: Khimiya. 1977. 360 p.
  19. Spravochnik khimika [Chemical Handbook]. Vol. 3. Leningrad–Moscow: Khimiya. 1965. 1008 p.
  20. Kogan V.B., Ogorodnikov S.K., Kafarov V.V. Spravochnik po rastvorimosti. Troinye i mnogokomponentnye sistemy, obrazovannye neorganicheskimi veshchestvami. [Handbook of solubility. Triple and multicomponent systems formed by inorganic substances]. Vol. 3. Leningrad: Nauka. 1969. 1170 p.
  21. Viktorov M.M. Graficheskie raschety v tekhnologii neorganicheskikh veshchestv. [Graphical calculations in the technology of inorganic substances]. Leningrad: Khimiya. 1972. 464 p.



### Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий

Ю.З. Балакшин, В.А. Терехов

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

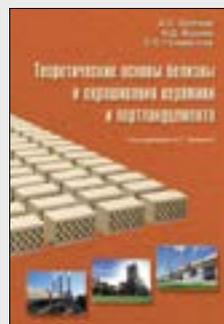
Авторы многие годы отдали работе в промышленности строительных материалов и накопили значи-

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

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

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

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



### Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента

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

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

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

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

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

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

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

УДК 625. 7/8

М.Э. ПИЛЕЦКИЙ, инженер, И.В. ДИДРИХ, канд. техн. наук, А.Ф. ЗУБКОВ, д-р техн. наук, К.А. АНДРИАНОВ, канд. техн. наук (gsiad@mail.tambov.ru)

Тамбовский государственный технический университет (392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Е)

## Исследование битумоминеральной смеси, применяемой для ямочного ремонта дорожных покрытий струйно-инъекционным методом

Установлены физико-механические свойства битумоминеральной смеси (прочность, водонасыщение, коэффициент уплотнения) при ямочном ремонте выбоин дорожных покрытий нежесткого типа струйно-инъекционным методом. На основании полученных результатов лабораторных исследований с использованием полного факторного анализа установлена аналитическая зависимость влияния технологических режимов внесения смеси при укладке в выбоину при разных технологических режимах работы и отличающихся по объему смеси в процентном соотношении содержания битумной эмульсии. Показано, что полученное значение величины водонасыщения материала только при 10%-м содержании эмульсии по объему и средней скорости подачи материала 30 м/с соответствует нормативным значениям ГОСТ 9128–2009. Установлено, что для повышения срока службы отремонтированной поверхности дорожных покрытий существует необходимость дополнительного уплотнения смеси в выбоине уплотняющими машинами.

**Ключевые слова:** струйно-инъекционный метод, ямочный ремонт дорожного покрытия нежесткого типа, битумоминеральная смесь, водонасыщение, коэффициент уплотнения.

**Для цитирования:** Пилецкий М.Э., Дидрих И.В., Зубков А.Ф., Андрианов К.А. Исследование битумоминеральной смеси, применяемой для ямочного ремонта дорожных покрытий струйно-инъекционным методом // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 19–23.

M.E. PILECKIJ, Engineer, I.V. DIDRIKH, Candidate of Sciences (Engineering), A.F. ZUBKOV, Doctor of Sciences (Engineering), K.A. ANDRIANOV, Candidate of Sciences (Engineering)  
Tambov State Technical University (112, bldg.E, Michurinskaya Street, Tambov, 392032, Russian Federation)

### Research of Bitumen-Mineral Mixture Applied for Patching Repair of Road Pavements Using Jet-Injection Method

Physical and mechanical properties of a bitumen-mineral mixture (strength, water saturation, compaction factor) are established for patching repair of road pavements of a non-rigid type with the use of jet-injection method. On the basis of obtained results of the laboratory studies with the use of a full factorial analysis, an analytical dependence of influence of technological modes of stacking of the mixture when laying it in a pothole under different technological regimes and different volume of the mixture in the percent for the content of bitumen emulsion has been established. It is shown that the obtained value of water saturation of the material corresponds to the normative values of GOST 9128–2009 only with 10%-content of the emulsion by volume and an average feed rate of 30 m/s. It is proven that for increasing the service life of the repaired surface of road pavements, there is a need for additional compaction of the mixture in the pothole with tamping machines.

**Keywords:** jet-injection method, patching repair of road pavement of non-rigid type, bitumen-mineral mixture, water saturation, compaction factor.

**For citation:** Pileckij M.E., Didrikh I.V., Zubkov A.F., Andrianov K.A. Research of bitumen-mineral mixture applied for patching repair of road pavements using jet-injection method. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 19–23. (In Russian).

В последние годы широкое применение при ямочном ремонте покрытий находит струйно-инъекционный метод, который принято относить к скоростному (оперативному) методу ремонта. Такой вид ремонта дорожных покрытий занимает значительно меньше времени по сравнению с традиционными способами с применением литых и горячих асфальтобетонных смесей.

Стоит отметить, что несвоевременное проведение ремонтных работ приводит к ухудшению состояния покрытия и в дальнейшем к удорожанию работ по приведению его в нормативное состояние. Одной из основных причин является несоблюдение межремонтных сроков по причине ограниченного финансирования. Проведение своевременного ремонта позволяет увеличить срок службы покрытия на 4–5 лет, а задержка проведения ремонта в течение 2–3 лет приводит к росту затрат в два раза [1].

В связи с вышесказанным вопрос повышения качества ремонтных работ, в том числе и за счет совершенствования новых эффективных технологий, является актуальным.

Согласно мнению отечественных и зарубежных специалистов [7–12] одним из преимуществ данного метода является отсутствие процесса уплотнения при укладке

материала в выбоину покрытия. Материал подается с высоты 60 см от поверхности выбоины со скоростью 30–32 м/с при 20% содержании битумной эмульсии в смеси. В качестве обоснования отсутствия необходимости уплотнения принимается тот факт, что материал с размером фракций 6,5–10 мм подается с указанной выше скоростью, за счет чего происходит равномерное и плотное его распределение в выбоине. Однако данные выводы не подкреплены какими-либо исследованиями.

Экспериментально в производственных условиях было установлено [5], что при указанном выше технологическом режиме и содержании битумной эмульсии в смеси, при применении рекомендуемого как отечественными, так и зарубежными производителями оборудования прочностные характеристики материала и показатель водонасыщения не соответствуют требованиям ГОСТ 9128–2009.

Учитывая вышеизложенные факты, для определения основных физико-механических свойств битумоминеральной смеси в лабораторных условиях была воспроизведена техническая модель оборудования, используемого для выполнения ремонтных работ струйно-инъекционным методом. Исследования проводили при разных технологических режимах работы оборудо-



Рис. 1. Установка Husqvarna производительностью 780 м<sup>3</sup>/ч с устройством для боковой загрузки материала на шланге

вания (изменение скорости и высоты подачи материала), а также при различном содержании битумной эмульсии в смеси и при оптимальном гранулометрическом составе щебня.

**Методика проведения многофакторного эксперимента на специальном оборудовании при разных технологических режимах работы.** В качестве технической модели при проведении экспериментальных исследований была использована воздуходувка Husqvarna производительностью 780 м<sup>3</sup>/ч с устройством для боковой загрузки материала на шланге (рис. 1).

С целью улучшения физико-механических показателей смеси авторами был выполнен подбор оптимального гранулометрического состава гранитного щебня фракции 2,5–10 мм, имеющего марку по прочности не менее М1200, марку по износостойкости И-1 и содержание пылеватых и глинистых частиц не более 1%.

Для достижения наилучших результатов ремонта дорожного полотна применяли чистый, промытый и подогретый до 50°C гранитный щебень, быстрораспадающуюся катионную битумную эмульсию 60%-й концентрации – ЭБК 1. Оптимальная температура битумной эмульсии во время проведения работ была принята равной 71–80°C. Соотношение по массе эмульсии к щебню было принято 1:10 (в рекомендациях производителей 1:20).

Использовали два режима скорости подачи материала, так как это обусловлено довольно низкими показателями плотности образцов, полученных в производственных условиях при заявленной производителями скорости подачи материала, равной 30–32 м/с [8]. В эксперименте скорость подачи регулировали путем изменения диаметра сечения выходного отверстия шланга от воздуходувки Husqvarna.

Расчет скорости подачи материала проводился в зависимости от производительности установки. При применении насадки с диаметром 100 мм (как на используемом оборудовании для ямочного ремонта покрытий в

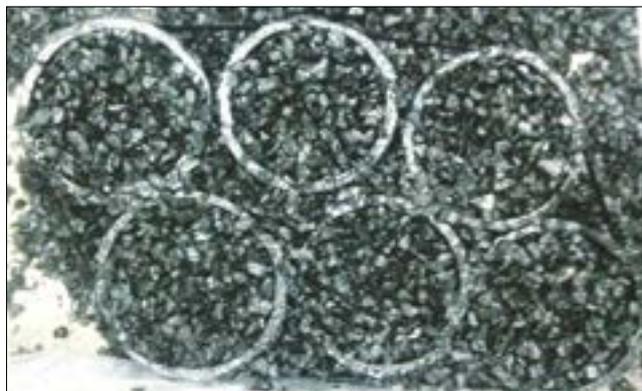


Рис. 2. Пластиковые цилиндрические формы, заполненные битумоминеральной смесью, диаметром 100 мм и высотой 50 мм

производственных условиях типа Мадпатчер и т. п.) расчетное значение скорости 27,6 м/с. Расчетное значение скорости при использовании насадки с диаметром 80 мм – 41,35 м/с. При попытке увеличения скорости путем дальнейшего уменьшения диаметра выходного отверстия воздуходувки наблюдался выброс материала через боковое отверстие в шланге.

Подачу материала осуществляли с высоты 90, 60 и 30 см от выходного отверстия воздуходувки до поверхности заполнения. Для получения проб с целью испытаний материала были подготовлены пластиковые цилиндрические формы высотой 50 мм и диаметром 100 мм, которые изображены на рис. 2.

После выдерживания образцов в формах в течение 30 сут определяли предел прочности, плотность и водонасыщение полученной битумоминеральной смеси, которая, как видно на рис. 2, имеет пористую структуру. Испытание всех образцов проводили согласно ГОСТ 12801–98, экспериментально полученные физико-механические характеристики сравнивали с нормативными значениями ГОСТ 9128–2009.

**Оценка достоверности полученных результатов экспериментальных исследований.** Для проведения экспериментальных исследований был использован полный факторный эксперимент (ПФЭ).

По плану эксперимента были заданы следующие характеристики [2–4]: количество опытов  $n=8$ , число повторений опытов  $m=3$ , количество влияющих факторов – 3.

Исследуемые параметры образцов: прочность  $f$  (МПа); плотность  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>); водонасыщение  $r$  (%) и коэффициент уплотнения  $k$ .

В качестве влияющих факторов были выбраны:  $x_1$  – скорость подачи материала, м/с (минимальное и максимальное значения  $x_1^- = 27,6$ ;  $x_1^+ = 41,5$ );  $x_2$  – высота подачи материала, см (минимальное и максимальное значения  $x_2^- = 30$ ;  $x_2^+ = 90$ );  $x_3$  – содержание эмульсии в смеси, % (минимальное и максимальное значения  $x_3^- = 10$ ;  $x_3^+ = 20$ ).

Для исследуемых параметров были получены уравнения регрессии, которые учитывают все взаимодействия факторов. Для этого необходимо было [6]:

- осуществить кодирование переменных;
- достроить матрицу планирования в кодированных переменных с учетом парных взаимодействий;
- вычислить коэффициенты уравнения регрессии;
- проверить вычисленные коэффициенты на значимость (предварительно определив дисперсию воспроизводимости) и получить уравнение регрессии в кодированных переменных;
- проверить полученное уравнение на адекватность;
- записать уравнение регрессии в натуральных переменных.

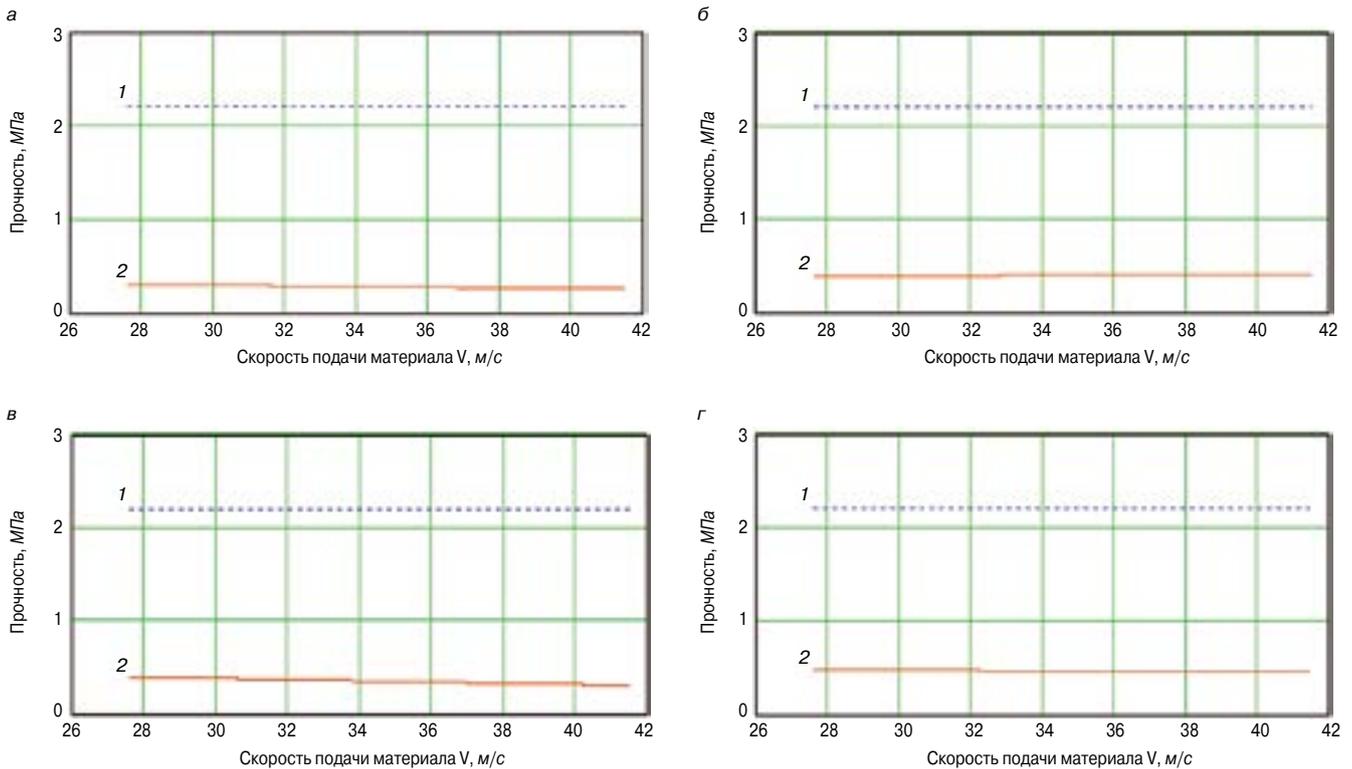


Рис. 3. Функция прочности материала: а –  $x_2=30$  см,  $x_3=10\%$ ; б –  $x_2=30$  см,  $x_3=20\%$ ; в –  $x_2=90$  см,  $x_3=10\%$ ; г –  $x_2=90$  см,  $x_3=20\%$

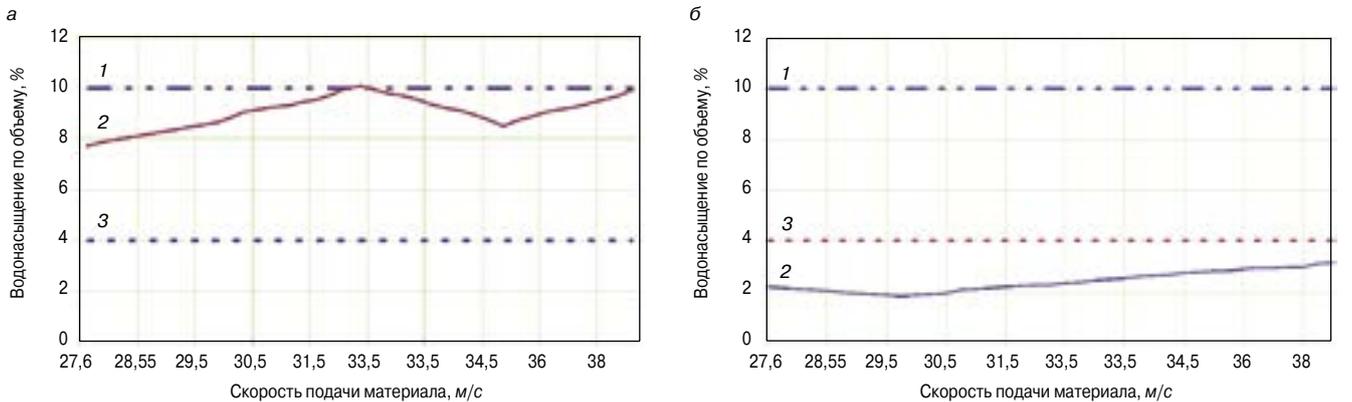


Рис. 4. Функция водонасыщения материала: а –  $x_2=30,9$  см,  $x_3=10\%$ ; б –  $x_2=30,9$  см;  $x_3=20\%$

С учетом изложенного подхода к выводу уравнения функции прочности материала  $F$  (МПа) в соответствии с составленной авторами исходной матрицей планирования эксперимента для каждого фактора находили центр, интервал варьирования и зависимость кодированной переменной  $z_1$  от натуральной  $x_1$ :

$$z_1 = \frac{x_1 - 34,55}{6,95}; \quad z_2 = \frac{x_2 - 60}{30}; \quad z_3 = \frac{x_3 - 15}{5}. \quad (1)$$

Для обработки результатов экспериментальных исследований с учетом всех взаимодействий была построена матрица планирования и выведены формулы (2).

По формулам (2) найдены коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_0 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 \bar{f}_j; \quad b_i = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 z_{ji} \bar{f}_j, \quad i = \overline{1,3};$$

$$b_{rp} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 z_{jr} z_{jp} \bar{f}_j, \quad r < p, \quad r = \overline{1,3}, \quad p = \overline{1,3}. \quad (2)$$

Были вычислены дисперсия воспроизводимости  $S_{(f)}^2 = 0,0003$  и среднее квадратическое отклонение коэф-

фициентов  $S_{\text{коэф}} = \sqrt{\frac{S_{(f)}^2}{nm}} = 0,0035$  [3]; при  $b_{23} = b_{123} = 0$ , получаем уравнение регрессии в кодированных переменных:

$$f = 0,37 - 0,018z_1 + 0,032z_2 + 0,062z_3 - 0,012z_1z_2 + 0,018z_1z_3. \quad (3)$$

Используя формулы (1), записываем уравнение регрессии в натуральных переменных:

$$f = 0,354 - 0,0065x_1 + 0,0032x_2 - 0,0056x_3 - 0,00006x_1x_2 + 0,0005x_1x_3. \quad (4)$$

На рис. 3 показана зависимость функции прочности материала от фактора  $x_1$  при фиксированных значениях факторов  $x_2$  (высоты подачи материала, см) и  $x_3$  (процентного содержания битумной эмульсии в смеси, %). Из графика видно, что полученная прочность материала не соответствует требуемому нормативному значению ГОСТ 9128–2009, которое для асфальтобетона из холодных смесей должно быть не ниже 2,2 МПа. Увеличение

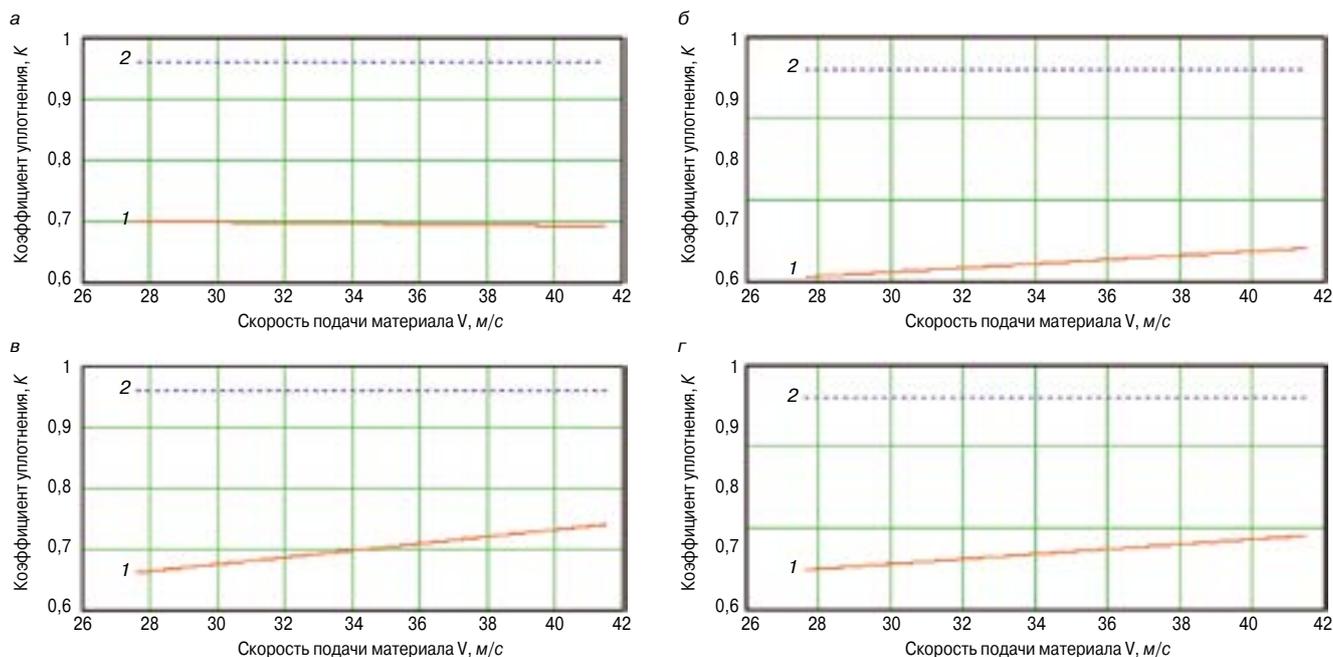


Рис. 5. Функция коэффициента уплотнения материала: а –  $x_2=30, x_3=10$ ; б –  $x_2=30, x_3=20$ ; в –  $x_2=90, x_3=10$ ; г –  $x_2=90, x_3=20$

скорости и высоты подачи материала не влияет на показатель прочности смеси.

Аналогичным образом получены уравнения (5)–(7):  
– для функции плотности материала  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>):

$$\rho = 1,64 - 0,0073x_1 + 0,0025x_2 + 0,0103x_3 + 0,0005x_1x_3 - 0,00007x_2x_3; \quad (5)$$

– для функции водонасыщения материала  $r$  (%):

$$r = -3,04 + 0,52x_1 + 0,158x_2 + 0,36x_3 - 0,0043x_1x_2 - 0,0296x_1x_3 - 0,0099x_2x_3 + 0,00029x_1x_2x_3; \quad (6)$$

– для коэффициента уплотнения материала:

$$k = 1,02 - 0,0097x_1 - 0,0075x_2 - 0,02x_3 + 0,0002x_1x_2 + 0,0006x_1x_3 + 0,0004x_2x_3 - 0,0000096x_1x_2x_3. \quad (7)$$

На рис. 4 показано изменение функции водонасыщения материала от фактора  $x_1$  при фиксированных значениях факторов  $x_2$  (высоты подачи материала, см) и  $x_3$  (процентного содержания битумной эмульсии в смеси, %). Из графика видно, что полученное значение показателя водонасыщения материала при содержании эмульсии 10 об. % и средней скорости подачи материала 30 м/с соответствует требуемому нормативному значению ГОСТ 9128–2009, которое для данного типа пористых смесей должно быть в интервале 4–10 об. %. При содержании эмульсии 20 об. % значение показателя водонасыщения ниже нормативного значения, так как в этом случае смесь чрезмерно подвижна. При этом важно отметить, что содержание эмульсии 20 об. % и средняя скорость подачи материала 30–32 м/с используются в производственных условиях по рекомендациям производителей и поставщиков оборудования. Увеличение высоты подачи материала существенно не влияет на показатель водонасыщения смеси.

На рис. 5 отражена зависимость коэффициента уплотнения от фактора  $x_1$  при фиксированных значениях факторов  $x_2$  (высоты подачи материала, см) и  $x_3$  (процентного содержания битумной эмульсии в смеси, %). Из графика видно, что полученный коэффициент уплотнения материала не соответствует требуемому

нормативному значению СП 78.13330.2012, которое для асфальтобетона из холодных смесей не должно быть ниже 0,96.

Полученные экспериментальные данные опровергают существующее мнение производителей и пользователей оборудования для струйно-инъекционного метода, что его преимуществом является отсутствие процесса уплотнения при укладке материала в выбоине дорожного покрытия [10–12]. Кроме того, увеличение скорости и высоты подачи материала существенно не влияет на показатель коэффициента уплотнения смеси.

Для проверки всех полученных зависимостей (4)–(7) были вычислены значения изучаемых параметров, которые показали отличие от средних в допустимых пределах. Таким образом, результаты проведенного полного факторного эксперимента по принятой модели являются достоверными.

#### Выводы.

1. Установлена аналитическая зависимость влияния технологических режимов укладки смеси на ее качество при укладке в выбоину. Определены физико-механические свойства битумо-минеральной смеси (прочность, водонасыщение, коэффициент уплотнения) при укладке в выбоину дорожного покрытия нежесткого типа с применением струйно-инъекционного метода при разных технологических режимах работы и при разном в процентном соотношении содержании битумной эмульсии (10–20 об. %).

2. Полученное значение показателя водонасыщения материала только при содержании эмульсии 10 об. % и средней скорости подачи материала 30 м/с соответствует требуемому нормативному значению ГОСТ 9128–2009, которое для данного типа пористых смесей должно быть в интервале 4–10 об. %. При содержании эмульсии 20 об. % значение показателя водонасыщения ниже нормативного. Увеличение высоты и скорости подачи материала существенно не влияет на прочность и коэффициент уплотнения материала.

3. Для повышения срока службы отремонтированной поверхности дорожных покрытий за счет увеличения прочностных характеристик асфальтобетона доказана необходимость уплотнения смеси в выбоине соответствующими машинами.

Список литературы

1. Апестин В.К. О расхождении проектных и нормативных сроков службы дорожных одежд // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2011. № 1. С. 18–20.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1971. 282 с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химических технологий. 7-е изд. М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1961. 830 с.
4. Ермаков С.М. Математическая теория планирования эксперимента. М.: Наука, 1983. 392 с.
5. Пилецкий М.Э., Зубков А.Ф. Анализ состояния автомобильных дорог Тамбовской области и выбор технологии для ремонта выбоин на покрытиях нежесткого типа // *Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура*. 2016. № 1 (41). С. 73–82.
6. Пилецкий М.Э., Некрасов Д.А., Чаплыгин И.С. Результаты экспериментальных исследований укладки смесей при струйно-инъекционном методе // *Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: Материалы III международной научно-практической конференции Института АрхСиТ*. Тамбов, 2016. С. 171–176.
7. Гиясов Б.И., Куприянов Р.В., Андрианов К.А., Зубков А.Ф. Расчет температуры асфальтобетона при устройстве стыков многополосных дорожных покрытий нежесткого типа // *Вестник МГСУ*. 2015. № 3. С. 17–29.
8. Пилецкий М.Э., Зубков А.Ф. Сравнительная оценка эффективности методов ямочного ремонта дорожных покрытий нежесткого типа. *Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Международная научно-практическая конференция*. 2016. С. 208–211.
9. Куприянов Р.В., Лузгачев В.А., Зубков А.Ф. Определение температуры асфальтобетонной смеси при строительстве дорожных покрытий нежесткого типа // *Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура*. 2015. № 3 (39) 2015. С. 68–77.
10. Munir D. Nazzal, Sang-Soo Kim P.E. Evaluation of Winter Pothole Patching Methods Report. Final Report. The Ohio Department of Transportation. Office of Statewide Planning & Research State Job. № 134724. January 2014, pp. 13–17.
11. Griffith A. Improved Winter Pothole Patching. State Planning And Research Project Number 538. Oregon Department of Transportation Research. August 1998. <http://cimlinepmg.com/files/education/OregonPotholePatchingStudy.pdf>
12. Research Report: Spray Injection Pothole Patching. *The Road Ahead*. Virginia: Virginia Transportation Technology Transfer Center. 2003, pp. 1–6.

References

1. Apestin, V.K. On the discrepancy between the design and regulatory life of road clothes. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2011. No. 1, pp. 18–20. (In Russian).
2. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskiy Yu.V. Planirovanie ehksperimenta pri pois-ke optimal'nyh uslovij [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Moscow: Nauka. 1971. 282 p.
3. Kasatkin A.G. Osnovnyye processy i apparaty himicheskikh tekhnologij [The main processes and apparatus of chemical technology. 7-th ed]. Moscow: The State Scientific and Technical Publishing House of Chemical Literature. 1961. 830 p.
4. Ermakov S.M. Matematicheskaya teoriya planirovaniya ehksperimenta [Mathematical theory of experiment planning]. Moscow: Nauka. 1983. 392 p.
5. Piletskiy M.E., Zubkov A.F. Analysis of the condition of the roads of the Tambov region and the choice of technology for repairing potholes on non-rigid type coatings. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2016. Vol. 1 (41), pp. 73–82. (In Russian).
6. Piletsky M.E., Nekrasov D.A., Chaplygin I.S. The results of experimental studies of the laying of mixtures in the jet-injection method. *Sustainable development of the region: architecture, construction, transport: materials of the 3rd international scientific-practical conference of the Institute of ArkhSiT*. Tambov. 2016, pp. 171–176. (In Russian).
7. Giyasov B.I., Kupriyanov R.V., Andrianov K.A., Zubkov A.F. Calculation of the temperature of asphalt concrete in the construction of joints of multilane road pavements of non-rigid type. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 3, pp. 17–29. (In Russian).
8. Piletskiy M.E., Zubkov A.F. Comparative evaluation of the effectiveness of the methods of patching of road pavements of non-rigid type. *Transport systems of Siberia. Development of the transport system as a catalyst for the growth of the state economy. International scientific-practical conference*. 2016, pp. 208–211. (In Russian).
9. Kupriyanov R.V., Luzgachev V.A., Zubkov A.F. Determination of the temperature of the asphalt-concrete mixture in the construction of road pavements of non-rigid type. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. № 3 (39) 2015, pp. 68–77. (In Russian).
10. Munir D. Nazzal, Sang-Soo Kim P.E. Evaluation of Winter Pothole Patching Methods Report. Final Report. The Ohio Department of Transportation. Office of Statewide Planning & Research State Job. № 134724. January 2014, pp. 13–17.
11. Griffith A. Improved Winter Pothole Patching. State Planning And Research Project Number 538. Oregon Department of Transportation Research. August 1998. <http://cimlinepmg.com/files/education/OregonPotholePatchingStudy.pdf> (date of access 21.05.2017).
12. Research Report: Spray Injection Pothole Patching. *The Road Ahead*. Virginia: Virginia Transportation Technology Transfer Center. 2003, pp. 1–6.

Подписка на электронную версию  
<http://rifsm.ru/page/5/>

УДК 699.844

С.С. ВАЙСЕРА<sup>1</sup>, инженер (vaisera\_sergei@mail.ru), О.В. ПУЧКА<sup>1</sup>, канд. техн. наук (oleg8a@mail.ru), В.С. ЛЕСОВИК<sup>1</sup>, д-р техн. наук; И.В. БЕССОНОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук (bessonoviv@mail.ru); С.В. АЛЕКСЕЕВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (aleks\_sb@list.ru)

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

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21)

## Влияние влагосодержания, воздухопроницаемости и плотности материала на его звукопоглощающие характеристики

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 разработка методологии создания высокоэффективных акустических материалов с жестким каркасом на основе неорганического сырья – пеностекла, пенобетона, пенокерамики и т. д. В частности, пеностекло является универсальным с точки зрения акустических свойств материалом, так как в зависимости от типа пористости (закрытой или открытой) обладает звукоизолирующими или звукопоглощающими характеристиками. Авторами получены результаты, анализ которых свидетельствует, что значения коэффициента звукопоглощения пористых акустических материалов на основе пеностекла коррелируются со значениями воздухопроницаемости и водопоглощения, тем самым, используя методы определения воздухопроницаемости и водопоглощения, можно оценить и спрогнозировать акустические характеристики пористых материалов.

**Ключевые слова:** стеклокомпозит, пеностекло, воздухопроницаемость, водопоглощение, звукопоглощение.

**Для цитирования:** Вайсера С.С., Пучка О.В., Лесовик В.С., Бессонов И.В., Алексеев С.В. Влияние влагосодержания, воздухопроницаемости и плотности материала на его звукопоглощающие характеристики // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 24–27.

S.S. VAISERA<sup>1</sup>, Engineer (vaisera\_sergei@mail.ru), O.V. PUCHKA<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (oleg8a@mail.ru)

V.S. LESOVIK<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering); I.V. BESSONOV<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (bessonoviv@mail.ru);

S.V. ALEKSEEV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (aleks\_sb@list.ru)

<sup>1</sup> Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

<sup>2</sup> Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Impact of Moisture Content, Air Permeability, and Density of Material on Its Noise-Absorption Characteristics

Protection against noise, one of the main adverse factors of the human habitat, has become an integral part of the design, construction and reconstruction of cities. Development of methods for creating high efficient acoustic materials with a rigid frame on the basis of non-organic raw materials, foam glass, foam concrete, foam ceramics etc., is the most prospective way of this problem solution. In particular, the foam glass is a universal, from the point of view of acoustic properties, material, as depending on the type of porosity (closed or opened) it possesses sound-isolation or noise-absorption characteristics. The authors have obtained the results, the analysis of which shows that the value of the noise-absorption coefficient of porous acoustic materials on the basis of foam glass is correlated with the values of air permeability and water absorption, that's why using the methods for determining the air permeability and water absorption, it is possible to determine and predict the acoustic characteristic of porous materials.

**Keywords:** glass composite, foam glass, air permeability, water absorption, noise absorption.

**For citation:** Vaisera S.S., Puchka O.V., Lesovik V.S., Bessonov I.V., Alekseev S.V. Impact of moisture content, air permeability, and density of material on its noise-absorption characteristics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 24–27. (In Russian).

Важной задачей современного строительства зданий гражданского назначения является создание комфортного акустического климата. Акустический климат в помещении определяется способностью ограждающих конструкций (стен, перегородок, перекрытий и т. п.) изолировать воздушный и ударный звук, а условия слухового восприятия речи и музыки (особенно важно для общественных зданий) – способность поглощать звук ограждающими поверхностями [1].

На настоящий момент для решения данной задачи в основном применяются упругие (звукоизолирующие) волокнистые (поглощающие) материалы. Тогда как использование пористых материалов с жестким каркасом менее эффективно по причине низких акустических характеристик по сравнению с волокнистыми [2].

Поэтому актуальной задачей на данный момент является разработка методологии создания высокоэффективных акустических материалов с жестким каркасом на основе неорганического сырья – пеностекла, пенобетона, пенокерамики и т. д. В частности, пеностекло является универсальным с точки зрения акустических

свойств материалом, так как в зависимости от типа пористости (закрытой или открытой) обладает звукоизолирующими или звукопоглощающими характеристиками [3–6].

Цель работы заключалась в разработке методологии оценки звукопоглощающих характеристик, основанной на взаимосвязи со структурными параметрами (влагосодержания, воздухопроницаемости и плотности материала).

Свойства высокопористых материалов, и прежде всего звукопоглощение, зависят от вида пор на поверхности материала и характера внутренней пористости.

Анализ данных по изучению влияния параметров структуры материала на звукопоглощение позволяет сформулировать технологические условия регулирования свойств:

- создание многомодальной пористости, обеспечивающей гашение звука на средних и высоких частотах;
- развитая система сообщающихся пор, обеспечивающих прохождение звуковой волны в толщу материала и сохранение фильтрационного режима его работы;

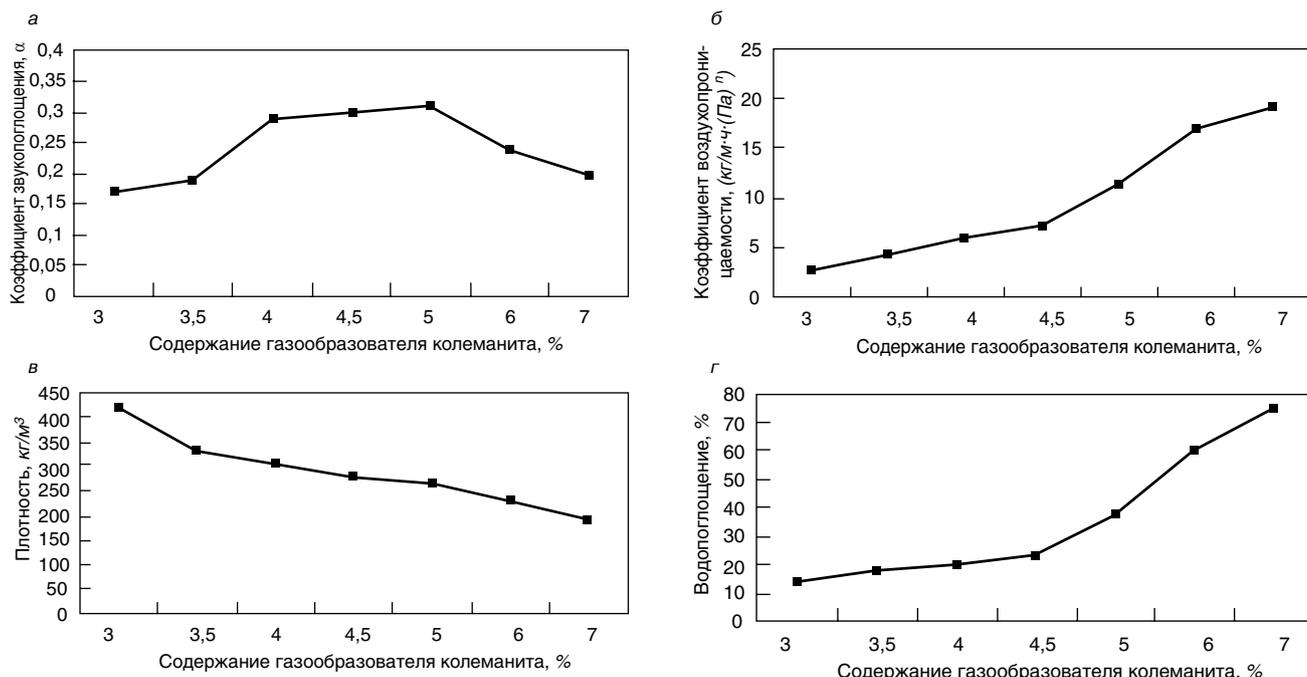


Рис. 1. Эксплуатационные характеристики полученных материалов с использованием карбонатного газообразователя (колеманита): а – коэффициент звукопоглощения; б – коэффициент воздухопроницаемости; в – плотность; г – водопоглощение

– обеспечение необходимого сопротивления воздухопроницаемости для эффективного перевода звуковой энергии в тепловую за счет трения воздуха о стенки пор (увеличение активной составляющей).

Проведенные исследования показали, что стеклокомпозит с открытой пористостью, полученный с использованием карбонатного газообразователя, имеет коэффициент звукопоглощения порядка 0,3–0,5 для колебаний с частотой 1000 Гц, что позволяет его считать звукопоглощающим материалом [7–8]. Косвенным показателем структуры, характеризующим звукопоглощающую способность материалов, является коэффициент воздухопроницаемости. Коэффициент воз-

духопроницаемости зависит от вида и размера пор, а главное, от соотношения открытой и замкнутой пористости [9, 10].

Эксплуатационные характеристики материалов, полученных с использованием карбонатного газообразователя, представлены на рис. 1.

Однако полученные значения звукопоглощения в два раза ниже коэффициента звукопоглощения волокнистых материалов, равного 0,7–0,9 при той же частоте. Зависимость звукопоглощения от количества газообразователя имеет экстремальный характер и начиная с некоторого значения убывает, несмотря на рост пор и снижение плотности. Следовательно, увеличить звуко-

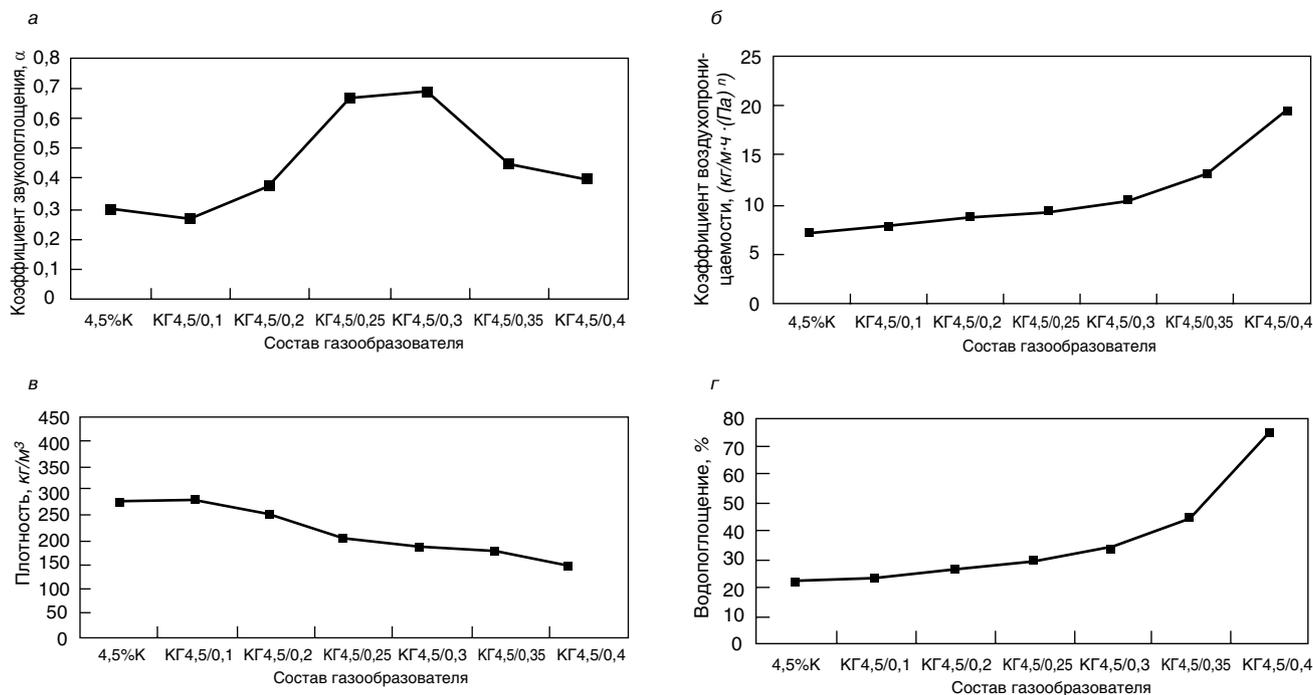


Рис. 2. Эксплуатационные характеристики полученных материалов с использованием комплексного газообразователя (КГ – комплексный газообразователь (мас. % колеманита/ мас. % углерода): а – коэффициент звукопоглощения; б – коэффициент воздухопроницаемости; в – плотность; г – водопоглощение

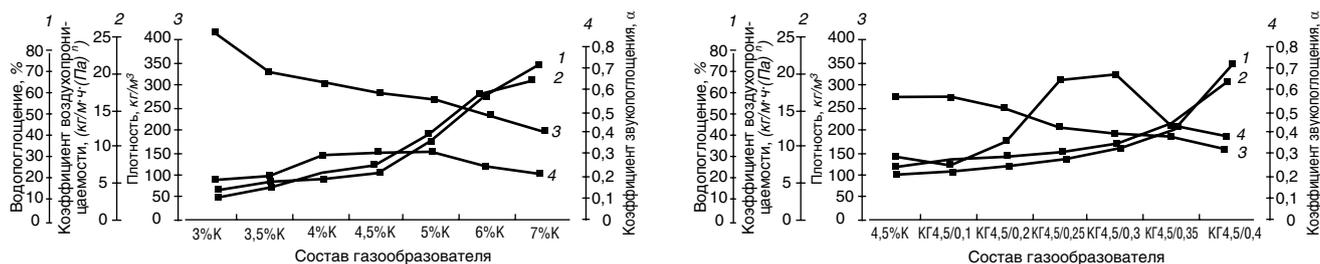


Рис. 3. Корреляционная зависимость эксплуатационных характеристик материала

поглощение возможно только при изменении характера пористости.

С целью увеличения коэффициента звукопоглощения  $\alpha$  авторами был проведен ряд экспериментов с использованием комплексного газообразователя, позволившего модифицировать пористость материала и получить образцы с  $\alpha$ , равным 0,7 для колебаний с частотой 1000 Гц. На кривой (рис. 1) наблюдается максимум, который образуется при определенном соотношении компонентов газообразователя.

Эксплуатационные характеристики материалов, полученных с использованием комплексного газообразователя, обусловлены изменением структуры материала (вида и характера его пористости, плотности, воздухопроницаемости, водопоглощения) (рис. 2) (КГ4,5/0,1 – комплексный газообразователь (4,5 мас.% колеманита)/0,1 мас.% углерода).

Таким образом, модификация пористой структуры позволяет существенно повысить звукопоглощение стеклокомпозита, и этим процессом можно управлять.

Для возможности прогнозирования и проектирования материалов с заданными характеристиками авторами был предложен способ оценки акустических характеристик методом корреляционной зависимости значений воздухопроницаемости, водопоглощения и плотности.

На рис. 3. представлены графики корреляционной зависимости эксплуатационных характеристик материала.

Установлен экстремум звукопоглощения у образцов, полученных на основе карбонатного газообразователя (содержание 4–5 мас. %) (рис. 3). Коэффициент звукопоглощения в этом интервале изменяется с 0,29–0,31, при этом водопоглощение и воздухопроницаемость в указанных интервалах увеличивается, причем интенсивный рост наблюдается при введении газообразователя свыше 4,5 мас. %. Наименьшей плотностью обладает материал, полученный при содержании газообразователя в количестве 5 мас. %. При введении свыше

5 мас. % наблюдается снижение коэффициента звукопоглощения при одновременном увеличении всех трех эксплуатационных характеристик. Эти данные позволяют утверждать, что оптимальным для повышения коэффициента звукопоглощения является содержание газообразователя 4,5 мас. %. В связи с этим наиболее перспективным направлением представляется использование для дальнейших исследований модификации газообразователя углеродсодержащими добавками.

При исследовании образцов, полученных на комплексном газообразователе (4,5К (колеманит):0,1С (углерод)), наблюдалось снижение коэффициента звукопоглощения. Вероятно, это связано с тем, что структура материала уплотняется за счет введения технического углерода, выступающего стабилизатором структуры. При дальнейшем увеличении количества технического углерода до 0,25–0,3 мас. % звукопоглощение у образцов возрастало (наблюдался экстремум) и соответственно повышались водопоглощение и воздухопроницаемость при одновременном снижении плотности образца.

При введении технического углерода свыше 0,3% коэффициент звукопоглощения значительно снижался при одновременном увеличении водопоглощения и воздухопроницаемости. Поэтому для получения звукопоглощающих стеклокомпозитов с наилучшими эксплуатационными характеристиками оптимальным является состав с содержанием комплексного газообразователя 4,5К/0,25–0,3С (коэффициент звукопоглощения 0,67–0,69).

По результатам исследования можно заключить, что значения коэффициента звукопоглощения пористых акустических изделий из стеклокомпозита коррелируются со значениями воздухопроницаемости и водопоглощения, тем самым, используя методы определения воздухопроницаемости и водопоглощения, можно оценить и спрогнозировать акустические характеристики пористых материалов.

### Список литературы

1. Иванов Н.И. Проблема повышенного шумового воздействия на население РФ. Защита населения от повышенного шумового воздействия: Материалы Всероссийской научно-практической конференции / Под ред. Н.И. Иванова, К.Б. Фридмана. СПб. 2015. С. 17–26.
2. Герасимов А.И. Звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы и их применение в строительстве // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 5. С. 209–215.
3. Минько Н.И., Пучка О.В., Степанова М.Н., Вайсера С.С. Теплоизоляционные стекломатериалы. Пеностекло: Монография. Белгород: Издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. 263 с.
4. Радоуцкий В.Ю., Ветрова Ю.В. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизолирующей способности теплоизоляционных плит на основе пеностекла // *Вестник БГТУ*. 2015 № 5. С. 45–49.

### References

1. Ivanov N.I. The problem of increased noise impact on the population of the Russian Federation. Protection of the population from increased noise impact: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Edited by Ivanova N.I., Friedman K.B. 2015, pp. 17–26. (In Russian).
2. Gerasimov A.I. Sound insulation and sound absorbing materials and their application in construction. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2009. No. 5, pp. 209–215. (In Russian).
3. Min'ko N.I., Puchka O.V., Stepanova M.N., Vaisera S.S. Teploizolyatsionnye steklomaterialy. Penosteklo. Monografiya. [Thermal insulation glass materials. Foamglass. Monograf]. Belgorod: BGTU im. V.G. Shuhova Publishing. 2016. 263 p.
4. Radouckiy V.Ju., Vetrova Ju.V. Theoretical and experimental researches of sound insulation ability of insulation boards on the basis of foamglass. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2015. No. 5, pp. 45–49. (In Russian).

5. Семухин Б.С., Вотинов А.В., Казьмина О.В., Ковалев Г.И. Влияние малых добавок диоксида циркония на акустические свойства пеностеклянных материалов // *Вестник ТГАСУ*. 2014. № 6 (47). С. 123–131.
6. Семухин Б.С., Казьмина О.В., Ковалев Г.И., Опаренков Ю.В., Душкина М.А. Определение акустических свойств пеностеклокристаллических материалов // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2013. Т. 56. № 7-2. С. 334–338.
7. Вайсера С.С. Пучка О.В., Лесовик В.С., Бессонов И.В., Сергеев С.В. Эффективные акустические стеклокompозиты // *Строительные материалы*. № 6. 2016. С. 28–31.
8. Лесовик В.С., Пучка О.В., Вайсера С.С., Елистраткин М.Ю. Новое поколение строительных композитов на основе пеностекла // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 3 (59). С. 146–154.
9. Лаукайтис А.А. Воздухопроницаемость ячеистых бетонов низкой плотностью // *Строительные материалы*. 2001. № 7. С. 16–18.
10. Вайсера С.С. Коэффициент воздухопроницаемости как параметр оценки структуры пеностекла // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. № 3. С. 70–74.
5. Semuhin 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).
6. Semuhin B.S., Kaz'mina O.V., Kovalev G.I., Oparenkov Ju.V., Dushkina M.A. Determination of acoustic properties of foamglass crystal materials. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Fizika*. 2013. Vol. 56. No. 7-2, pp. 334–338. (In Russian).
7. Vaisera S.S. Puchka O.V., Lesovik V.S., Bessonov I.V., Sergeev S.V. Effective acoustic steklokompozit. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 28–31. (In Russian).
8. Lesovik V.S., Puchka O.V., Vaisera S.S., Elistratkin M.Ju. Building a new generation of composites based on foamglass. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2015. No 3 (59), pp. 146–154. (In Russian).
9. Laukaytis A.A. The permeability of cellular concrete with low density. *Stroitel'nye Materialy*. 2001. No 7, pp. 16–18. (In Russian).
10. Vajsera S.S. The coefficient of air permeability as a parameter to assess the structure of the foamglass. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 3, pp. 70–74. (In Russian).

## НЕОБХОДИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

8 июня 2017 г. в Москве состоялась конференция «Эффективные технологии в строительстве», организованная ведущим деловым изданием России – газетой «Ведомости». В условиях стагнации в экономике и падения платежеспособного спроса произошло видимое обострение конкуренции на рынке недвижимости. Покупатели становятся более внимательными к качеству предлагаемого жилья и условиям его эксплуатации. В настоящее время девелоперам необходимо задуматься о повышении своей конкурентоспособности на рынке и об обеспечении постоянного притока клиентов. Обсуждению инновационных решений для создания комфортной среды, оптимизации затрат на строительство, а также использованию эффективных технологий было посвящено мероприятие.

Известны различные тренды в жилищном строительстве: в Европе возводят экологичные здания, в США тренд на инновации, в Азии стараются строить много и быстро. В России выраженного озвученного тренда пока нет. Скорее дешево и быстро. Эксперты отрасли обсудили актуальную тему: как обеспечить оптимальное качество построенного объекта; чем не должен жертвовать девелопер; какие рычаги воздействия может использовать девелопер для увеличения потока клиентов в условиях высококонкурентного рынка.

В дискуссии принял участие председатель технического комитета Росстандарта – ТК 144 «Строительные материалы (изделия) и конструкции» А. Ручьев. Он отметил, что обсуждение вопросов энергоэффективности не может вестись бесконечно. Необходимо качественно строить по тем нормативным документам, которые имеются. Также он сказал, что вне зависимости от сегмента возводимого жилья застройщики используют практически одни и те же строительные материалы. Максимальное отличие наблюдается в отделочных материалах, в архитектуре, концепциях благоустройства и фасадных решениях. В условиях ужесточившейся конкуренции девелоперы стремятся предложить покупателю наиболее привлекательный продукт с оптимальным соотношением цены и качества. При этом даже в эконом-классе застройщики стараются создать развитую инфраструктуру и внедряют интересные и современные архитектурные решения. Однако, несмотря на разнообразие предложений, все девелоперы идут по одному пути и используют равнозначные инструменты. В настоящее время новых зарубежных материалов на российском рынке практически не появляется. Дома комфорт-класса отличаются, как правило, только фасадными решениями. А. Ручьев обратил внимание, что для девелоперов точка прорыва на рынке в новых технологиях управления домами. Многие страны мира уже перешли на платформенные решения, которые служат базисом для интернет-технологий и других

дополнительных опций. Покупатели приобретают не просто квартиру, а продукт в определенной среде проживания. Системы управления лифтами, кондиционерами, безопасностью, освещением, видеонаблюдением – вот где скрыт колоссальный ресурс для девелоперов. Внедрение автоматической системы регулирования подачи тепла в жилые дома позволяет получить экономию до 35%. А внедрение систем автоматической подачи воды снижает ее расход до 15%. В итоге несмотря на то что жителей в Москве становится больше, потребление воды за последние 5–7 лет неуклонно падает. Предложение более комфортной среды проживания позволит получить конкурентное преимущество. А. Ручьев входит в десятку наиболее профессиональных и влиятельных руководителей российского строительного сектора, по данным рейтинга «Топ-1000 российских менеджеров», поэтому его мнение пользуется большим авторитетом. Он председатель совета директоров ГК «Основа» – финансово-производственного холдинга, образованного в 2016 г. Стратегия развития ГК «Основа» подразумевает инвестиции в высокотехнологичные отрасли российской экономики с высоким экспортным потенциалом, в объекты коммерческой недвижимости, а также в девелопмент.

Вице-президент по розничным продажам Группы ПСН Е. Тейн рассказала, что потенциальные покупатели обращают внимание на стоимость эксплуатационных расходов, поэтому экономить на качестве строительства нельзя. Для ускорения строительства и обеспечения качества необходимо применять BIM-технологии. О позитивном опыте внедрения в практику BIM-технологий рассказал директор сектора коммерческой и жилой недвижимости ГК «Спектрум» А. Иванов, который отметил, что строительство – архитектура, инжиниринг, производство строительных материалов – переживает технологическую трансформацию: соединение творческого потенциала инженерной школы и международных стандартов управления проектами на всех стадиях жизненного цикла здания.

Физический срок службы зданий велик. Жильем, которое люди покупают в настоящее время, будет пользоваться следующее поколение. Поэтому важно, чтобы здание не устаревало не только физически, но и морально. Современный и масштабный проект строительства комплекса премиум-класса, состоящий из пяти небоскребов ЖК «Нескучный Home&Spa» на юго-западе Москвы, представил директор архитектурного бюро «Атриум» А. Надточный. Первой планируется построить 69-этажную башню «Нескучный Home&Spa», имеющую ступенчатую форму. Такая геометрическая форма позволит обеспечить наилучшие видовые характеристики. Небоскребы будут объединены единым общественным пространством на уровне 30–32 этажей.

В.Г. ГАГАРИН, д-р техн. наук, чл.-кор. РААСН (gagarinv@yandex.ru),  
П.П. ПАСТУШКОВ, канд. техн. наук (pavel-one@mail.ru)

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

## Изменение во времени теплопроводности газонаполненных полимерных теплоизоляционных материалов

Рассмотрено изменение теплопроводности газонаполненных полимерных теплоизоляционных материалов, на примере пенополиизоцианурата, вследствие замещения газа в порах материала на воздух. Создана математическая модель процесса и получено уравнение, описывающее изменение теплопроводности материала и определяемое двумя параметрами. Проведены эксперименты по измерению теплопроводности образцов пенополиизоцианурата в течение одного года. Полученные данные хорошо аппроксимируются выведенным уравнением. Найденные параметры уравнения позволили рассчитать теплопроводность материала в установившемся состоянии. Эту теплопроводность можно использовать в качестве декларируемой величины теплопроводности материала в сухом состоянии, а также для определения расчетных значений в условиях эксплуатации А и Б по СП «Тепловая защита зданий».

**Ключевые слова:** теплопроводность, пенополиизоцианурат, пенополиуретан, диффузия газа в полимерных материалах.

**Для цитирования:** Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Изменение во времени теплопроводности газонаполненных полимерных теплоизоляционных материалов // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 28–31.

V.G. GAGARIN, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding member of RAACS (gagarinv@yandex.ru),  
P.P. PASTUSHKOV, Candidate of Sciences (Engineering) (pavel-one@mail.ru)  
Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences  
(21, Lokomotivny Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Changes in the Time of Thermal Conductivity of Gas-Filled Polymer Thermal Insulation Materials

The change in the thermal conductivity of gas-filled polymer insulating materials, including polyisocyanurate foam due to the replacement of gas in the pores of the material with air, is considered. The mathematical model of process is created, the equation describing the change of heat conductivity of material including two parameters is received. Experiments on measurement of heat conductivity of samples of a polyisocyanurate foam within one year are made. The obtained data well are approximated by the offered equation. The determined parameters of the equation have allowed to calculate heat conductivity of material in steady state. This heat conductivity can be used as the declared value of heat conductivity of material in a dry state, and also for determination of calculated values under operating conditions A and B on SN «Thermal performance of buildings».

**Keywords:** heat conductivity, polyisocyanurate foam, polyurethane foam, diffusion of gas in polymeric materials.

**For citation:** Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Changes in the time of thermal conductivity of gas-filled polymer thermal insulation materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 28–31. (In Russian).

Известно, что теплопроводность непористых пластмасс составляет 0,17–0,35 Вт/(м·°С) [1], при этом воздуха в спокойном состоянии — от 0,025 до 0,028 Вт/(м·°С) [1]. Газонаполненные пластмассы могут обладать теплопроводностью меньшей, чем воздух, только в том случае, если они наполнены газом с более низкой теплопроводностью. По данным [2], теплопроводность пенополиуретана (PUR) составляет от 0,02 до 0,03 Вт/(м·°С). Согласно [3] теплопроводность этого же материала может быть от 0,024 до 0,04 Вт/(м·°С). Согласно [4] теплопроводность PUR, применяемого для утепления трубопроводов, достигает 0,055 Вт/(м·°С). Эти данные свидетельствуют, во-первых, о том, что в порах материала содержится газ с меньшей теплопроводностью, чем воздух, а во-вторых, о том, что теплопроводность одного и того же газонаполненного материала может значительно изменяться. Настоящая статья посвящена описанию исследований изменения с течением времени теплопроводности газонаполненных полимерных теплоизоляционных материалов вследствие изменения газового состава в порах.

**Теплопроводность газонаполненных полимерных материалов.** Газонаполненную пластмассу можно рассматривать как композиционный материал, состоящий из двух материалов с различной теплопроводностью. При теоретических исследованиях теплопроводности строительных материалов применяют формулу теплопроводности композиционных материалов, впервые, по-видимому, предложенную J.C. Maxwell [5]. При выводе таких

формул используют аналогию между тепло- и электропроводностью и представляют структуру материала в виде параллельных и последовательных соединений различных сопротивлений. При этом подходе для материала, состоящего из двух компонентов — скелета и газовой включений, максимальное значение теплопроводности будет в том случае, когда тепловой поток направлен параллельно соединению слоя газа и слоя твердого материала, из которого состоит скелет.

Теплопроводность полимерных теплоизоляционных материалов определяется теплопроводностью материала скелета и теплопроводностью смеси газов (дисперсной фазы), заполняющей поры [6]. Если объемная доля дисперсной фазы в материале будет составлять  $\zeta_d$ , доли ед., то объемная доля скелета будет составлять  $1-\zeta_d$ , доли ед. Тогда формулу для зависимости теплопроводности газонаполненного материала  $\lambda$ , Вт/(м·°С), от теплопроводности составляющих его веществ можно записать в виде:

$$\lambda = (1-\zeta_d) \cdot \lambda_c + \zeta_d \cdot \lambda_d, \quad (1)$$

где  $\lambda_c$  — теплопроводность материала скелета, Вт/(м·°С);  $\lambda_d$  — теплопроводность дисперсной фазы, Вт/(м·°С).

Формула (1) предполагает, что слои однородных материалов идут параллельно друг другу и параллельно тепловому потоку. Реальная теплопроводность будет меньше, чем оцениваемая по формуле (1). Минимальное же значение теплопроводности будет в том случае, когда тепловой поток направлен перпендикулярно парал-

лельному соединению слоя воздуха и слоя твердого материала, из которого состоит скелет:

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda_d / (\lambda_c \zeta_d + \lambda_d (1 - \zeta_d)). \quad (2)$$

Значения, полученные по формулам (1) и (2), хотя и отличаются, но близки между собой. Иногда используют комбинацию значений (1) и (2) [1]. Однако, учитывая наличие не вполне определенной величины  $\zeta_d$ , предполагается, что использование формулы (1) обеспечит достаточную точность.

**Математическая модель изменения теплопроводности с течением времени.** Рассматривается задача нахождения функции изменения теплопроводности газонаполненных полимерных теплоизоляционных материалов с течением времени.

Поступающий при производстве в поры полимерных теплоизоляционных материалов газ с течением времени замещается на воздух. Если обозначить за  $\zeta_1$  объемную долю газа в материале, доли ед., а за  $\zeta_2$  – объемную долю воздуха в материале, доли ед., то  $\zeta_d = \zeta_1 + \zeta_2$ .

Процесс замещения газа в порах на воздух описывается изменением слагаемого  $\zeta_d \lambda_d$  в уравнении (1) от значения  $\zeta_d \lambda_{d1}$  до значения  $\zeta_d \lambda_{d2}$ , при этом  $\zeta_1$  изменяется от  $\zeta_d$  до 0, а  $\zeta_2$  изменяется от 0 до  $\zeta_d$ . В любой момент времени слагаемое  $\zeta_d \lambda_d$  в уравнении (1) можно представить в виде:

$$\zeta_d \lambda_d = \zeta_1 \lambda_1 + \zeta_2 \lambda_2 = \zeta_1 \lambda_1 + (\zeta_d - \zeta_1) \lambda_2. \quad (3)$$

Теплопроводность материала зависит от объемной доли газа в порах материала. Естественно предположить, что скорость изменения объемной доли газа в материале  $\zeta_1$ , пропорциональна этой доле:

$$\frac{d\zeta_1}{dt} = -s \cdot \zeta_1. \quad (4)$$

Знак минус в правой части уравнения означает, что величина  $\zeta_1$  является убывающей. Начальным для решения уравнения (4) является следующее условие:  $\zeta_1 = \zeta_d$  при  $t=0$ . Решением дифференциального уравнения (4) с указанным начальным условием является следующее выражение:

$$\zeta_1 = \zeta_d \cdot \exp(-s \cdot t). \quad (5)$$

Для вывода уравнения изменения теплопроводности газонаполненного материала со временем по причине замещения газа в порах на воздух уравнение (1) дифференцируется с подстановкой в него выражений (3) и (5):

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda}{dt} &= \frac{d}{dt} [(1 - \zeta_d) \lambda_c + \zeta_1 \lambda_1 + (\zeta_d - \zeta_1) \lambda_2] = \lambda_1 \frac{d\zeta_1}{dt} - \lambda_2 \frac{d\zeta_1}{dt} = \\ &= (\lambda_1 - \lambda_2) \frac{d\zeta_1}{dt} = (\lambda_1 - \lambda_2) (-s \cdot \zeta_1) = (\lambda_1 - \lambda_2) (-s \cdot \zeta_d \cdot \exp(-s \cdot t)). \end{aligned}$$

Таким образом:

$$\frac{d\lambda}{dt} = (\lambda_1 - \lambda_2) (-s \cdot \zeta_d \cdot \exp(-s \cdot t)). \quad (6)$$

Учитывая начальное условие, что  $\lambda = \lambda_0$  при  $t=0$ , интегрирование уравнения (6) и дает искомое уравнение изменения теплопроводности газонаполненного материала с течением времени:

$$\lambda = \lambda_0 + [(\lambda_2 - \lambda_1) \zeta_d] \cdot [1 - e^{-st}], \quad (7)$$

или

$$\lambda - \lambda_0 = [(\lambda_2 - \lambda_1) \zeta_d] \cdot [1 - e^{-st}]. \quad (7a)$$

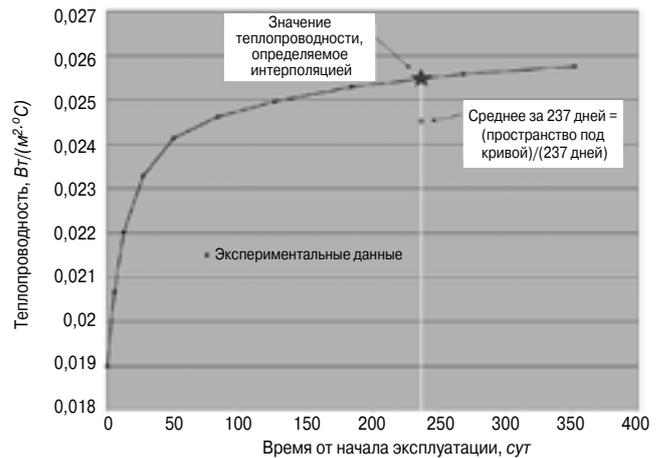


Рис. 1. Изменение теплопроводности вспененного изоляционного материала согласно [7]

Уравнение (7) также позволяет ответить на вопрос, каково будет значение установившейся теплопроводности материала, т. е. теплопроводности в тот момент, когда закончится процесс диффузии газа из пор материала. Для этого находится значение теплопроводности при предельном переходе  $t \rightarrow \infty$ :

$$\lambda_{\infty} = \lambda_0 + [(\lambda_2 - \lambda_1) \zeta_d]. \quad (8)$$

Таким образом, из уравнения (7) следует, что теплопроводность газонаполненного полимерного материала в процессе эксплуатации увеличится на величину  $(\lambda_1 - \lambda_2) \zeta_d$ . Этот параметр не зависит от времени, а определяется свойствами газа, поступающего в поры при производстве, и структурой материала.

В целом теплопроводность полимерных теплоизоляционных материалов, для вспенивания которых применяется газ с теплопроводностью ниже воздуха, изменяется по графику, соответствующему рис. 1, приведенному в [7].

**Экспериментальное определение параметров уравнения изменения теплопроводности.** Уравнения (7) и (7a) содержат два параметра:  $(\lambda_1 - \lambda_2) \zeta_d$  – разность теплопроводности воздуха и газа, поступающего в поры при производстве материала, умноженная на долю дисперсной фазы в материале, и  $s$  – параметр, характеризующий скорость замены газа воздухом, имеющий размерность  $s^{-1}$ . Эти параметры возможно определить экспериментальным путем.

Для экспериментального определения параметров уравнения изменения теплопроводности газонаполненных полимерных материалов (7) проводится ряд измерений теплопроводности образцов материала сразу после их производства и через произвольные, но известные моменты времени. Результаты этих экспериментов обрабатываются с использованием уравнения (7a). Для этого набор экспериментальных значений  $\{t_i, \lambda_i\}$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$  представляется в виде набора данных  $\left\{t_i, \frac{\lambda_i}{\lambda_{i-1}}\right\}$ ,  $i = 2, 3, \dots, n$ . Каждый элемент этого набора должен удовлетворять уравнению (7a). Таким образом получается система уравнений вида:

$$\frac{\lambda_i - \lambda_0}{\lambda_{i-1} - \lambda_0} = \frac{1 - e^{-st_i}}{1 - e^{-st_{i-1}}}, \quad i = 2, 3, \dots, n. \quad (9)$$

Уравнение (9) преобразуется к виду:  $\frac{\lambda_i - \lambda_0}{\lambda_{i-1} - \lambda_0} = \frac{e^{st_i} - 1}{e^{st_{i-1}} - 1} \cdot \frac{e^{st_{i-1}}}{e^{st_i}}$ , который при предельном переходе  $t \rightarrow \infty$  сводится к:

$$\frac{\lambda_i - \lambda_0}{\lambda_{i-1} - \lambda_0} \approx e^{s(t_i - t_{i-1})}. \quad (10)$$

Номер образца	Теплопроводность в сухом состоянии при 25°C $\lambda_0$ , Вт/(м·°C)					Примечание
	30 сут после производства	90 сут после производства	150 сут после производства	270 сут после производства	360 сут после производства	
1	0,024	0,026	0,026	0,027	0,027	Край
2	0,022	0,024	0,025	0,026	0,027	Центр
3	0,023	0,024	0,025	0,025	0,026	Край
4	0,022	0,024	0,025	0,025	0,026	Центр
5	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027	Край, без фольги
6	0,022	0,024	0,025	0,025	0,026	Центр, без фольги
Среднее значение	0,023	0,024	0,025	0,026	0,0265	

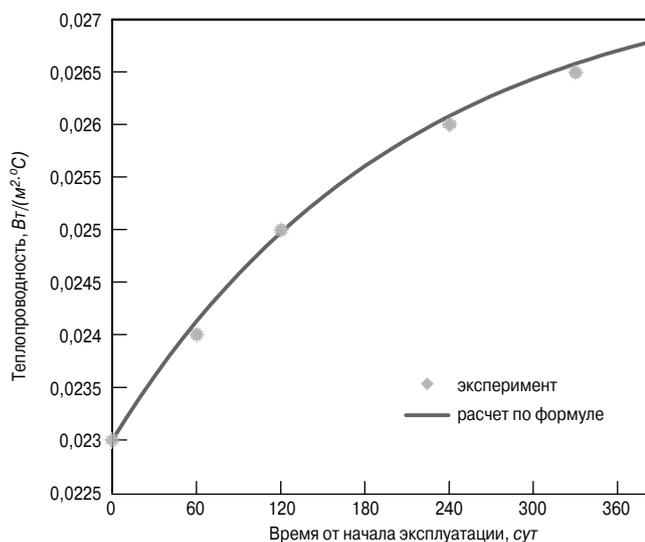


Рис. 2. Изменение теплопроводности PIR с течением времени

Логарифмирование (10) приводит к выражению:

$$\ln \left( \frac{\lambda_i - \lambda_0}{\lambda_{i-1} - \lambda_0} \right) = s(t_{i-1} - t_i). \quad (11)$$

Далее, построением аппроксимирующей прямой для полученных экспериментальных данных в координатах  $\left\{ \ln \left( \frac{\lambda_i - \lambda_0}{\lambda_{i-1} - \lambda_0} \right), (t_{i-1} - t_i) \right\}$  из уравнения (11) находится параметр  $s$  как угловой коэффициент.

Затем по уравнению (7а) построением аппроксимирующей прямой в координатах  $\{(\lambda_i - \lambda_0), (1 - e^{-st_i})\}$  находится параметр  $(\lambda_1 - \lambda_2)\zeta_{ст}$ .

**Изменение теплопроводности пенополиизоцианурата (PIR) с течением времени.** Распространенным на современном строительном рынке видом полимерных теплоизоляционных материалов, при производстве которого в поры поступает смесь газов с теплопроводностью ниже воздуха, является пенополиизоцианурат (PIR). В рамках выполнения НИОКР по теме «Разработка методик прогнозирования эксплуатационных теплофизических показателей и оценка срока эффективной эксплуатации теплоизоляционных материалов» была проведена серия экспериментальных исследований плиты PIR с облицовкой из фольги с известной датой производства (апрель 2016 г.).

Испытания проводились по методике ГОСТ 7076–99 на шести образцах плит PIR размерами 0,25×0,25×0,04 м на измерителе теплопроводности ИТП-МГ4 «250» при средней температуре 25°C в образце. Образцы были вырезаны из трех плит по два образца — один с краю плиты (нечетные номера), другой из центра плиты (четные номера). С образцов под номерами 5 и 6 была снята облицовка

из фольги, остальные образцы испытывались и хранились в облицовке. Такая выборка и подготовка образцов была сделана для того, чтобы ответить на вопрос: насколько наличие облицовки влияет на процесс замещения газа в порах материала на воздух. Испытания теплопроводности были проведены спустя 30, 90, 150, 270 и 360 сут от даты производства. Между испытаниями образцы хранились в естественных условиях, но без прямого попадания солнечного света. Результаты испытаний представлены в таблице. Как видно, место изъятия образца из плиты и наличие облицовки практически не влияет на процесс изменения теплопроводности.

Для использования разработанной математической модели изменения теплопроводности были найдены необходимые параметры уравнения (7) по алгоритму, описанному выше. При этом за начальную точку было принято испытание спустя 30 сут от даты производства, что соответствует ситуации с началом эксплуатации материала спустя месяц от даты производства.

По уравнению (11) найден параметр  $s=0,0048 \text{ с}^{-1}$ , характеризующий скорость замещения газа в порах на воздух. А затем по уравнению (7а) найден параметр  $(\lambda_1 - \lambda_2)\zeta_{ст} = 0,0045 \text{ Вт/(м}^2\text{·°C)}$ . Подставляя рассчитанные параметры в уравнение (7), выведен закон изменения теплопроводности испытанного материала в зависимости от времени:  $\lambda = 0,023 + 0,0045 \cdot [1 - e^{-0,0048t}] \text{ Вт/(м}^2\text{·°C)}$ .

На рис. 2 представлено сравнение изменения теплопроводности PIR с течением времени, полученное экспериментальным путем и рассчитанное по разработанной математической модели.

Как видно из представленного графика, результаты расчетов по формуле (7) хорошо коррелируются с результатами экспериментов, что говорит об адекватности предложенной математической модели.

По найденным параметрам также можно выяснить значение установившейся теплопроводности PIR по формуле (8). Оно составляет:  $\lambda_{\infty} = 0,023 + 0,0045 = 0,0275 \text{ Вт/(м}^2\text{·°C)}$ . Именно это значение теплопроводности следует учитывать при расчете теплопроводности в условиях эксплуатации А и Б по СП 50.13330.2012, а также при расчете энергоэффективности данного теплоизоляционного материала по методике [8].

**Заключение.**

По результатам проведенных исследований предложена математическая модель, описывающая изменение теплопроводности газонаполненных полимерных теплоизоляционных материалов во времени. Применимость математической модели проверена на примере пенополиизоцианурата (PIR). Определение параметров материала в рамках разработанной модели позволяет прогнозировать теплопроводность материала в эксплуатационных условиях, т. е. после ряда лет эксплуатации. Применение модели к обработке экспериментальных данных по определению теплопроводности газонаполненного полимерного материала позволяет существен-

но сократить время проведения эксперимента для определения эксплуатационных свойств материала в конструкции. По проведенному циклу экспериментальных исследований с применением разработанной математической модели получены новые важные для практики

результаты: уравнение изменения теплопроводности PIR с течением времени по причине замещения смеси газов, поступающей при производстве, на воздух, а также значение установившейся теплопроводности PIR, составляющее 0,0275 Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

#### Список литературы

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. 5-е изд. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 252 с.
2. Bjørn P.J. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities // *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43, pp. 2549–2563.
3. Willems W.M., Schild K. Dämmstoffe im Bauwesen. In Bauphysik Kalender. Simulations- und Berechnungsverfahren. Herausgegeben von Nabil A. Fouad. Berlin. 2015, pp. 33–110.
4. Немова Т.Н., Лежнева Ю.А., Цветков Н.А., Алексеева Е.Г. Влияние изменения теплопроводности теплоизоляционных материалов на тепловые потери магистральных трубопроводов. // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 5 (58). С. 151–160.
5. Maxwell J.C. A Treatise on Electricity and Magnetism. 3<sup>rd</sup> ed. Oxford, 1904. 504 p.
6. Гагарин В.Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. Дис... д-ра техн. наук. Москва. 2000. 396 с.
7. ASTM Standard C1303/C1303M – 12. Standard Test Method for Predicting Long-Term Thermal Resistance of Closed-Cell Foam Insulation. March 2012.
8. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 7–9.

#### References

1. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ogradhdayushchikh chastei zdanii. 5-e izd. [Building heat engineering of enclosing parts of buildings. 5-th ed.]. Moscow: AVOK-PRESS. 2006. 252 p.
2. Bjørn P.J. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43, pp. 2549–2563.
3. Willems W.M., Schild K. Dämmstoffe im Bauwesen. In Bauphysik Kalender. Simulations- und Berechnungsverfahren. Herausgegeben von Nabil A. Fouad. Berlin. 2015, pp. 33–110.
4. Nemova T.N., Lezhneva Yu.A., Tsvetkov N.A., Alekseeva E.G. Effect of changes in the thermal conductivity of thermal insulation materials on the thermal losses of main pipelines. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2016. No. 5 (58), pp. 151–160. (In Russian).
5. Maxwell J.C. A Treatise on Electricity and Magnetism. 3<sup>rd</sup> ed. Oxford. 1904. 504 p.
6. Gagarin V.G. Theory of the state and transport of moisture in building materials and thermal performance of the enclosing structures of the buildings. *Doct. Diss. Engineering*. Moscow. 2000. 396 p. (In Russian).
7. ASTM Standard C1303/C1303M – 12. Standard Test Method for Predicting Long-Term Thermal Resistance of Closed-Cell Foam Insulation. March 2012.
8. 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).

## НОВОСТИ

### КНАУФ МОДЕРНИЗИРОВАЛ ПРОИЗВОДСТВО СТОЕЧНОГО ПРОФИЛЯ

С 1 июня 2017 г. предприятия КНАУФ в России приступили к производству стоечного металлического профиля с треугольной насечкой. Нововведение обеспечит дополнительную защиту оригинальной продукции КНАУФ от подделки и в некоторых случаях улучшение качественных характеристик продукции.

Различные типы металлического профиля КНАУФ – важные компоненты каркасно-обшивных конструкций, от качества которых в значительной степени зависит прочность и долговечность всей комплектной системы. Стоечные металлические профили КНАУФ (ПС) имеют С-образную форму и служат, как правило, в качестве вертикальных стоек каркасов межкомнатных перегородок, облицовок и других конструкций на основе гипсокартонного КНАУФ-листа и гипсоволокнистого КНАУФ-суперлиста и других листовых материалов КНАУФ.

Металлические профили КНАУФ отличаются высоким качеством и удобны в работе благодаря ноу-хау КНАУФ. Учитывая многолетний опыт устройства и эксплуатации конструкций сухого строительства, ведущие европейские поставщики подобных систем перешли на единый стандарт по толщине стали: ее номинальная толщина для профиля должна составлять 0,6 мм. Именно такой стандарт толщины стали – 0,6 мм ввела фирма КНАУФ в России, внедряя технологии сухого строительства. Исходя из номинальной толщины стали профиля 0,6 мм с учетом допусков, были разработаны все системы сухого строи-



тельства - сделаны расчеты основных параметров конструкции (максимальная высота, шаг профилей и др.).

Металлический профиль КНАУФ стоечный (ПС) изготавливается в соответствии с ТУ 1121-012-04001508-2011 и представляет собой длинномерный элемент, выполненный методом холодной прокатки на современном профилегибочном оборудовании из тонкой стальной ленты.

По материалам КНАУФ

удк 699.86

Д.В. КРАЙНОВ, канд. техн. наук (dmitriy.kraynov@gmail.com)

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

## Учет коэффициента остекленности фасада при проектировании тепловой защиты зданий

В настоящее время широкое распространение получили жилые и общественные здания, имеющие большую площадь остекления фасада. Увеличение площади светопрозрачных конструкций приводит к повышению теплопотерь и увеличению удельной теплозащитной характеристики здания. При проектировании тепловой защиты зданий необходимо стремиться к созданию гармонично утепленной оболочки, удовлетворяющей нормативным требованиям. Рассмотрена задача определения максимального коэффициента остекленности фасада, при котором будет выполняться комплексное требование тепловой защиты. Проанализировано влияние изменения приведенного сопротивления теплопередаче отдельных фрагментов теплозащитной оболочки на максимальное значение коэффициента остекленности. На примере показано, что перераспределение затрат на возведение различных фрагментов теплозащитной оболочки позволяет добиться необходимого коэффициента остекленности фасада при удовлетворении нормативным требованиям.

**Ключевые слова:** удельная теплозащитная характеристика, гармонично утепленная теплозащитная оболочка, коэффициент остекленности, форма здания.

**Для цитирования:** Крайнов Д.В. Учет коэффициента остекленности фасада при проектировании тепловой защиты здания // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 32–34.

D.V. KRAYNOV, Candidate of Sciences (Engineering) (dmitriy.kraynov@gmail.com)

Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

### Accounting of Glazing of the Facade when Designing the Heat Protection of a Building

At present, residential and public buildings with a large area of facade glazing are widely spread. Increasing the area of translucent structures leads to increasing the heat losses and reducing the specific heat protection characteristic of the building. When designing the heat protection of the buildings, it is necessary to strive for creating the harmonically insulated shell meeting the normative requirements. The problem of determining the maximal coefficient of facade glazing meeting the complex requirement of heat protection is considered. The influence of the change in the reduced resistance to heat transfer of some fragments of the heat protection shell on the maximum value of the glazing coefficient has been analyzed. It is shown by example that the redistribution of costs for the construction of various fragments of the heat protecting shell makes it possible to achieve the necessary coefficient of facade glazing meeting the normative requirements.

**Keywords:** specific heat protection characteristic, harmonically insulated heat protecting shell, glazing coefficient, shape of building

**For citation:** Kraynov D.V. Accounting of glazing of the facade when designing the heat protection of a building. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 32–34. (In Russian).

Ограждающие конструкции зданий должны удовлетворять требованиям тепловой защиты. При проектировании и реконструкции зданий выбираются величины приведенного сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций (стен, окон, перекрытий и т. д.) таким образом, чтобы удовлетворить сразу трем требованиям – поэлементному, комплексному и санитарно-гигиеническому, а также не превысить значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период. В настоящее время здания с большой поверхностью остекления фасадов имеют широкое распространение. Коэффициент остекленности фасада и форма здания оказывают существенное влияние на его энергетические параметры. Влияние площади остекления на светотехнические и теплотехнические параметры оконных блоков, естественное освещение и охлаждение помещений рассмотрено в [1–4]. Энергоэффективные здания возможно создать только с гармонично утепленной оболочкой [5]. Представляется целесообразным найти выражение для определения максимально возможного коэффициента остекленности фасада, при котором будут выполняться требования тепловой защиты зданий.

Рассмотрим, как изменяется удельная теплозащитная характеристика здания  $k_{об}$  в зависимости от коэффициента остекленности фасада здания  $f$ , и найдем мак-

симальное значение  $f$ , удовлетворяющее комплексному требованию. Основные фрагменты теплозащитной оболочки: стены, окна, совмещенная кровля, пол первого этажа.

#### Вывод величины $f_{тр}$

Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003» удельная теплозащитная характеристика здания  $k_{об}$  зависит от площадей отдельных фрагментов теплозащитной оболочки, их приведенных сопротивлений теплопередаче и отапливаемого объема здания [6]:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \cdot \sum_i \left( n_{t,i} \cdot \frac{A_i}{R_{o,i}^{np}} \right), \quad (1)$$

где  $V_{от}$  – отапливаемый объем здания, м<sup>3</sup>;  $n_{t,i}$  – температурный коэффициент;  $A_i$ ,  $R_{o,i}^{np}$  – площадь, м<sup>2</sup>, и приведенное сопротивление теплопередаче отдельного фрагмента теплозащитной оболочки здания, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Распределение площади стен и окон зависит от коэффициента остекленности фасада здания. Ранее величина  $f$  ограничивалась на уровне не более 18% для жилых зданий и не более 25% для общественных [7]. Данное ограничение не позволяло создавать здания с повышенным коэффициентом остекленности, требуемым заказ-

чиком. В настоящее время в [6] предельные значения для  $f$  не вводятся. Запишем выражение для  $f$  в виде:

$$f = \frac{A_{ок}}{A_{фас}} = \frac{A_{ок}}{A_{ст} + A_{ок}}. \quad (2)$$

В рамках рассматриваемой задачи величину  $n_i$  для стен, окон и кровли можно принять равной 1, для пола первого этажа  $n_i < 1$  (имеется неотапливаемый подвал). С учетом (2) выражение (1) запишем следующим образом:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \cdot \left( \frac{A_{фас} - A_{ок}}{R_{о,ст}^{пр}} + \frac{f \cdot A_{фас}}{R_{о,ок}^{пр}} + \frac{A_{кр}}{R_{о,кр}^{пр}} + n_{i,пол} \cdot \frac{A_{пол}}{R_{о,пол}^{пр}} \right). \quad (3)$$

Согласно (3) зависимость  $k_{об}(f)$  является линейной функцией, возрастающей от  $k_{об}(f=0) = k_{об,мин}$  (окна отсутствуют) до  $k_{об}(f=1) = k_{об,макс}$  (светопрозрачный фасад) (см. рисунок). Данную зависимость представим в виде:

$$k_{об} = a \cdot f + b, \quad (4)$$

где  $a$  показывает, насколько возрастет  $k_{об}$  здания при увеличении  $f$  до 1;  $b$  — удельная теплозащитная характеристика здания при  $f=0$  (окна отсутствуют). Значения  $a$  и  $b$  зависят от размеров и формы здания.

Если в уравнение (4) вместо  $k_{об}$  подставить  $k_{об}^{тр}$ , то получим выражение для расчета максимально допустимого коэффициента остекленности фасада:

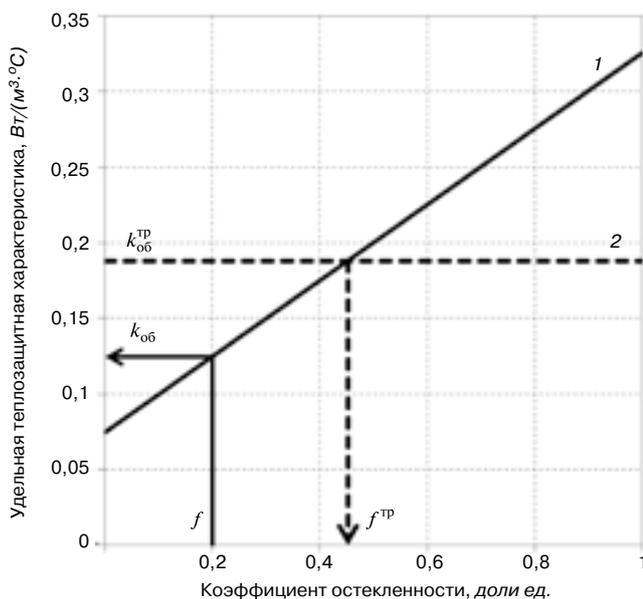
$$f^{тр} = \frac{k_{об}^{тр} - b}{a}. \quad (5)$$

Для того чтобы выполнялось комплексное требование к тепловой защите здания, должно соблюдаться следующее условие (см. рисунок):

$$f \leq f^{тр}. \quad (6)$$

### Изменение уровня теплозащиты различных ограждающих конструкций

Изменение приведенного сопротивления теплопередаче различных фрагментов теплозащитной оболочки приводит к изменению удельной теплозащитной



Зависимость удельной теплозащитной характеристики здания от коэффициента остекленности фасада: 1 — соответствует  $k_{об}$  здания; 2 —  $k_{об}^{тр}$

щитной характеристики здания и, следовательно, к смещению линии 1 (см. рисунок). При изменении  $R_{о,ст}^{пр}$  фиксируется правая точка линии 1, при изменении  $R_{о,ок}^{пр}$  — левая точка. Изменение  $R_{о,кр}^{пр}$  или  $R_{о,пол}^{пр}$  приводит к параллельному смещению линии 1. При этом увеличение приведенного сопротивления теплопередаче любого фрагмента теплозащитной оболочки сдвигает линию 1 соответствующим образом ниже, а уменьшение — выше.

В результате данных изменений возможно получить более высокое значение  $f^{тр}$ . Такой подход позволяет добиться необходимого коэффициента остекленности фасада здания путем подбора величины приведенного сопротивления теплопередаче различных ограждающих конструкций при соблюдении комплексного и санитарно-гигиенического требований [6].

Необходимо определить, каким образом теплозащитные свойства каждого фрагмента влияют на  $f^{тр}$ . Рассмотрим пример жилого здания размером  $75 \times 15 \times 15$  м, расположенного в климатическом регионе с ГСОП =  $5000^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ . Увеличение  $R_{о,ок}^{пр}$  на 30% (с 0,53 до 0,69  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ) приводит к увеличению  $f^{тр}$  с 0,45 до 0,63 (на 40%), а увеличение  $R_{о,ст}^{пр}$  на 30% (с 3,15 до 4,1  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ) — к увеличению  $f^{тр}$  с 0,45 до 0,48 (на 6%). Соответствующие изменения для кровли и пола позволяют увеличить  $f^{тр}$  на 2 и 3% соответственно. С другой стороны, уменьшение уровня теплозащиты на 30% для каждого фрагмента по отдельности приводит к следующему уменьшению  $f^{тр}$ : для окон — на 34%, для стен — на 12%, для кровли — на 5%, для пола — на 4%. Для рассматриваемого в качестве примера здания влияние уровня теплозащиты окон является определяющим. Высокого значения коэффициента остекленности фасада, например  $f=0,75$ , возможно добиться при увеличении только  $R_{о,ок}^{пр}$  до 0,79  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Анализ показывает, что для зданий различной формы и размеров изменение приведенного сопротивления теплопередаче отдельных фрагментов теплозащитной оболочки сказывается неодинаково. Следовательно, потенциал достижения высоких значений  $f$  для каждого здания индивидуален. Изучение данного вопроса поможет накопить и систематизировать результаты, что позволит создавать здания с гармонично утепленной теплозащитной оболочкой [5].

### Заключение

Увеличение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции приведет к ее удорожанию. Однако его можно скомпенсировать, уменьшив уровень теплозащиты другого ограждения. В результате такого перераспределения затрат на возведение отдельных фрагментов теплозащитной оболочки общие затраты могут остаться неизменными. Следовательно, при проектировании тепловой защиты зданий представляется возможным добиться необходимого коэффициента остекленности фасада путем перераспределения уровня теплозащиты отдельных фрагментов с учетом нормативных требований.

### Список литературы

1. Гагарин В.Г., Земцов В.А., Игумнов Н.М. Равноэффективность оконных блоков по параметрам теплозащиты и светопропускания // *Вестник отделения строительных наук РААСН*. Белгород. 2008. № 12. С. 342—349.
2. Коркина Е.В. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим

- параметрам // *Жилищное строительство*. 2015. № 6. С. 60–62.
- Халикова Ф.Р., Куприянов В.Н. Экспериментальные исследования проникновения УФ радиации через оконные стекла // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. Т. 2. С. 30–35.
  - Малявина Е.Г., Фролова А.А. Анализ годового энергопотребления на отопление и охлаждение офисного здания // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2017. Т. 1. № 1. С. 68–75.
  - Козлов В.В. Основы оптимизации теплозащиты ограждающих конструкций по окупаемости энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 10–13.
  - СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Минрегион России. 2012. 95 с.
  - СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: ЦИТП Госстроя России, 2003. 70 с.
- References**
- Gagarin V. G., Zemcov V.A., Igumnov N.M. Equal efficiency of window blocks by thermal protection and light transmission parameters. *Vestnik otdeleniya stroitel'nyh nauk RAASN*. Belgorod. 2008. No. 12, pp. 342–349. (In Russian).
  - Korkina E.V. Comprehensive comparison of window blocks for lighting and thermotechnical parameters. *Zhilishhnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 6, pp. 60–62. (In Russian).
  - Halikova F.R., Kuprijanov V.N. Experimental studies of the penetration of UV radiation through window glass. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3. P. 2, pp. 30–35. (In Russian).
  - Maljavina E.G., Frolova A.A. Analysis of annual energy consumption for heating and cooling office building. *AVOK: Ventiljacija, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naja teplofizika*. 2017. P. 1. No. 1, pp. 68–75. (In Russian).
  - Kozlov V.V. Basics of optimization of thermal protection of enclosing structures by energy-saving activities recoument. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 10–13. (In Russian).
  - SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003 [Thermal performance of the buildings. Actualized edition of SNiP 23-02-2003]. Moscow: Minregion Rossii. 2012. 95 p.
  - SNiP 23-02-2003. Teplovaya zashchita zdaniy [Thermal performance of the buildings]. Moscow: TsITP Gosstroya Rossii. 2003. 70 p.

## 17-я международная конференция BALTIMIX-2017

г. Казань, «Казанская Ривьера»

с 28 по 30 августа 2017 г.

### ОРГАНИЗАТОРЫ:

Компания «Квинтет»

Московский Государственный Строительный Университет (МГСУ)

Санкт-Петербургский Государственный Архитектурно-Строительный Университет (СПбГАСУ)



### 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.

**За дополнительной информацией обращаться в компанию «Квинтет»:**

**Контакт:** Мария Суслова **Тел./факс:** (812) 703-10-19

**E-mail:** msuslova@baltimix.ru **Сайт:** www.baltimix.ru, балтимикс.рф

УДК 699.86

В.А. КУЗЬМИН, ведущий инженер (lte@zavodlit.ru)

ЗАО «Завод ЛИТ» (152020, Ярославская обл., г. Переславль-Залесский, ул. Советская, 1)

## Исследование возможностей применения отражательной теплоизоляции в многослойных сэндвич-панелях с учетом многократного отражения

Исследованы возможности использования отражательной теплоизоляции в энергосберегающих многокамерных сэндвич-панелях с учетом многократного отражения. Приведены методика и результаты экспериментов по исследованию образцов многокамерных сэндвич-панелей. Представлены примеры расчетов многокамерных конструкций с замкнутыми воздушными прослойками и отражательной изоляцией по методикам ГОСТ 56734–2015 «Здания и сооружения. Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией».

**Ключевые слова:** энергосбережение, тепловая защита зданий, отражательная теплоизоляция, отражающая теплоизоляция, многократное отражение, сэндвич-панель, быстровозводимые здания, мобильные здания, утепление, отражающая способность.

**Для цитирования:** Кузьмин В.А. Исследование возможностей применения отражательной теплоизоляции в многослойных сэндвич-панелях с учетом многократного отражения // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 35–40.

V.A. KUZMIN, Leading Engineer (lte@zavodlit.ru)

ZAO «Zavod LIT» (1 Sovetskaya Street, Pereslavl-Zalessky, Yaroslavskaaya Oblast, 152020, Russian Federation)

### Research in Possibilities to Use Reflective Heat Insulation in Multi-Layer Sandwich-Panels with Due Regard for Multiple Reflection

Possibilities to use the reflective heat insulation in energy-saving multi-chamber sandwich-panels with due regard for multiple reflection are studied. Methods and results of experiments on the study of samples of multi-chamber sandwich-panels are presented. Examples of the calculations of multi-chamber designs with dead air spaces and reflective insulation according to the methods GOST 56734–2015 “Buildings and facilities. Calculation of the indicator of heat protection of enclosing structures with reflective heat insulation” are also presented.

**Keywords:** energy saving, heat protection of buildings, reflective heat insulation, multiple reflection, sandwich-panel, prefabricated buildings, mobile buildings, weatherization, reflective capacity.

**For citation:** Kuzmin V.A. Research in possibilities to use reflective heat insulation in multi-layer sandwich-panels with due regard for multiple reflection. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials], 2017. No. 6, pp. 35–40. (In Russian).

С возрастанием требований к тепловой защите зданий и сооружений становится очевидным, что применение конструкций с использованием массивной теплоизоляции при определенной толщине слоя становится не эффективным, так как расходы на теплоизоляцию, монтаж конструкций и доставку материалов на строительную площадку превышают экономию за счет уменьшения затрат тепла [1–5].

Существует более доступный и достаточно эффективный способ утепления зданий [6–9] с использованием теплоизоляции, отражающей поток инфракрасного излучения (отражательной теплоизоляции). Отражательную теплоизоляцию все шире применяют в конструкциях ограждений благодаря ее сравнительной доступности, возможности использования в комбинации с воздушными прослойками. Изучению свойств и преимуществ применения отражательной теплоизоляции в строительстве посвящено немало работ [10–13].

Как правило, отражательную теплоизоляцию применяют в различных вариантах конструкций.

1. В качестве дополнительного утепления изнутри ограждающей конструкции. В этом случае фольга не только препятствует потере теплоты за счет инфракрасного излучения, но и предотвращает влагоперенос, обеспечивая отсутствие внутренней конденсации влаги в ограждении.

Термическое сопротивление конструкции, показанной на рис. 1, возрастает на  $1,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}^*$ , при стоимости

такой системы утепления, составляющей приблизительно  $500 \text{ р./м}^2$ .

2. Отражательную изоляцию можно использовать в качестве теплового экрана при покрытии внутренней поверхности ограждений. В этом случае роль воздушной прослойки играет объем помещения. Такое решение актуально для складов, ангаров, производственных цехов, зданий специального назначения и т. д., которые как правило изготавливают с применением в качестве ограждающих конструкций сэндвич-панелей. По совокупности затрат такое ограждение оказывается наиболее экономичным. Сопротивление теплопередаче конструкции ограждения из профилированного листа и отражающей теплоизоляции Пенофол Супер NET толщиной 15 мм составляет  $0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , при стоимости утепления  $200 \text{ р./м}^2$  с монтажом (рис. 2).

В сэндвич-панелях в качестве утеплителя традиционно используют минеральную вату (базальтовое волокно); пенополиуретан PUR (полиизоцианурат PIR); пенополистирол; стекловолокно; полипропилен.

Однако во многих случаях целесообразно для теплоизоляции зданий модульного типа использовать сэндвич-панель, содержащую несколько воздушных прослоек с отражающими экранами, работающую по принципу многократного отражения. Отказ от применения в конструкции массивной теплоизоляции имеет ряд преимуществ:

- экономия средств за счет исключения из конструкции массивного теплоизоляционного слоя;

\* Система внутреннего утепления включает облицовку из гипсокартона 12 мм, замкнутую воздушную прослойку 50 мм, отражающую теплоизоляцию Армофол 1 мм, плиты из пенополистирола 50 мм.



**Рис. 1.** Дополнительное утепление ограждающей конструкции изнутри помещения с применением отражательной теплоизоляции: 1 – внешнее ограждение; 2 – пенополистирол экструдированный; 3 – отражательная изоляция Армофол 1 мм; 4 – направляющий профиль; 5 – гипсокартон



**Рис. 2.** Покрытие внутренней поверхности ограждения производственного комплекса отражательной теплоизоляцией

Таблица 1

Структура образцов для проведения испытаний [6]

№	Структура образца							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	ПВХ	ЗВП20	ФФ	ЗВП20	ПВХ			
2	ПВХФ	ЗВП20	ФФ	ЗВП20	ФПВХ			
3	ПВХФ	ЗВП20	ПЭП	ЗВП20	ФПВХ			
4	ПВХ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ПВХ			
5	ПВХФ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ФПВХ			
6	ПВХФ	ЗВП10	ПЭП	ЗВП10	ФПВХ			
7	ПВХ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10
8	ПВХФ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10
9	ПВХФ	ЗВП10	ПЭП	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ПЭП	ЗВП10
10	ПВХ	ЗВП10	ПЭП	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ПЭП	ЗВП10
11	ПВХ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ПВХ	
12	ПВХФ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ФФ	ЗВП10	ФПВХ	
13	ПВХФ	ЗВП10	ПЭП	ЗВП10	ПЭП	ЗВП10	ФПВХ	

**Обозначения:** ПВХ – облицовка из поливинилхлорида толщиной 2 мм; ПВХФ, ФПВХ – облицовка из поливинилхлорида толщиной 2 мм, оклеенная отражающим слоем (фольгой) внутрь панели (Армофол тип С); ЗВП10 – замкнутая воздушная прослойка толщиной 10 мм; ЗВП20 – замкнутая воздушная прослойка толщиной 20 мм; ФФ – двусторонне-фольгированный материал Армофол тип В; ПЭП – полиэтиленовая пленка толщиной 50 мкм.

- снижение массы конструкции;
- отсутствие влагонакопления в утеплителе за счет исключения утеплителя, впитывающего влагу;
- улучшение теплотехнических характеристик сэндвич-панели, за счет снижения теплопроводности изделия;
- пожаробезопасность и огнестойкость изделия;
- экологичность и безопасность для здоровья.

**Испытания опытных образцов отражательных сэндвич-панелей**

Результаты предварительных испытаний образцов различной конструкции размером 250×250 мм были опубликованы в [6]. Конструкции образцов приведены в табл. 1.

Измерения проводились под руководством Г.А. Потаповой в лаборатории НИИСФ РААСН в специальной климатической камере (рис. 4). Для панелей № 2, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 13, результаты испытаний представлены в табл. 2 и 3.

В таблицах использованы следующие обозначения:

$t_+^*$  – граничная положительная температура воздуха в камере, °С;

$t_+$  – положительная температура на поверхности сэндвич-панели, °С;

$t_-$  – отрицательная температура на поверхности сэндвич-панели, °С;

$t_-^*$  – граничная отрицательная температура воздуха в камере, °С;

$\Delta t = t_+ - t_-$  – разность температуры на поверхностях сэндвич-панели, °С;

$q$  – тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;

$R_k = q/\Delta t$  – термическое сопротивление конструкции, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

При сравнении термического сопротивления панели с термическим сопротивлением сплошных материалов удобно воспользоваться эквивалентным термическим сопротивлением  $R_3$  (м<sup>2</sup>·°С/Вт), равным отношению  $R_k$  к толщине панели.

Результаты испытаний подтверждают эффективность применения отражательной теплоизоляции в комбинации с замкнутыми воздушными прослойками. Лучшими характеристиками обладают образцы № 7, 8 (для четырех камер), № 11, 12 (для трех камер), № 5, 6 (для двух камер). Термическое сопротивление панелей зависит от средней температуры воздуха и разности температуры на границах прослойки. Например, для образца № 8 при толщине 48 мм, панель обладает термическим сопротивлением 1,37 м<sup>2</sup>·°С/Вт при средней температуре 25°С и термическим сопротивлением 2,2 м<sup>2</sup>·°С/Вт при средней температуре 15°С.

Для сэндвич-панели толщиной 150 мм можно достичь термического сопротивления 4,11 м<sup>2</sup>·°С/Вт для жилых зданий, и 6,6 м<sup>2</sup>·°С/Вт для промышленных зданий ввиду того, что температура внутри жилых помещений должна быть выше температуры внутри промышленных зданий. В суровых климатических условиях при отрицательной температуре замкнутые воздушные прослойки, находящиеся в зоне пониженной температуры, будут обладать повышенным термическим сопротивлением.

Сопротивление теплопередаче будет больше с учетом коэффициентов теплоотдачи стен.

**Определение зависимости термического сопротивления сэндвич-панели от разностей температуры на ее границах и средней температуры воздуха внутри**

Найдем влияние температуры на границах и средней температуры воздушной прослойки на термическое сопротивление сэндвич-панели по результатам, полученным в ходе испытаний панелей на установке (см. [6]) и в тепловой камере. Зависимость термического сопротив-

Таблица 2

Результаты измерений характеристик сэндвич-панелей при внутренней температуре +20°C и наружной температуре -10°C

№	При температуре в холодной части камеры -10°C							
	$t_+^*$	$t_+$	$t_-$	$t_-^*$	$\Delta t$	$q$	$R_{1к}$	$R_0$
2	20,7	16,3	-12	-12,5	28,3	28,1	1,01	21,44
3	23,9	18,1	-8,1	-13,9	26,2	23,3	1,12	24,03
5	20,3	16,6	-11,5	-12,2	28,1	29,04	0,97	37,3
7	23,5	20,4	-8,9	-10,3	29,3	18,2	1,61	33,47
9	20,1	17,7	-11,8	-12,5	29,5	18,7	1,58	33,47
11	20,1	17	-11,4	-11,9	28,4	20,4	1,39	37,57
12	24,4	20,8	-8,6	-9,3	29,4	22,6	1,3	35,14
13	24,3	20,8	-8,2	-8,6	29	22,8	1,27	34,32

ления сэндвич-панели от перечисленных факторов для вертикального расположения панели будем искать в форме линейной аппроксимации:

$$R_k = R_n - A t_{cp} - B \Delta t. \quad (1)$$

Для горизонтального расположения – в этом уравнении заменим  $B$  на  $B_1$ .

Пусть  $R_n$  – номинальное термическое сопротивление панели при температуре  $t_{cp} = 25^\circ\text{C}$  и без учета разницы температуры на ее границах;  $A$  – коэффициент влияния изменения средней температуры воздуха;  $B$  – коэффициент влияния разности температуры при вертикальном расположении панели;  $B_1$  – коэффициент влияния разности температуры при горизонтальном расположении панели.

По результатам четырех экспериментов найдем  $A$ ,  $B$ ,  $B_1$ ,  $R_n$ .

Для решения этой задачи имеем систему их четырех уравнений:

$$\begin{cases} R_{1к} = R_n - A(t_{cp1к} - t_{cp2у}) - B \Delta t_{1к} \\ R_{2к} = R_n - A(t_{cp2к} - t_{cp2у}) - B \Delta t_{2к} \\ R_{1у} = R_n - A(t_{cp1у} - t_{cp2у}) - B_1 \Delta t_y \\ R_{2у} = R_n - A(t_{cp2у} - t_{cp2у}) - B_1 \Delta t_y, \end{cases} \quad (2)$$

где  $R_{1к}$  – термическое сопротивление панели, полученное в ходе первого эксперимента в камере при вертикальном расположении сэндвич-панели,  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_{2к}$  – термическое сопротивление панели, полученное в ходе второго эксперимента в камере при вертикальном



Рис. 3. Возведение промышленного здания с использованием сэндвич-панелей

расположении сэндвич-панели,  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_{1у}$  – термическое сопротивление панели, полученное в ходе первого эксперимента на установке при горизонтальном расположении сэндвич-панели,  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_{2у}$  – термическое сопротивление панели, полученное в ходе второго эксперимента на установке при горизонтальном расположении сэндвич-панели,  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $t_{cp1к} - t_{cp2у}$  – разность средней температуры первого эксперимента камере и средней температуры второго эксперимента на установке,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{cp2к} - t_{cp2у}$  – разность средней температуры второго эксперимента в камере и средней температуры второго эксперимента на установке,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{cp1у} - t_{cp2у}$  – разность средней температуры первого эксперимента на установке и средней температуры второго эксперимента на установке,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{cp2у} - t_{cp2у}$  – разность средней температуры второго эксперимента на установке и средней температуры второго эксперимента на установке,  $^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_{1к}$  – разность температуры на границах сэндвич-панели в ходе первого эксперимента в тепловой камере,  $^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_{2к}$  – разность температуры на границах сэндвич-панели в ходе второго эксперимента в камере,  $^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_y$  – разность температуры на границах сэндвич-панели при экспериментах на установке,  $^\circ\text{C}$ .

**Пример расчета номинального термического сопротивления сэндвич-панели № 2 и коэффициентов влияния средней температуры и разности температуры на границах**

После подстановки значений температуры и термических сопротивлений в систему уравнений (2) получим:



Рис. 4. Испытания опытных образцов сэндвич-панелей в климатической камере проводят главный метролог НИИСФ РААСН Г.А. Потапова и д-р техн. наук А.М. Цирлин ИПС им. А.К. Айламазяна РАН

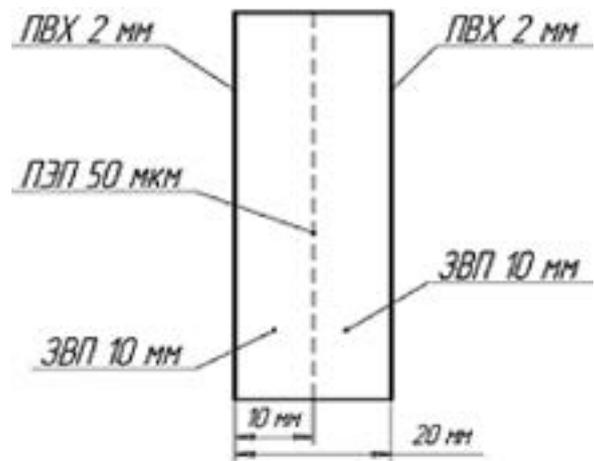


Рис. 5. Схема сэндвич-панели № 14 по слоям

Таблица 3

Результаты измерений характеристик сэндвич-панелей при внутренней температуре +20°C и наружной температуре -25°C

№	При температуре в холодной части тепловой камеры -25°C							
	$t_+^*$	$t_+$	$t_-$	$t_-^*$	$\Delta t$	$q$	$R_{2к}$	$R_3$
2	17	11,8	-27,2	-28	39	46,5	0,84	17,83
3	20,7	14,1	-20,3	-23,1	34,4	39,3	0,88	18,88
5	16,9	12,8	-27	-27,5	39,8	42,6	0,93	35,77
7	21	16,9	-22,7	-26,1	39,6	27,8	1,42	29,52
9	16,9	14,2	-27,3	-27,5	41,5	29,06	1,43	30,3
11	17,2	13,1	-26,8	-27,5	39,9	29,7	1,34	36,22
12	21,4	17,2	-23,1	-26,6	40,3	34,2	1,18	31,89
13	21	17,2	-24	-25,8	41,2	32,9	1,25	33,78

Таблица 4

Термические сопротивления сэндвич-панелей и коэффициенты влияния средней температуры и разницы температур на границах

№ панели	$A$	$B$	$B_1$	$R_{нi}$
2	0,057	0,069	0,075	1,65
3	0,03	0,06	0,164	2,11
5	0,003	0,005	0,05	1,07
7	0,089	0,094	0,285	2,62
9	0,021	0,029	0,123	1,98
11	0,079	0,071	0,123	1,64
12	0,078	0,076	0,195	2,05
13	0,038	0,032	0,077	1,48

$$\begin{cases} 1,01 = R_{нi} - A \cdot \frac{16,3 - 12}{2} - 25 - 1 \cdot B \cdot (28,3) \\ 0,84 = R_{нi} - A \cdot \frac{11,8 - 27,2}{2} - 25 - 1 \cdot B \cdot (39) \\ 1,85 = R_{нi} - A \cdot (15 - 25) - 1 \cdot B_1 \cdot (5) \\ 1,28 = R_{нi} - A \cdot (25 - 25) - 1 \cdot B_1 \cdot (5) \end{cases}$$

После решения системы найдем:  $R_{нi} = 1,65 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ,  $A = 0,057 \text{ м}^2/\text{Вт}$ ,  $B = 0,069 \text{ м}^2/\text{Вт}$ ,  $B_1 = 0,075 \text{ м}^2/\text{Вт}$ .

Результаты расчетов номинальных термических сопротивлений панелей и коэффициентов влияния средней температуры и градиентов температуры представлены в табл. 4.

#### Тепловой расчет сэндвич-панели с учетом многократного отражения

Проведенные эксперименты позволяют оценить точность методики расчета термических сопротивлений конструкций, содержащих воздушные прослойки, согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003», СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей», в автоматическом режиме с помощью расчетной программы «LIT THERMO ENGINEER. Ограждающие конструкции» (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014617857).

**1. Пример расчета сопротивления теплопередаче сэндвич-панели № 14 без отражательной изоляции (рис. 5) по методике ГОСТ Р 56734-2015 «Здания и сооружения. Расчет показателя теплосащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией».**

Условия эксперимента на установке (табл. 1):  $t_{cp} = 15^\circ\text{C}$  – средняя температура панели;  $t_+ = 17,5^\circ\text{C}$  – температура

на поверхности сэндвич-панели со стороны нагревателя на установке;  $t_+ = 12,5^\circ\text{C}$  – температура на поверхности сэндвич-панели со стороны измерителя на установке;  $\Delta t = 5^\circ\text{C}$  – температурный перепад между наружными поверхностями сэндвич-панели;  $\lambda_{пвх} = 0,075 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$  – коэффициент теплопроводности облицовки панели из ПВХ (по справочнику);  $C_{пвх} = 4,5 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{K}^4$  – коэффициент излучения облицовки из ПВХ.

Термическое сопротивление полиэтиленовой пленки можно не учитывать, поскольку ее толщина составляет 50 мкм, что ничтожно мало по отношению к толщине конструкции.

$C_{пэп} = 4,5 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{K}^4$  – коэффициент излучения полиэтиленовой пленки;  $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{K}^4$  – коэффициент излучения (степень черноты) абсолютно черного тела.

Термическое сопротивление облицовки из ПВХ:

$$R_{пвх} = \frac{0,002 \text{ м}}{0,075 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})} = 0,0266 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Термические сопротивления замкнутых воздушных прослоек панели зависят от разности температуры на границах, средней температуры в прослойке и толщины самих прослоек:

$$\begin{aligned} R_{вп1}(\Delta T, T_{cp}, \delta) &= R_{вп1}(2,5^\circ\text{C}, 13,75^\circ\text{C}, 0,01 \text{ м}); \\ R_{вп2}(\Delta T, T_{cp}, \delta) &= R_{вп2}(2,5^\circ\text{C}, 16,25^\circ\text{C}, 0,01 \text{ м}). \end{aligned}$$

На первой итерации определим термическое сопротивление панели, несколькими способами.

а) По табл. 1 ГОСТ Р 56734-2015 «Здания и сооружения. Расчет показателя теплосащиты ограждающих конструкций с отражающей теплоизоляцией»:

$$R_{вп1} = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}; R_{вп2} = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

тогда,

$$\begin{aligned} R_{панели} &= 2R_{пвх} + R_{вп1} + R_{вп2} = 2 \cdot 0,0266 + 0,13 + 0,13 = \\ &= 0,312 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}. \end{aligned}$$

б) По табл. 3 ГОСТ Р 56734-2015 «Здания и сооружения. Расчет показателя теплосащиты ограждающих конструкций с отражающей теплоизоляцией»:

$$\lambda_{вп1} = 0,024 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C}); \lambda_{вп2} = 0,024 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C});$$

$$R_{вп1} = \frac{0,01}{0,024} = 0,416 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

$$R_{вп2} = \frac{0,01}{0,024} = 0,416 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

$$R_{панели} = 2R_{пвх} + R_{вп1} + R_{вп2} = 2 \cdot 0,026 + 0,416 + 0,416 = 0,885 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

В следующих итерациях определяется термическое сопротивление панели с учетом коэффициентов излучения по ГОСТ Р 56734-2015 «Здания и сооружения. Расчет показателя теплосащиты ограждающих конструкций с отражающей теплоизоляцией».

Температура на границах воздушных прослоек.

1) Снижение температуры за счет влияния термического сопротивления облицовки из ПВХ:

$$dt_{пвх} = \frac{0,027 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \cdot 100\% \cdot 5^\circ\text{C}}{0,31 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \cdot 100\%} = 0,42^\circ\text{C};$$

2) Распределение температуры на границах воздушных прослоек:

$$t_{1вп1} = 17,5 - 0,4245 = 17,0755^\circ\text{C}; t_{2вп1} = 15; t_{1вп2} = 15;$$

$$t_{2вп2} = 12,5 + 0,4245 = 12,9245^\circ\text{C}.$$

Величину термического сопротивления воздушной прослойки в ограждающей конструкции находят по формуле [19]:

$$R_{с.п.} = \frac{t_{1,в.п.} - t_{2,в.п.}}{C_{пр.} \left[ \left( \frac{t_{1,в.п.} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{2,в.п.} + 273}{100} \right)^4 \right] + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\delta} (t_{1,в.п.} - t_{2,в.п.})}, \quad (3)$$

где  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха при средней температуре воздушной прослойки, Вт/(м·°С);  $\lambda_2$  – коэффициент теплопередачи конвекцией, зависящий от толщины воздушной прослойки, температуры воздуха в ней, разности температуры на поверхностях воздушной прослойки и расположении прослойки в ограждении, Вт/(м·°С);  $\delta$  – толщина воздушной прослойки, м.

Между параллельными поверхностями воздушной прослойки происходит многократное отражение и поглощение потока излучения и передача теплоты теплопроводностью и конвекцией. При этом лучистый тепловой поток от первой поверхности отражается и поглощается второй поверхностью воздушной прослойки.

3) Приведенный коэффициент излучения для воздушных прослоек:

$$C_{пр.} = \frac{1}{\frac{1}{C_{1,в.п.}} + \frac{1}{C_{2,в.п.}} - \frac{1}{C_0}} = \frac{1}{\frac{1}{4,5} + \frac{1}{4,5} - \frac{1}{5,67}} = 3731 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4). \quad (4)$$

Термическое сопротивление воздушных прослоек сэндвич-панели по формулам (3), (4):

$$R_{с.п.1} = \frac{17,0755 - 15}{3,731 \left[ \left( \frac{17,0755 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{15 + 273}{100} \right)^4 \right] + \frac{0,023}{0,01} (17,0755 - 15)} = 0,1732 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт};$$

$$R_{с.п.2} = \frac{15 - 12,9245}{3,731 \left[ \left( \frac{15 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{12,9245 + 273}{100} \right)^4 \right] + \frac{0,023}{0,01} (15 - 12,9245)} = 0,1356 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт};$$

Таким образом термическое сопротивление панели:

$$R_{панели} = 2R_{пвх} + R_{вп1} + R_{вп2} = 2 \cdot 0,027 + 0,173 + 0,136 = 0,362 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}.$$

## 2. Расчет термического сопротивления сэндвич-панели № 4 (с применением отражающего слоя вместо ПЭП).

Приведенный коэффициент излучения для воздушных прослоек:

### Список литературы

1. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Об оценке энергетической эффективности энергосберегающих мероприятий // *Инженерные системы. АВОК–Северо-Запад*. 2014. № 2. С. 26–29.
2. 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.
3. 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.

$$C_{пр.} = \frac{1}{\frac{1}{C_{1,в.п.}} + \frac{1}{C_{2,в.п.}} - \frac{1}{C_0}} = \frac{1}{\frac{1}{0,3} + \frac{1}{4,5} - \frac{1}{5,67}} = 0,296 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4).$$

$$R_{с.п.1} = \frac{17,0755 - 15}{0,296 \left[ \left( \frac{17,0755 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{15 + 273}{100} \right)^4 \right] + \frac{0,023}{0,01} (17,0755 - 15)} = 0,388 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт};$$

$$R_{с.п.2} = \frac{15 - 12,9245}{0,296 \left[ \left( \frac{15 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{12,9245 + 273}{100} \right)^4 \right] + \frac{0,023}{0,01} (15 - 12,9245)} = 0,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт};$$

Термическое сопротивление панели № 4 с отрагательной изоляцией:

$$R_{панели} = 2R_{пвх} + R_{вп1} + R_{вп2} = 2 \cdot 0,0266 + 0,388 + 0,37 = 0,811 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}.$$

Термическое сопротивление увеличилось более, чем вдвое, что соответствует результатам эксперимента.

Полученные значения – результат расчета в первом приближении. При последующих итерациях результат расчета уточняют. Как правило, подобные задачи решают при помощи ЭВМ. Результаты апробации математической модели и методик ГОСТ Р 56734–2015 «Здания и сооружения. Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отрагательной теплоизоляцией» позволяют разработать алгоритм расчета для пакета прикладных программ по теплотехнике «LIT THERMO ENGINEER. Ограждающие конструкции» (Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014617857).

### Выводы

Испытания сэндвич-панелей показали их высокое термическое сопротивление и возможности использования таких конструкций для внутреннего утепления существующих зданий, а также в качестве заполнения стен, перегородок и перекрытий при каркасном строительстве.

Термическое сопротивление сэндвич-панелей, содержащих отрагательную изоляцию, существенно выше аналогичных конструкций без отрагательной изоляции, оно сравнительно мало зависит от расположения панели (вертикального или горизонтального) и от расположения слоя отрагательной изоляции внутри панели.

Работа была проведена совместно с коллегами из НИИСФ РААСН – заместителем директора по научной работе, канд. техн. наук Н.П. Умняковой и главным метрологом Г.А. Потаповой, которым автор выражает глубокую благодарность.

### References

1. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. On the evaluation of energy efficiency of energy saving measures. *Inzhenernye sistemy. AVOK–Severo-Zapad*. 2014. No. 2, pp. 26–29. (In Russian).
2. Gagarin V.G., Neklyudov A.Yu. Accounting of thermal inhomogeneity fences when determining the heat load on the heating system of the building. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 3–7. (In Russian).
3. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. Accounting Heat engineering heterogeneities when assessing the thermal protection of enveloping structures in Russia and European coun-

4. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 7–9.
5. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // *Жилищное строительство*. 2011. № 8. С. 2–6.
6. Кузьмин В.А., Умнякова Н.П. Применение отражательной теплоизоляции в многослойных панелях с эффектом многократного отражения теплового потока // *Жилищное строительство*. 2016. № 6. С. 21–24.
7. Кузьмин В.А., Шабанин Д.А., Цирлин А.М., Цыганков В.М., Ахременков А.А. Технико-экономическое сравнение методов экономии энергии за счет утепления зданий. // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2014. № 9–10. С. 82–90.
8. Кузьмин В.А., Шабанин Д.А., Цирлин А.М. Математическое и компьютерное моделирование температурного и влажностного режима ограждений в строительстве // *Сборник XVIII ежегодной молодежной научно-практической конференции «Научные информационные технологии» SIT-2014*. С. 43–59.
9. Кузьмин В.А., Ахременков А.А., Цирлин А.М., Цыганков В.М. Энергетическая эффективность покрытия внутренней поверхности помещений отражательной теплоизоляцией // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 65–67.
10. Умняков П.Н. Применение алюминиевой фольги для теплоизоляции зданий. *Сборник статей НИИСФ «Исследования по строительной теплофизике»*. М.: Госстройиздат, 1959.
11. Умнякова Н.П. Теплозащита замкнутых воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией // *Жилищное строительство*. 2014. № 1–2. С. 16–20.
12. Умнякова Н.П. Теплопередача через ограждающие конструкции с учетом коэффициентов излучения внутренних поверхностей помещения // *Жилищное строительство*. 2014. № 6. С. 14–17.
13. Умнякова Н.П. Снижение теплотерь поверхности радиаторной стенки // *Жилищное строительство*. 2015. № 2. С. 21–24.
14. Мананков В.М. Отражающая теплоизоляция в энергосберегающем строительстве // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. С. 319–326.
15. Мананков В.М. Отражающая теплоизоляция в энергосберегающем строительстве // *Все о ЖКХ*. 2011. № 2. С. 57–59.
16. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под редакцией Ю.А. Табунщикова и В.Г. Гагарина. 5-е издание. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
17. Андреев Д.А., Могутов В.А. Теплотехнические характеристики многослойных ограждающих конструкций со слоями отражающей изоляции. *Сборник трудов НИИСФ*. 2002. С. 139–146.
18. Андреев Д.А., Могутов В.А., Цирлин А.М. Выбор расположения слоев ограждающей конструкции с учетом предотвращения внутренней конденсации // *Строительные материалы*. 2001. № 12. С. 42–45.
19. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М.: Высшая школа, 1982. 415 с.
20. Арнольд Л.В., Михайловский Г.А., Селиверстов В.М. Техническая термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1979. 466 с.
- tries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
4. 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).
5. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Requirements for thermal protection and energy efficiency in the draft of the updated SNiP “Thermal Protection of Buildings”. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 8, pp. 2–6. (In Russian).
6. Umnyakova N.P., Kuzmin V.A. The use of reflective heat insulation in multilayer panels with effect of multiple reflection of a heat flow. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 6, pp. 21–24. (In Russian).
7. Kuzmin V.A., Schabanin D.A., Tsirlin A.M., Tsyganov V.M., Achremenkov An.A. Techno-economic comparison of methods of energy saving by insulation of buildings. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki*. 2014. No. 9–10, pp. 82–90. (In Russian).
8. Kuzmin V.A., Schabanin D.A., Tsirlin A.M. Mathematical and computer modeling of temperature and moisture mode of fencing in construction. *The collection of the XVIII annual youth scientific-practical conference “High-tech information technologies” SIT-2014*, pp. 43–59. (In Russian).
9. Achremenkov An.A., Kuzmin V.A., Tsirlin A.M., Tsyganov V.M. Energy efficiency of coating the inner surface of premises with reflective heat insulation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 65–67. (In Russian).
10. Umnyakov P.N. The use of aluminum foil for thermal insulation of buildings. *Collection of articles NIISF “Research in building physics”*. Moscow: Gosstroyizdat, 1959.
11. Umnyakova N.P. Heat protection of closed air spaces with reflective insulation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 1–2, pp. 16–20. (In Russian).
12. Umnyakova N.P. Heat transfer through enclosing structures with due regard for coefficients of radiation of inner surfaces of premises. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 14–17. (In Russian).
13. Umnyakova N.P. Reduction in heat losses of a behind radiators wall surface. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 2, pp. 21–24. (In Russian).
14. Manankov V.M. Reflective insulation in energy efficient construction. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3, pp. 319–326. (In Russian).
15. Manankov V.M. Reflective insulation in energy efficient construction. *Vse o zhilishhno-kommunal'nom hozjajstve*. 2011. No. 2, pp. 57–59. (In Russian).
16. Fokin K.F. *Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastei zdaniy / Pod redaktsiei Yu.A. Tabunshchikova i V.G. Gagarina*. 5-e izdanie [Building heat engineering of enclosing parts of buildings. Edited by J.A. Tabunshchikov and V.G. Gagarin. 5-th edition]. Moscow: AVOK-PRESS. 2006. 256 p.
17. Andreev D.A., Mogutov V. A. Thermal performance of multilayer enclosing structures with layers of reflective insulation. *Proceedings of NIISF*. 2002, pp. 139–146. (In Russian).
18. Andreev D. A., Mogutov V. A., Tsirlin, A. M., the Choice of layers enclosing structures subject to prevent internal condensation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials] 2001. No. 12, pp. 42–45. (In Russian).
19. Bogoslovskiy V.N. *Stroitel'naya teplofizika* [Building thermal physics]. Moscow: Vysshaja shkola. 1982.
20. Arnold L., Mikhailovsky G.A., Seliverstov, V.M. *Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha* [Engineering thermodynamics and heat transfer]. Moscow: Vysshaja shkola. 1979.

# II Международный симпозиум по долговечности и устойчивому развитию конструкционного бетона

## DSCS 2018

Москва,



6-7 июня 2018 г.

### Организаторы:

Итальянское отделение американского института бетона (ACI IC)  
и Российская инженерная академия (РИА)

При участии Российской академии наук (РАН) и Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН)

### Спонсоры конференции:

Американский институт бетона (ACI) и его комитеты: C130 (Sustainability of Concrete), C201 (Durability of Concrete), C544 (Fiber Reinforced Concrete), C549 (Thin Reinforced Cementitious Products and Ferrocement);

Международная федерация по конструкционному бетону (fib);

Международный союз экспертов и лабораторий в области испытаний строительных материалов, систем и конструкций (RILEM)



### Тематика симпозиума

- Сокращение парниковых газов в цементной и бетонной промышленности
- Рециклирование и организация удаления отходов в производстве бетонов и растворов
- Сульфоалюминатные цементы как альтернатива портландцементу и смешанным цементам
- Щелочеактивированные материалы и геополимеры для устойчивого строительства
- Долговечность железобетонных конструкций
- Оценка жизненного цикла в строительстве из бетона
- Повторное использование и восстановление функциональности железобетонных конструкций
- Ремонт и эксплуатация
- Контроль, инспектирование и мониторинг
- Примеры из практики

**Место проведения конференции:** Российская академия наук, Москва, Россия

<http://www.aciitaly.com/events/dscs2018>

**Секретариат симпозиума:** ACI Italy Chapter Secretary ([aciitalychapter@gmail.com](mailto:aciitalychapter@gmail.com))

**Российский секретариат:** Леонид Иванов, региональная группа РИЛЕМ ([l.a.ivanov@mail.ru](mailto:l.a.ivanov@mail.ru));  
Сергей Бронин, Национальная группа ФИБ ([bronin@list.ru](mailto:bronin@list.ru)).

УДК 534.8.081.7

С.А. БУГАЕВСКАЯ<sup>1</sup>, генеральный директор, А.В. РЫЖКОВ<sup>1</sup>, коммерческий директор; В.А. АИСТОВ<sup>2</sup>, инженер

<sup>1</sup> ООО ПК «СтройБизнесАльянс» (123298, г. Москва, ул. 3-я Хорошевская, 18)

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики НИИСФ РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

## Применение современного перспективного материала Изофом в строительной практике

Рассмотрены основные технические характеристики перспективного строительного материала – сшитого пенополиэтилена Изофом, разработанного и выпускаемого ООО Производственная компания «СтройБизнесАльянс». Приведены примеры использования сшитого пенополиэтилена Изофом в строительной практике в качестве:

- тепло-, звукоизоляционного слоя в конструкциях междуэтажных перекрытий, выполняемых по типу «плавающий пол», для снижения уровня ударного шума и повышения изоляции воздушного шума;
- тепло-, звукоизоляционной подложки под паркетную доску, ламинат, линолеум, ковровое покрытие, керамическую плитку, а также при проектировании лестничных маршей с «плавающими» ступенями;
- тепло-, звукоизоляционного слоя для изоляции воздуховодов систем вентиляции и кондиционирования воздуха, для изоляции труб отопления, горячего и холодного водоснабжения, канализационных труб;
- гидроизоляционного и парозащитного слоя в строительных конструкциях, в тоннелях;
- тепло-гидроизоляции для предупреждения потери тепла при гидратации в процессе отверждения бетонных конструкций.

Благодаря своим уникальным свойствам сшитый пенополиэтилен Изофом является современным строительным материалом, позволяющим выполнять нормативные требования по тепло- и гидроизоляции, по изоляции ударного и воздушного шума строительными конструкциями в течение всего срока эксплуатации. Поэтому Изофом рекомендуется для широкого применения при строительстве различных объектов.

**Ключевые слова:** сшитый пенополиэтилен, теплозащита, звукоизоляция, гидроизоляция, паронепроницаемость.

**Для цитирования:** Бугаевская С.А., Рыжков А.В., Аистов В.А. Применение современного перспективного материала Изофом в строительной практике // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 42–45.

S.A. BUGAEVSKAYA<sup>1</sup>, General Director, A.V. RYZHKOV<sup>1</sup>, Commercial Director; V.A. AISTOV<sup>2</sup>, Engineer

<sup>1</sup> ООО ПК "StroyBiznesAl'yans" (18, 3-ya Khoroshevskaya Street, Moscow, 123298, Russian Federation)

<sup>2</sup> Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian)

### The Use of Modern Prospective Material Izofom in Building Practice

Basic technical characteristics of the prospective building material, cross-linked foam polyethylene Izofom developed and produced by ООО "Production company "StroyBiznesAl'yans" are considered. Examples of the use of cross-linked foam polyethylene Izofom in the construction practice are presented. It is used as: heat and sound-insulation layer in structures of intermediate floors executed as "a floating floor" for reducing the level of impact noise and improving the air noise isolation; heat and sound-insulation substrate under the parquet plank, laminate, linoleum, carpet covering, ceramic tiles as well as when designing stair flights with "floating" steps; heat and sound-insulation layer for insulation of air ducts of ventilation and air-conditioning systems, for insulation of pipes of heating, hot and cold water supply, sewerage pipes; water-proofing and steam-protecting layer in building structures and in tunnels; heat – waterproofing for preventing the heat losses at hydration in the process of concrete structures hardening. Due to its unique properties, the cross-linked foam polyethylene Izofom is a modern building material which makes it possible to meet regulating requirements for heat insulation and water-proofing, insulation of impact and air noise with building structures during the whole service life. That's why, Izofom is recommended for the wide use when constructing various objects.

**Keywords:** cross-linked foam polyethylene, heat protection, sound insulation, water-proofing, vapor impermeability.

**For citation:** Bugaevskaya S.A., Ryzhkov A.V., Aistov V.A. The use of modern prospective material Izofom in building practice. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 42–45. (In Russian).

Одной из основных задач современного гражданского строительства является обеспечение комфортных условий проживания и трудовой деятельности населения. На первый план здесь выдвигаются требования обеспечения нормативной теплоизоляции, звукоизоляции, благоприятных экологических условий и др. Для решения этих задач требуется применение в строительных конструкциях соответствующих материалов. Однако кроме необходимых физических свойств такие материалы должны быть достаточно экономичными по стоимости, что особенно важно при массовом жилищном строительстве. Поэтому научными и производственными организациями ведется постоянный поиск новых, более совершенных строительных материалов, удовлетворяющих вышеуказанным требованиям.

Одним из таких материалов является современный прогрессивный материал Изофом, разработанный и выпускаемый ООО Производственная Компания «СтройБизнесАльянс» (ТУ 5768-001-18599150–2014).

Изофом представляет собой инновационный упругоэластичный материал на основе сшитого пенополиэтилена.

В настоящее время известны два вида пенополиэтилена, получаемые разными способами, – несшитый пенополиэтилен и сшитый пенополиэтилен [1].

Несшитый пенополиэтилен получают в экструдере [2, 3], где при высоком давлении происходит расплавление и смешивание полиэтилена со вспенивающим реагентом (пропан-бутановой смесью, разрешенными фреонами или другими подобными веществами) [4]. В результате получается материал, называемый несшитым пенополиэтиленом, молекулы которого представляют собой линейные цепочки атомных групп  $-CH_2-$ , причем в каждой атомной группе один из двух атомов водорода более прочно соединен с атомом углерода.

Отсутствие поперечных связей между атомными группами в несшитом пенополиэтилене делает его непластичным, подверженным частым разрывам, особенно

Таблица 1

Зависимость физико-механических свойств сшитого пенополиэтилена Изофом от кратности вспенивания

Наименование показателя	Значение показателя				
	5	10	15	20	30
Кратность вспенивания	5	10	15	20	30
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	200	100	66	50	33
Теплопроводность, Вт/(м·°C)	–	–	0,036–0,037	0,034–0,036	0,03–0,031
Водопоглощение при выдержке 24 ч, см <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7
Предел прочности при сжатии при 25%-й деформации, не менее, МПа	0,33	0,064	0,06	0,054	0,035

при больших нагрузках. При изготовлении несшитого полиэтилена, несмотря на все усилия, полотно получается волнообразное, неодинаковое по толщине, его ячейки крупные и неоднородные. При сжатии материала ячейки схлопываются, в местах нажатия наблюдаются неустраняемые остаточные деформации [5]. Поэтому несшитый пенополиэтилен для применения в строительной практике непригоден, он может использоваться лишь как упаковочный материал. Между тем на практике нередко встречаются случаи, когда строители, не зная об отрицательных свойствах несшитого пенополиэтилена и учитывая его более низкую стоимость, приобретают материал и используют его в качестве звукоизолирующих прокладок в строительных конструкциях, что приводит к негативным результатам и жалобам жителей на плохую звукоизоляцию.

В процессе производства сшитого пенополиэтилена в расплаве за счет специальной технологии создают поперечно-связанную (сетчатую) молекулярную структуру, которая обеспечивает сшитому пенополи-этилену повышенную упругость, долговечность и высокую сопротивляемость механическим и температурным воздействиям [5].

Сшитые пенополиэтилены могут быть получены двумя способами – химическим или радиационным. Химически сшитые пенополиэтилены формируются при высоком давлении в экструдере, где расплавленный полиэтилен вступает в реакцию с антиокислителями и инициаторами образования поперечных атомных связей (обычно это перекиси) [6]. Инициаторы атомных связей, распадаясь при высокой температуре, образуют радикалы, которые отнимают у атомных групп  $-CH_2-$  по одному атому водорода. В результате появляются ненасыщенные атомные группы  $=CH-$  со свободной валентностью, которые соединяясь между собой, образуют пространственную поперечно-связанную молекулярную структуру.

При использовании радиационного метода происходят аналогичные процессы, только сшивка атомных групп производится не химическим путем, а под воздействием пучка высокоскоростных электронов.

Сшитый пенополиэтилен имеет мелкоячеистую, закрытопористую структуру, устойчивую к нагрузкам. На основании многолетних исследований и большого опыта по изготовлению различных видов полиэтиленов ООО ПК «СтройБизнесАльянс» удалось разработать особый вид сшитого пенополиэтилена – Изофом, обладающий рядом ценных свойств, отсутствующих у других материалов подобного класса.

Для сшитого пенополиэтилена Изофом характерны:

- высокая плотность материала (табл. 1);
- хорошая прочность при разрыве (при возникновении напряжения в материале проявляется свойство растягивания без потери качественных характеристик);
- устойчивость к деформации, быстрое восстановление исходной формы после снятия нагрузки, высокий модуль упругости (0,5 МПа при нагрузке 2000 Па);

- низкий уровень теплопроводности, что делает утепление конструкций сшитым пенополиэтиленом Изофом практически идеальным вариантом при решении вопросов теплозащиты в диапазоне температуры от  $-60$  до  $100^\circ\text{C}$ ;

- низкая усадка при прогревании;

- высокие звуко- и виброизоляционные качества, позволяющие обеспечивать нормативный уровень воздушного и ударного шума в помещениях зданий различного назначения при сравнительно небольшой толщине материала;

- низкая гигроскопичность, паронепроницаемость (менее  $0,001$  мг/(м·ч·Па));

- повышенная химическая устойчивость – Изофом не вступает в реакцию с бензином, ацетоном и совместим со всеми видами строительных материалов (бетон, цемент и пр.);

- экологическая чистота, отсутствие выраженного запаха, нетоксичность, устойчивость к бактериям, грибок и плесени, стойкость к гниению;

- легкость обработки, формовки, нарезки любой сложности, возможность сварки строительным феном;

- хорошая адгезия при совместном применении с тканями, полимерными пленками, в том числе металлизированными [7];

- возможность окрашивания в любой цвет, обычно применяется белый или темно-серый цвет;

- долговечность, гарантийный срок эксплуатации не менее 25 лет без потери физико-механических свойств.

На свойства Изофома значительно влияет кратность вспенивания [7]: чем выше кратность вспенивания, тем менее плотным и менее прочным получается материал, но с более низким коэффициентом теплопроводности (табл. 1).

Ценным преимуществом Изофома является его повышенная плотность по сравнению с несшитыми пенополиэтиленами ( $33$ – $200$  кг/м<sup>3</sup> против  $25$ – $30$  кг/м<sup>3</sup> соответственно). Это позволяет применять Изофом не только в строительстве, но и в автомобиле- и машиностроении, на морском транспорте, в сооружениях неф-тегазовой добычи, в холодильно-рефрижераторных установках, при изготовлении медицинских изделий и товаров народного потребления, в обувной промышленности и ортопедии и др.

Дополнительные технические характеристики Изофома, определенные в соответствии с методами, описанными в [5], приведены в табл. 2.

В силу вышеперечисленных свойств сшитый пенополиэтилен Изофом производства ООО «ПК «СтройБизнесАльянс» пригоден для широкого применения в строительной практике в качестве:

- тепло-, звукоизоляционного слоя в конструкциях междуэтажных перекрытий, выполняемых по типу «плавающий пол», для снижения уровня ударного шума и повышения изоляции воздушного шума (толщина слоя обычно составляет 5, 8, 10 мм и зависит также от нагрузки на слой);

Таблица 2

Технические характеристики сшитого пенополиэтилена Изофом

Кратность вспенивания	40–10
Прочность на растяжение, МПа	0,21–1,91
Удлинение при разрыве (в продольном / поперечном направлении), %	130–250 / 100–210
Остаточная деформация при сжатии, %, в течение 0,5 / 24 ч	≤20 / ≤7
Усадка при прогревании до 70°С в течение 22 ч (в продольном / поперечном направлении), %	0,54–1,45 / 0,1–0,75
Динамическая жесткость S', МПа/м, для образца толщиной 5–10 мм и при нагрузке 2000 Па	100–200
Динамический модуль упругости E <sub>d</sub> , МПа, для образца толщиной 5–10 мм при нагрузке 2000 / 5000 Па	1–1,3 / 1,3–3
Коэффициент относительного сжатия ε <sub>d</sub> при нагрузке 2000 / 5000 Па	0,026–0,060 / 0,054–0,08
Удельная теплоемкость, Дж/(кг · °С)	1,8
Границы рабочих температур, °С	от -60 до 100
Водопоглощение при погружении по всему объему в течение 96 ч, %	<1
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	0,001
Группа горючести (ГОСТ 30244–94)	Г1–Г4
Группа воспламеняемости (ГОСТ 30244–94)	В3
Группа по дымообразующей способности (ГОСТ 12.1.044–89)	Д3

– тепло-, звукоизоляционной подложки толщиной 2–3 мм под паркетную доску, ламинат, линолеум, ковровое покрытие, керамическую плитку, а также при проектировании лестничных маршей с «плавающими» ступенями;

– тепло-, звукоизоляционного слоя для изоляции воздуховодов систем вентиляции и кондиционирования воздуха, для изоляции труб отопления с температурой ниже 95°С, труб горячего и холодного водоснабжения, канализационных систем;

– гидроизоляционного и парозащитного слоя в строительных конструкциях, в тоннелях;

– тепло- и гидроизоляции для предупреждения потери тепла при гидратации в процессе отверждения бетонных конструкций.

Практические примеры применения сшитого пенополиэтилена Изофом приведены в альбоме технических решений [8]. В альбоме содержатся описания и принципиальные схемы конструктивных решений по улучшению изоляции воздушного и ударного шума перекрытий жилых, общественных и производственных зданий, повышению их гидроизоляционных свойств, усилению звукоизоляции мест прохода коммуникаций (трубы отопительных систем, систем горячего и холодного водоснабжения, воздуховоды систем вентиляции и кондиционирования воздуха) через перекрытия на основе использования сшитого пенополиэтилена Изофом.

ООО ПК «СтройБизнесАльянс» выпускает сшитый пенополиэтилен толщиной 2–15 мм и кратностью вспенивания 10–40 в виде рулонов (Изофом ППЭ); в виде ламинированных матов толщиной 15–100 мм и кратностью вспенивания 10–40 (Изофом ППЭ-Л). Кроме того,

Таблица 3

Значения индексов приведенного уровня ударного шума

Толщина железобетонной плиты перекрытия, мм	Поверхностная плотность железобетонной плиты перекрытия, кг/м <sup>2</sup>	Индекс приведенного уровня ударного шума перекрытием из голых железобетонных плит, L <sub>пвб</sub> , дБ	Индекс улучшения изоляции ударного шума перекрытием ΔL <sub>пвб</sub> , дБ, при устройстве «плавающего» пола с применением Изофома толщиной 5–8–10 мм, ΔL <sub>пвб</sub> , дБ	Индекс приведенного уровня ударного шума перекрытием при устройстве «плавающего» пола с применением Изофома толщиной 5–8–10 мм, L <sub>пвб</sub> плав., дБ
80	200	84	22–24–25	62–60–59
100	250	82	22–24–25	60–58–57
120	300	80	22–24–25	58–56–55
140	350	78	22–24–25	56–54–53
160	400	77	22–24–25	55–53–52
180	450	76	22–24–25	54–52–51

выпускается фольгированный сшитый пенополиэтилен толщиной 2–10 мм и кратностью вспенивания 10–40 в виде рулонов (Изофом ППЭ-Ф).

При устройстве теплоизоляции пола, перегородок и других строительных конструкций толщина слоя сшитого пенополиэтилена Изофом должна быть определена теплотехническим расчетом в соответствии с рекомендациями [9], а также в соответствии со СНиП II-3–79\* «Строительная теплотехника». При этом следует принимать коэффициент теплопроводности сшитого пенополиэтилена Изофом равным 0,03 Вт/(м·°С) при средней температуре образца 0°С.

Для эффективного использования сшитого пенополиэтилена Изофом в качестве звукоизоляционного материала необходимо правильно выбрать соотношение между толщиной слоя звукоизоляционного материала и нагрузкой (стяжкой с покрытием пола), с тем, чтобы резонансная частота колебаний пола была минимально низкой и при этом не происходило бы разрушения звукоизоляционного материала [10]. Резонансную частоту колебаний пола на упругой прокладке определяют в соответствии с СП 23-103–2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий».

В табл. 3 показано, какого эффекта в улучшении изоляции ударного шума перекрытием можно добиться при применении Изофома. В большинстве реальных случаев это позволяет выполнить нормативные требования по изоляции ударного шума, приведенные в СП 51.13330.2011 «Свод правил «Защита от шума» (актуализированная редакция СНиП 23-03–2003)».

Проведенные исследования технических характеристик сшитого пенополиэтилена Изофом производства ООО Производственная компания «СтройБизнесАльянс» показали, что он, являясь современным строительным материалом, относится к классу высокоэффективных долговечных тепло- и звукоизоляционных материалов и полностью отвечает требованиям ГОСТ 23499–2009 «Материалы и изделия строительные звукопоглощающие и звукоизоляционные. Классификация и общие технические требования», позволяющим выполнять нормативные требования по изоляции ударного и воздушного шума в течение всего срока эксплуатации, обладает также хорошими тепло-, гидро- и пароизоляционными свойствами. Поэтому Изофом рекомендуется для широкого применения в строительстве.

Список литературы

1. Технология полимерных материалов (Под ред. В.К. Крыжановского). СПб.: Профессия, 2011. 534 с.
2. Раувендааль К. Основы экструзии. СПб.: Профессия, 2011. 280 с.
3. Колгрюбер К. Двухшнековые сонаправленные экструдеры. Основы, технология, применение. СПб.: Профессия, 2016. 370 с.
4. Клемпнер Д., Сенджаревич В. Полимерные пены и технологии вспенивания. СПб.: Профессия, 2009. 600 с.
5. Грэлльман В., Зайдлер С. Испытания пластмасс. СПб.: Профессия, 2010. 720 с.
6. Цвайфель Х., Маер Р.Д., Шиллер М. Добавки к полимерам. СПб.: Профессия, 2010. 1144 с.
7. Поциус А. Клеи, адгезия, технологии склеивания. СПб.: Профессия, 2015. 384 с.
8. Альбом технических решений по применению сшитого пенополиэтилена «Изофом» при устройстве плавающих полов и в других строительных конструкциях для защиты от шума и вибрации при строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. М.: ПК «СтройБизнесАльянс», 2017. 39 с.
9. Рао Натти С., Скотт Ник Р. Технологические расчеты в переработке пластмасс. СПб.: Профессия, 2013. 200 с.
10. Крендалл И.Б. Акустика. М.: Ленанд, 2017. 171 с.
2. Rauvendaal' K. Osnovy ekstruzii [Extrusion bases]. Saint-Petersburg: Professiya. 2011. 280 p.
3. Kolgryuber K. Dvukhshnekovye sonapravlennye ekstrudery. Osnovy, tekhnologiya, primenenie [Twin-screw unidirectional extruders. Bases, technology, application]. Saint-Petersburg: Professiya. 2016. 370 p.
4. Klempler D., Sendzharevich V. Polimernye peny i tekhnologii vspenivaniya [Polymeric foams and technologies of foaming]. Saint-Petersburg: Professiya. 2009. 600 p.
5. Grell'man V., Zaidler S. Ispytaniya plastmass [Tests of plastic]. Saint-Petersburg: Professiya. 2010. 720 p.
6. Tsvaifel' Kh., Maer R.D., Shiller M. Dobavki k polimeram [Additives to polymers]. Saint-Petersburg: Professiya. 2010. 1144 p.
7. Potsius A. Klei, adgeziya, tekhnologii kleivaniya [Glues, adhesion, technologies of pasting]. Saint-Petersburg: Professiya. 2015. 384 p.
8. Al'bom tekhnicheskikh reshenii po primeneniyu sshitogo penopolietilena «Izofom» pri ustroystve plavayushchikh polov i v drugikh stroitel'nykh konstruktsiyakh dlya zashchity ot shuma i vibratsii pri stroitel'stve zhilykh, obshchestvennykh i promyshlennykh zdaniy» [Album of technical solutions on application of the sewed penopolietilen by Izofom at the device of floating floors and in other building constructions for protection against noise and vibration at construction of the residential, public and production buildings]. Moscow: PK «StroiBiznes-Al'yans», 2017. 39 p.
9. Rao Natti S., Skott Nik R. Tekhnologicheskie raschety v pererabotke plastmass [Technological calculations in processing of plastic]. Saint-Petersburg: Professiya. 2013. 200 p.
10. Krendall I.B. Akustika [Acoustics]. Moscow: Lenand. 2017. 171 p.

References

1. Tekhnologiya polimernykh materialov [Technology of polymeric materials]. Under edition Kryzhanovskiy V.K. Saint-Petersburg: Professiya. 2011. 534 p.

**ISO FOM**  
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ БУДУЩЕГО!  
Качественная тепло-вибро-звукоизоляция широкого назначения

**ИЗОФОМ СОЗДАН СПЕЦИАЛЬНО ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА**

<p><b>Высокая прочность</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Устойчив к разрыву и деформации</li> <li>Термостойкий</li> <li>Стабильные характеристики</li> <li>Быстро восстанавливаемая структура</li> </ul>	<p><b>Эффективная изоляция</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Минимальное водопоглощение</li> <li>Паронепроницаемый</li> <li>Минимальная теплопроводность</li> <li>Отличные звуко-виброизоляционные показатели</li> </ul>	<p><b>Экологическая безопасность</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Нетоксичен, без запаха</li> <li>Устойчив к грибкам и бактериям</li> <li>Химически инертен по отношению ко всем видам строительных материалов</li> </ul>	<p><b>Оптимальный монтаж</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Легкость обработки, нарезки любой сложности</li> <li>Возможность монтажа</li> <li>Простота монтажа при выполнении строительных работ</li> </ul>
--	---	---	---

123298, г. Москва, ул. 3-я Хорошевская, д.18, корп. 2, комната 206 А  
Телефон: +7 (495) 374-80-50 Сайт: www.sba-msk.ru E-mail: info@sba-msk.ru

О.И. МАТВЕЕВА, канд. техн. наук (matveeva\_oi@mail.ru), А.Т. ВИНОКУРОВ, инженер (vin.alt@mail.ru), Л.С. САВВИНОВ, инженер (lubomir.05@mail.ru)

АО «Якутский государственный проектный научно-исследовательский институт строительства» (677000, г. Якутск, ул. Дзержинского, 20)

## Исследование теплотехнических характеристик экспериментальных образцов ограждающих конструкций, изготавливаемых по технологии двойного бруса

Применение в малоэтажном строительстве новых конструкций наружных стен требует обязательной апробации в натуральных условиях. Особенно это важно для районов с суровым климатом. Институтом проведены натурные экспериментальные исследования теплозащитных свойств ограждающих конструкций (стен) из двойного бруса в зимний период времени, выполнены расчеты по СП 50.13330.2012 теплотехнических характеристик ограждающих конструкций жилых малоэтажных домов для климатических условий Якутска. Результаты исследований показали недостаточность допущенных к производству геометрических параметров и теплотехнических характеристик наружных стен домов: установлены недостаточная толщина утеплителя, завышенная воздухопроницаемость и паропроницаемость наружных стен. На основе полученных экспериментальных и расчетных данных разработаны рекомендации по оптимизации конструктивных решений наружных стен малоэтажных жилых домов для климатических условий центральной Якутии.

**Ключевые слова:** двойной брус, стена наружная, сопротивление теплопередаче, теплотехнический расчет, воздухопроницаемость, паропроницаемость.

**Для цитирования:** Матвеева О.И., Винокуров А.Т., Саввинов Л.С. Исследование теплотехнических характеристик экспериментальных образцов ограждающих конструкций, изготавливаемых по технологии двойного бруса // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 46–51.

O.I. MATVEEVA, Candidate of Science (Engineering), (matveeva\_oi@mail.ru), A.T. VINOKUROV, Engineer (vin.alt@mail.ru), L.S. SAVVINOV, Engineer (lubomir.05@mail.ru). Yakutsk State Scientific Research and Design Institute of Civil Engineering, JSC (20, Dzerzhinskogo Street, Yakutsk, 677000, Russian Federation)

### Research in Thermal-Technical Characteristics of Experimental Samples of Enveloping Structures Produced According to the Technique of Double Beam

The use of new designs of external walls in low-rise construction requires the stringent testing under natural conditions. It is especially important for regions with hard climate. The institute conducted the full-scale experimental studies of thermal-protecting characteristics of enclosing structures (walls) made of double beams in the winter time; calculations of thermotechnical characteristics of enclosing structures of low-rise houses for climatic conditions of Yakutsk have been made according to SP 50.13330.2012. Results of the study showed insufficiency of geometric parameters and thermo-technical characteristics of external walls of buildings admitted for production: insufficient thickness of insulation, high air and vapour permeability of external walls. On the basis of experimental and calculated data obtained, recommendations on optimization of structural decisions of external walls of low-rise residential houses for the climatic conditions of the Central Yakutia have been developed.

**Keywords:** double beam, external wall, resistance to heat transfer, thermotechnical calculation, air permeability, vapour permeability.

**For citation:** Matveeva O.I., Vinokurov A.T., Savvinov L.S. Research in thermal-technical characteristics of experimental samples of enveloping structures produced according to the technique of double beam. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 46–51. (In Russian).

В Республике Саха (Якутия) ежегодно примерно 50% от вводимого годового объема жилья составляют объекты индивидуально-жилищного строительства. Однако качество большинства жилых домов не отвечает требованиям, предъявляемым к современному жилью по комфортности проживания, по обеспечению теплозащиты и экологичности, а также по снижению эксплуатационных затрат домов, в том числе на их отопление в зимний период времени.

Опыт внедрения новых видов ограждающих конструкций при возведении малоэтажных многоквартирных и многоэтажных многоквартирных жилых домов в центральной Якутии выявил ряд конструктивных ошибок, принятых в проектах с использованием легких и тонкостенных ограждающих конструкций. Показана значительная зависимость качества тонкостенных конструкций наружных стен от условий производства работ и квалификации рабочих.

Недостаточные изученность и техническая оценка применимости новых типов ограждающих конструкций и технологий их возведения приводит к серьезным про-

блемам и внушительным затратам на дополнительное утепление зданий уже после первого года эксплуатации. Негативным примером внедрения в строительство является освоение тонкостенных наружных стен из легких стальных конструкций (ЛСТК) [1]. Эффективным примером освоения относительно нового вида наружных стен при строительстве зданий в Якутске можно считать конструкции из газобетонных блоков автоклавного твердения, выпуск которых был налажен в 2015 г. на производственной базе СВФУ им. М.К. Аммосова. Детальная проработка конструктивных решений наружных стен и узловых соединений на уровне междуэтажных перекрытий позволила создать и реализовать проекты многоэтажных каркасно-монолитных зданий с удельными расходами тепловой энергии на отопление до 32,6% ниже требуемого [2].

Новые подходы к определению теплотехнических показателей ограждающих конструкций, изложенные в СП 50.13330.2012 (актуализированный СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий»), выявили, что фактические значения приведенного сопротивления теплопереда-

че ограждающих конструкций зданий, возведенных до введения нормативного документа, не соответствуют базовым требованиям [3–5]. Результаты натурных комплексных теплотехнических испытаний наружных жилых и общественных зданий г. Москвы, выполненных ГБУ «ЦЭИИС» в 2013–2016 гг., свидетельствуют о значительном отклонении фактических теплотехнических характеристик от проектных значений [6]. Анализ публикаций указывает, что освоение новых типов ограждающих конструкций и технологий их возведения требует обязательной апробации и адаптации к суровому климату Якутии.

В настоящее время предложено множество технологий возведения малоэтажных домов, из которых наиболее привлекательной по срокам строительства, комплектности изделий и транспортабельности является технология возведения малоэтажных домов из двойного бруса. Преимуществами предлагаемой технологии строительства являются высокое качество бруса за счет заводского изготовления, короткие сроки монтажа без подъемной техники и низкая стоимость строительства. Возведение домов по данной технологии наиболее приемлемо для малоэтажного строительства и хорошо зарекомендовало себя в Скандинавских странах, где ее используют более 20 лет. Несмотря на то что данная технология начала внедряться в практику строительства в России недавно, она очень быстро набрала популярность как у профессиональных строителей и специалистов, так и у частных застройщиков. Представленная технология строительства планируется к освоению в ООО «АЛМАС» (г. Якутск). В связи с этим институтом ЯкутПНИИС (АО) в 2016 г. проведен комплекс натурных теплотехнических испытаний ограждающих конструкций (наружных стен) на экспериментальном объекте, возведенном по проектным решениям производственно-технического отдела ООО «АЛМАС», теоретических исследований теплотехнических характеристик типового жилого дома с гаражом.

Стены из двойного бруса представляют собой собранную из отдельных элементов трехслойную конструкцию. Наружный и внутренний слои изготовлены из соединяемых между собой шпунтованных, строганных и высушенных в заводских условиях деревянных брусьев из сосны. Толщина брусьев от 44 до 70 мм, ширина от 140 до 180 мм. Внутренний слой между брусьями при строительстве жилых домов заполняется теплоизоляционным материалом «Эковата» (ТУ 5768-001-0089624084–2014). Он изготавливается из целлюлозных отходов (макулатуры) на производственной базе ООО «Вектор». Полости между брусьями заполняются непосредственно на строительной площадке. Толщина утеплителя принимается по расчету.

На производственной базе ООО «АЛМАС» смонтирован экспериментальный жилой блок с внутренними размерами 2,76×3,76 м, высота помещения 2,43 м с двухскатной кровлей, наружные стены которого выполнены из двойного бруса с утеплителем марки «Эковата Якутск». Перекрытия (чердачное и цокольное) выполнены трехслойными из обрезных досок с заполнением пространства между досками тем же теплоизоляционным материалом (рис. 1).

Характеристика ограждающих конструкций экспериментального объекта:

а) *стены наружные*: трехслойная конструкция, в которой внутренний и наружный слои выполнены из бруса 44×180 мм (сосна, коэффициент теплопроводности 0,14 Вт/(м·°С); плотность 500 кг/м<sup>3</sup> по результатам испытаний); внутренний теплоизоляционный слой – эковата марки «Экстра Якутск» толщиной 150 мм (коэффициент теплопроводности 0,044–0,047 Вт/(м·°С); плотность 35 кг/м<sup>3</sup> (по результатам испытаний));



Рис. 1. Общий вид экспериментального дома из двойного бруса

б) *цокольное перекрытие*: трехслойная конструкция, в которой верхний слой выполнен из доски шпунтовой толщиной 28 мм, внутренний теплоизоляционный слой – эковата толщиной 300 мм с пароветрозащитной изоляцией «Изоспан»; внешний слой перекрытия выполнен из обрезной доски толщиной 25 мм;

в) *чердачное перекрытие*: трехслойная конструкция, состоящая из обрезной доски толщиной 25 мм, пароветрозащитная изоляция «Изоспан», теплоизоляционный слой (эковата) толщиной 300 мм; наружный слой – доска обрезная толщиной 12 мм.

На объекте установлены окно глухое, из поливинилхлоридных профилей с двухкамерным стеклопакетом и двери деревянные филенчатые.

#### Методика исследования теплотехнических характеристик ограждающих конструкций на экспериментальном объекте

При проведении натурных испытаний определение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен экспериментального объекта выполнялось с помощью многоканального регистратора. Наблюдения проводились в весенний период года в течение 24 календарных дней. На однородных участках стен были установлены датчики для измерений температуры, влажности наружного и внутреннего воздуха, температуры на внутренней поверхности стен, на границах раздела трехслойной стены, тепловых потоков через конструкцию в соответствии с требованиями ГОСТ 26254–84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций», ГОСТ Р 54853–2011 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера».

Для наблюдений использован многоканальный измеритель-регистратор ТЕРЕМ-4.1 (ООО НПП «ИнтерПрибор»), предназначенный для измерения и регистрации температуры, влажности и плотности тепловых потоков. Прибор программируемый, автоматически регистрирует показания датчиков с заданным интервалом в установленный период. Регистрация измерений с датчиков в период с 08.04 по 22.04.2016 выполнялась с шагом 30 мин, всего зарегистрировано 285 измерений. При регистрации использованы следующие датчики:

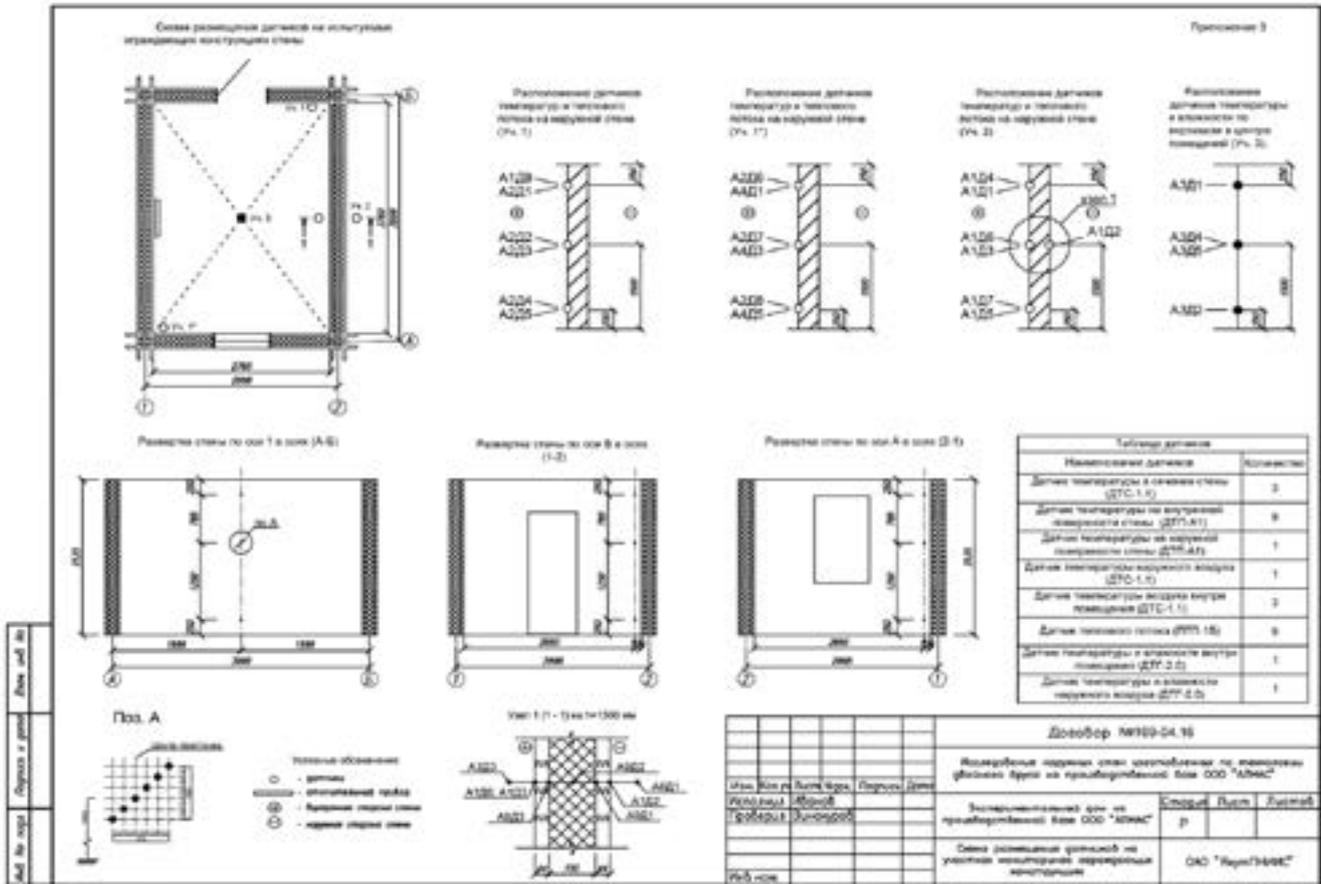


Рис. 2. Схема расположения контролируемых участков и размещения средств измерения при натуральных исследованиях теплотехнических характеристик экспериментального объекта

датчики температуры воздуха ДТС (диапазон измерения от  $-55$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ ); датчики температуры поверхности ДТП (диапазон измерения от  $-60$  до  $+300^{\circ}\text{C}$ ); датчик термогигрометрический ДТГ (диапазон измерения  $T = 0 - 30^{\circ}\text{C}$ ,  $U = 0-100\%$ ); датчики теплового потока ПТП (диапазон измерения  $10-1000 \text{ Вт/м}^2$ ).

Наблюдения выполнены по трем участкам стены (участок с окном, участок с дверью и участок глухой стены) и одному участку в центре помещения (рис. 2). Установка тепломеров произведена после предварительной телевизионной съемки. На весь период наблюдений температура внутри помещения поддерживалась в пределах  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  с помощью настенного электрического обогревающего конвектора с регулятором температуры RT-820.

### Результаты натуральных наблюдений на экспериментальном объекте

В период натуральных испытаний климатические параметры составили (по данным ЯУГМС на метеостанции в аэропорту г. Якутска): температура воздуха  $T_{\text{cp}} = -0,3^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{min}} = -14^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{max}} = +12^{\circ}\text{C}$ . Атмосферное давление:  $P_{\text{cp}} = 746,7 \text{ мм рт. ст.}$ ,  $P_{\text{min}} = 740,1 \text{ мм рт. ст.}$ ,  $P_{\text{max}} = 753,5 \text{ мм рт. ст.}$ . Относительная влажность воздуха  $U_{\text{cp}} = 50\%$ ,  $U_{\text{min}} = 16\%$ . Направление ветра – преобладающее:  $3\text{СЗ} - 15,1\%$ ,  $СЗ - 12,2\%$ . Скорость ветра:  $FF_{\text{cp}} = 2,3 \text{ м/с}$ ,  $FF_{\text{max}} = 7 \text{ м/с}$ .

Натурными испытаниями установлено, что приведенное сопротивление теплопередаче стены с оконным проемом (участок 1\*) составило:  $R_{\text{np}}^{\text{п}} = 2,59 \text{ (м}^2 \cdot \text{C}^{\circ}\text{) / Вт}$ ; стена с дверным проемом (участок 1) –  $R_{\text{np}}^{\text{п}} = 2,85 \text{ (м}^2 \cdot \text{C}^{\circ}\text{) / Вт}$ ; глухая стена (участок 2) –  $R_{\text{np}}^{\text{п}} = 3,09 \text{ м}^2 \cdot \text{C}^{\circ}\text{ / Вт}$ . Полученные значения  $R_{\text{np}}^{\text{п}}$  не соответствуют нормируемому значению приведенного сопротивления теплопередаче стен согласно

СП 50.13330.2012, составляющему  $R_0^{\text{норм}} = 5,09 \text{ м}^2 \cdot \text{C}^{\circ}\text{ / В}$  для г. Якутска. Перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции составил не более  $1^{\circ}\text{C}$ , что не превышает требуемого значения  $4^{\circ}\text{C}$  по СП 50.13330.2012.

После окончания натуральных испытаний на участке глухой стены на высоте  $1,4 \text{ м}$  были отобраны пробы внутреннего и наружного бруса и утеплителя для лабораторного определения фактической влажности и плотности материалов стен. Испытаниями материалов установлено: внутренний брус: фактическая толщина бруса  $44 \text{ мм}$ , плотность в сухом состоянии  $\gamma = 450 \text{ кг/м}^3$ ; фактическая влажность древесины  $W_{\text{бр}}^{\text{в}} = 7\%$ ; теплоизоляционный слой: фактическая толщина утеплителя  $165 \text{ мм}$ ; плотность в сухом состоянии  $\gamma = 35,5 \text{ кг/м}^3$ ; влажность утеплителя  $W_{\text{ут}} = 6,3\%$ ; наружный брус: фактическая толщина бруса  $44 \text{ мм}$ ; фактическая влажность древесины  $W_{\text{бр}}^{\text{нар}} = 8,5\%$ .

Коэффициент теплопроводности утеплителя «Эковата Якутск», использованного на объекте, был определен на пробах утеплителя, отобранных на разных участках стен. Испытания предоставленных проб эковаты в лабораторных условиях проведены по ГОСТ 7076–99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». В сухом состоянии ( $W=0\%$ ) коэффициент теплопроводности составил  $\lambda_{\text{эфф}} = 0,044 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$  для эковаты с плотностью  $35 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda_{\text{эфф}} = 0,046 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$  – для утеплителя с плотностью  $65 \text{ кг/м}^3$ . В состоянии естественной влажности ( $W=7,2-7,4\%$ )  $\lambda_{\text{эфф}} = 0,045 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$  для эковаты с плотностью  $35 \text{ кг/м}^3$  и  $\lambda_{\text{эфф}} = 0,047 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$  – для плотности  $65 \text{ кг/м}^3$ . Полученные значения  $\lambda_{\text{эфф}}$  не соответствуют данным ТУ 5768-001-15276707–2016 «Целлюлозный

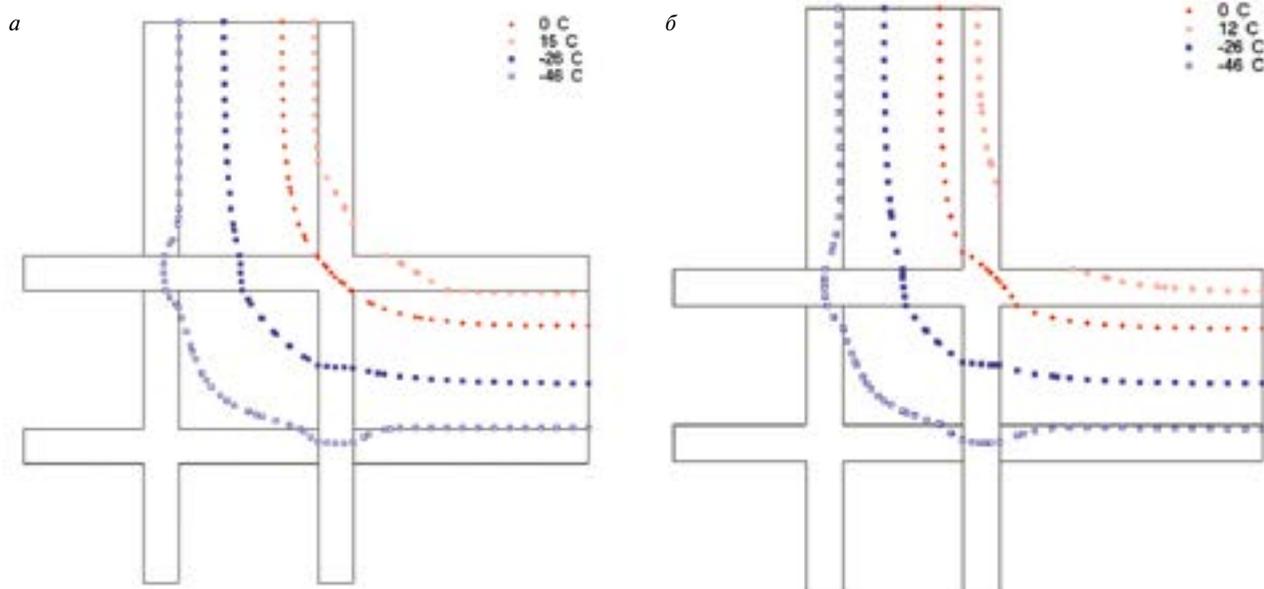


Рис. 3. Расчетное распределение температуры в выпуклом углу наружной стены жилого дома, изготовленной по технологии двойного бруса при толщине утеплителя 180 мм: а – № 1; б – № 4

утеплитель Эквата. Технические условия», согласно которому коэффициент теплопроводности материала в сухом состоянии должен составлять 0,041 Вт/(м·К). Несоответствие показателей качества теплоизоляционного материала нормативным требованиям указывает на значительную зависимость качества материала в построечных условиях и от квалификации рабочего, выполняющего теплоизоляционные работы.

Выполненными натурными исследованиями наружных стен из двойного бруса на экспериментальном объекте установлен ряд несоответствий теплотехнических характеристик стен требованиям СП 50.13330.2012, что послужило основанием для выполнения работ по усовершенствованию ограждающих конструкций из двойного бруса для строительства малоэтажных домов в климатических условиях центральной Якутии.

#### Теоретические исследования по оптимизации теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций из двойного бруса

Исследования по оптимизации теплотехнических характеристик ограждающих конструкций из двойного бруса выполнялись из условия обеспечения п. 5.1 СП 50.13330.2012, согласно которому теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

а) приведенные сопротивления теплопередаче элементов оболочки зданий с учетом теплопроводных неоднородностей должны быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);

б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении всех вышеперечисленных условий.

Расчеты по определению теплотехнических характеристик ограждающих конструкций выполнены для проекта индивидуального жилого дома с гаражом, принятого в ООО «АЛМАС» в качестве типового. Расчеты

выполнялись по СП 50.13330.2012, СП 23-101–2004, СП 230.1325800.2015, ГОСТ Р 54851–2011 с учетом климатических данных, приведенных в ТСН 23-343–2002. При проверке теплотехнических характеристик ограждающих конструкций типового жилого дома на первоначальном этапе архитектурно-планировочные параметры здания и конструктивные решения элементов приняты по типовому проекту. Обеспечение наименьших удельных характеристик расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий решалось за счет оптимизации ограждающих конструкций. Результаты выполненных расчетов, приведенные в таблице, продемонстрировали несоответствие  $R_0^{пр}$  проектных конструкций поэлементным базовым требованиям  $R_0^{норм}$ .

Расчеты распределения температуры по сечению угловых соединений стены из двойного бруса, выполненные по программе «SHADDAN 2D», показали, что линия нулевой температуры при толщине утеплителя 140 мм проходит по внутренней поверхности стены. Такое распределение температуры в зимний период года может стать причиной образования наледи на поверхности стен в угловых частях помещений. При толщине утеплителя 180 мм линия нулевой температуры размещается на внутреннем теплоизоляционном слое конструкции, что также является недостаточным для

Определяемое значение	Ограждающие конструкции		
	Стена	Цокольное перекрытие	Чердачное перекрытие
$R_0^{норм}$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт	5,09	6,65	6,65
$R_0^{пр}$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт (при проектной толщине теплоизоляционного слоя, мм)	3,58 (150)	6,62 (300)	6,55 (300)
Требуемая толщина утеплителя по расчету, мм	229	301	305
Принимаемая толщина утеплителя при оптимизации ограждающей конструкции, мм	230	300	300
Расчетное значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции при принятом проектном решении, м <sup>2</sup> ·°C/Вт	5,67	7,38	7,37

защиты материалов стены от увлажнения, приводящим к снижению теплозащитных свойств конструкции. Такое распределение температуры будет способствовать накоплению влаги в утеплителе и снижению теплотехнических показателей ограждающей конструкции. Таким образом, расчетами показана необходимость изменения конструкции за счет увеличения толщины утеплителя, но при этом существенно изменяются прочностные характеристики конструкции стены, в частности пространственная жесткость конструкции. Для противодействия расpirающим усилиям при нагружении стены из двойного бруса необходимо в конструкцию стен включать ребра жесткости. Последние будут служить теплопроводными включениями, ухудшающими теплотехнические характеристики конструкции (рис. 3, а, б).

Выполнен расчет удельной теплозащитной характеристики оболочки двухэтажного жилого дома с гаражом с проектными типами конструкций. Место строительство типового жилого дома – город Якутск Республики Саха (Якутия) с климатическими параметрами района строительства, принятыми по СП 131.13330: средняя температура отопительного периода от  $t_{от} = -20,9^{\circ}\text{C}$ ; продолжительность отопительного периода  $z_{от} = 252$  сут. Параметры микроклимата помещений: температура внутреннего воздуха в жилом доме  $t_{в} = 21^{\circ}\text{C}$  (для жилых помещений по ГОСТ 30494–2011); температура внутреннего воздуха в гараже  $t_{г} = 16^{\circ}\text{C}$  (для производственных помещений по ГОСТ 30494–2011); ГСОП =  $10559^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$  для жилого дома, для гаража –  $9299^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ . В гараже температура внутреннего воздуха отличается от помещений жилого дома, и в среднем за отопительный период она составляет  $t_{г,ср} = 16^{\circ}\text{C}$ . Согласно п. 5.2 СП 50.13330.2012 (формула 5.3) коэффициент, учитывающий отличие внутренней температуры гаража от температуры жилых помещений, составляет:  $n_1 = 0,881$ .

Удельная теплозащитная характеристика здания  $k_{об}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°C), рассчитывается по приложению Ж СП 50.13330.2012 и составила для рассматриваемого объекта  $0,254$  Вт/(м<sup>3</sup>·°C), что ниже  $k_{об}^{тп} = 0,296$  Вт/(м<sup>3</sup>·°C).

В типовом проекте жилого дома предусмотрены стены из двойного бруса с теплоизоляционным слоем «Эковата», общая толщина стены составляет 268 мм. Конструкция стен относится к тонкостенным, поэтому был выполнен расчет на теплоустойчивость стен в летний период, воздухопроницаемость, паропроницаемость. Коэффициент теплоусвоения наружной стены согласно расчету удовлетворяет требуемому нормативному значению показателя.

К параметрам комфортности жилых домов относится воздухопроницаемость ограждающих конструкций. Этот параметр очень важен для тонкостенных ограждающих конструкций, так как может стать причиной неприемлемости типа ограждающей конструкции для строительства в районах с суровым климатом. Расчетами определено, что сопротивление воздухопроницанию наружных стен из двойного бруса с утеплителем «Эковата» не обеспечивается ( $R_{н1} = 5,72$  (м<sup>2</sup>·ч·Па)/кг <  $R_{н1}^{тп} = 27,27$  (м<sup>2</sup>·ч·Па)/кг) и необходимо изменение конструкции наружной стены для выполнения требований п. 7.1 СП 50.13330.2012.

Вопросам влагонакопления в наружных стенах, изготовленных из материалов с разной воздухопроницаемостью и паропроницаемостью, уделяется в последние годы достаточно большое внимание [7–10]. Защита от переувлажнения материалов ограждающих конструкций имеет большое значение для сохранения теплозащитных характеристик в районах с суровым климатом. Так, увлажнение материалов ведет к значительному снижению теплозащитных характеристик ограждений, а защита утеплителя от увлажнения должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с

сопротивлением паропроницанию ( $R_{п}$ , м<sup>2</sup>·ч·Па/мг) внутренних слоев не менее требуемого нормативного значения. Сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения, определяемой в соответствии с п. 8.5 СП 50.13330.2012) должно быть не менее наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропроницанию:

а) требуемого сопротивления паропроницанию  $R_{н1}^{тп}$ , м<sup>2</sup>·ч·Па/мг (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации);

б) требуемого сопротивления паропроницанию  $R_{н2}^{тп}$ , м<sup>2</sup>·ч·Па/мг (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательной среднесезонной температурой наружного воздуха).

Расчетами установлено, что для принятой проектом конструкции наружной стены  $R_{н1}^{тп} = 1,66$  м<sup>2</sup>·ч·Па/мг, и  $R_{н2}^{тп} = 7,327$  м<sup>2</sup>·ч·Па/мг, что не соответствует расчетному значению, равному  $0,863$  м<sup>2</sup>·ч·Па/мг. Расчетами определено, что требуется изменение конструкции наружной стены, принятой в типовом проекте.

Для обеспечения нормативных требований показателей воздухопроницаемости и защиты наружных стен от влагонакопления рекомендовано в состав включать пенополистирольные вкладыши и пароветрозащитную изоляцию. Проверочные расчеты наружных стен оптимизированного состава показали соответствие всех показателей качества стен нормативным требованиям.

### Заключение

Натурные и теоретические исследования теплотехнических характеристик наружных стен жилых малоэтажных домов, возводимых по технологии двойного бруса, показали, что для обеспечения комфортных условий проживания тонкостенные конструкции должны отвечать комплексу нормативных требований по теплозащите, воздухопроницаемости и паропроницаемости. При использовании новых технологий и новых типов ограждающих конструкций для строительства в районах с суровым климатом должно уделяться особое внимание расчету, разработке конструкций наружных стен с обязательной апробацией их на экспериментальных объектах. Опыт освоения технологий возведения домов с новыми тонкостенными конструкциями в климатических условиях Якутии показывает, что в большинстве случаев недостаточная адаптация таких конструкций к местным климатическим условиям становится причиной значительных затрат по дополнительному утеплению домов.

### Список литературы

1. Корнилов Т.А., Герасимов Г.Н. О некоторых ошибках проектирования и строительства малоэтажных домов из легких стальных тонкостенных конструкций в условиях Крайнего Севера // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 3. С. 41–45.
2. Корнилов Т.А., Кычкин И.Р. Наружные ограждающие конструкции с применением автоклавного пенобетона для каркасно-монолитных зданий Якутии // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 15–19.
3. Лобов О.И., Ананьев А.И., Рымарев А.Г. Основные причины несоответствия фактического уровня тепловой защиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 11. С. 68–70.

4. Лобов О.И., Ананьев А.И. К вопросу нормирования уровня теплозащиты наружных стен зданий // *Градостроительство*. 2013. № 5 (27). С. 66–68.
5. Гайсин А.М., Самоходова С.Ю., Пайметькина А.Ю., Недосеко И.В. Сравнительная оценка удельных теплопотерь через элементы наружных стен жилых зданий, определяемых по различным методикам // *Жилищное строительство*. 2016. № 5. С. 36–39.
6. Крышов С.И., Курилик И.С. Проблема экспертной оценки тепловой защиты зданий // *Жилищное строительство*. 2016. № 7. С. 3–5.
7. Ройфе В.С. Расчет распределения влаги по толщине ограждающей конструкции в натуральных условиях // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 36–39.
8. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Зубарев К.П. Анализ расположения зоны наибольшего увлажнения в ограждающих конструкциях с различной толщиной теплоизоляционного слоя // *Жилищное строительство*. 2016. № 6. С. 8–12.
9. Куприянов В.Н., Петров А.С. Влажностное состояние ограждающих конструкций с учетом переменного значения паропроницаемости материалов // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 40–43.
10. Умнякова Н.П., Кузьмин В.А. Применение отражательной теплоизоляции в многослойных панелях с эффектом многократного отражения теплового потока // *Жилищное строительство*. 2016. № 6. С. 21–24.

#### References

1. Kornilov T.A., Gerasimov G.N. On some mistakes in the design and construction of low-rise buildings from light steel thin-walled structures in the conditions of the Far North. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 3, pp. 41–45. (In Russian).
2. Kornilov T.A., Kychkin I.R. External enclosing structures with the use of autoclaved concrete for frame-monolithic buildings of Yakutsk. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 15–19. (In Russian).
3. Lobov O.I., Anan'ev A.I., Rymarev A.G. The main reasons for the discrepancy between the actual level of thermal protection of the exterior walls of modern buildings are regulatory requirements. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 11, pp. 68–70. (In Russian).
4. Lobov O.I., Anan'ev A.I. To the issue of normalizing the level of thermal protection of the external walls of buildings. *Gradostroitel'stvo*. 2013. No. 5 (27), pp. 66–68. (In Russian).
5. Gaisins A.M., Samokhodova S.Yu., Paimet'kina A.Yu., Nedoseko I.V. Comparative assessment of specific heat losses through elements of external walls of residential buildings determined by different methods. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 5, pp. 36–39. (In Russian).
6. Kryshov S.I., Kurilyuk I.S. Problems of expert assessment of heat protection of buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 7, pp. 3–5. (In Russian).
7. Royfe V.S. Calculation of moisture distribution through the thickness of an enclosing structure under natural conditions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 36–39. (In Russian).
8. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Zubarev K.P. Analysis of the zone location of maximum moistening in the wall system with different thickness of insulation layer. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 6, pp. 8–12. (In Russian).
9. Kupriyanov V.N., Petrov A.S. Moisture condition of enclosing structures with due regard for variable value of vapor permeability of materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 40–43. (In Russian).
10. Umnyakova N.P., Kuzmin V.A. The use of reflective heat insulation in multilayer panels with effect of multiple reflection of a heat flow. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 6, pp. 21–24. (In Russian).

### Внимание, КОНКУРС!

16 июня 2017 г. стартовал III **Всероссийский инженерный конкурс в области нанотехнологий для студентов и аспирантов «ВИК.Нано 2017»**. Его участники представят проекты в наиболее перспективных технологических отраслях — альтернативной энергетике, аддитивных технологиях, композитных материалах и тонкопленочных покрытиях, биотехнологиях, а также предложат решения реальных задач, стоящих перед компаниями nanoиндустрии.

Организатором конкурса является **Фонд инфраструктурных и образовательных программ**. Фонд инфраструктурных и образовательных программ создан на основании Федерального закона «О реорганизации Российской корпорации нанотехнологий» от 27.07.2010 № 211-ФЗ. Целью деятельности Фонда является развитие инфраструктуры в сфере нанотехнологий, включая реализацию уже начатых РОСНАНО образовательных и инфраструктурных программ.

Деятельность Фонда направлена на поддержку и развитие всех российских предприятий nanoиндустрии, в том числе и не являющихся проектными компаниями РОСНАНО.

Участниками конкурса могут стать студенты и аспиранты, обучающиеся по инженерным и естественно-научным специальностям.

Заявки подаются при участии научных руководителей. Прием заявок осуществляется до 1 октября 2017 г.

К предварительному отбору и экспертизе привлекаются представители компаний nanoиндустрии.

Для победителей конкурса будет организован трехдневный технологический тур в один из крупнейших в Европе центр исследований и инноваций IMES с посещением лабораторий и чистых комнат. Будут также организованы встречи с экспертами и сотрудниками стартапов европейского инновационного кластера города Лёвен (Бельгия), а также проведена экскурсия по кампусу старейшего университета Бельгии KU Leuven.

Впервые Фонд провел конкурс ВИК.Нано в 2015 году. Его цель — вовлечение студентов и молодых специалистов в nanoиндустрию, создание дополнительных механизмов взаимодействия между технологическими компаниями и вузами.

**Оргкомитет ВИК.Нано**  
 olga.shitikova@rusnano.com  
 +7 495 988-53-88, доб. 1761  
<http://www.viknano.ru/>

УДК 330.322

С.Н. ОВСЯННИКОВ, д-р техн. наук, Т.А. СТЕПАНОВА, магистрант (tanya\_stepanova\_90@inbox.ru),  
У. ТОПЧУБАЕВ, магистрант, К.С. ОВСЯННИКОВ, магистрант

Томский государственный архитектурно-строительный университет (634003, г. Томск, Соляная пл., 2)

## Тепловая защита ограждающих конструкций быстровозводимых зданий на основе древесины

Предложена система домостроения из древесины, разработанная сотрудниками Томского государственного архитектурно-строительного университета. Она достаточно универсальна и в основном предназначена для предприятий с относительно небольшими производственными мощностями в районных центрах или сельских поселениях. Это позволит максимально использовать трудовые и природные ресурсы и минимизировать стоимость создаваемых объектов на селе. Разработанные конструктивные решения узлов и стыков предложенной системы домостроения были просчитаны с помощью программного комплекса TEMPER 3D температурными полями для определения приведенного сопротивления теплопередаче и температуры на внутренней поверхности ограждающих конструкций. Результаты расчетов предложенного конструктивного решения домов из объемных блоков показали высокие теплотехнические характеристики и отсутствие опасности выпадения конденсата на внутренней поверхности стен.

**Ключевые слова:** объемный блок, энергосбережение, температурное поле, деревянный каркас, тепловой баланс.

**Для цитирования:** Овсянников С.Н., Степанова Т.А., Топчубаев У., Овсянников К.С. Тепловая защита ограждающих конструкций быстровозводимых зданий на основе древесины // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 52–54.

S.N. OVSYANNIKOV, Doctor of Sciences (Engineering), T.A. STEPANOVA, Magistrand (tanya\_stepanova\_90@inbox.ru),  
U. TOPCHUBAEV, Magistrand, K.S. OVSYANNIKOV, Magistrand  
Tomsk State University of Architecture and Building (2, Solyanaya Square, Tomsk, 634003, Russian Federation)

### Thermal Protection of Enclosing Structures of Rapidly Erected Buildings on the Timber Basis

The system of timber housing construction developed by employees of the Tomsk State University of Architecture and Building is proposed. It is universal enough and basically intended for enterprises with small fabricating capacities in district centers or rural settlements. The system makes it possible to use maximally labor and natural resources and minimize the cost of objects constructed in villages. Developed structural decisions of nodes and joints of the proposed housing construction system were calculated with the help of the software system TEMPER with 3D temperature fields for determining the reduced resistance to heat transfer and the temperature on the internal surface of enclosing structures. The results of calculations of the proposed structural decision of houses made of three-dimensional blocks show high thermal-technical characteristics and the absence of danger of condensate formation on the internal surface of walls.

**Keywords:** three-dimensional block, energy saving, temperature field, timber frame, heat balance.

**For citation:** Ovsyannikov S.N., T. Stepanova.A., Topchubaev U., Ovsyannikov K.S. Thermal protection of enclosing structures of rapidly erected buildings on the timber basis. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 52–54. (In Russian).

Одной из самых актуальных проблем строительства является проблема энергосбережения, сокращения энергопотребления зданий [1]. В европейской практике строительства реализуется задача перехода к массовому применению технологий так называемого «пассивного дома», т. е. дома-термоса, в котором обеспечивается нулевой или даже положительный тепловой баланс здания, а работа систем отопления рассматривается в контексте управления внутренним климатом здания и воздухообменом во время пребывания людей в здании [2].

В Российской Федерации существует высокая потребность в экономичных быстровозводимых гражданских зданиях [3]. В большинстве регионов древесина может рассматриваться как основной материал для создания новых энергосберегающих архитектурно-конструктивных систем широкого назначения. Традиционные технологии строительства жилых и общественных

зданий из кирпича и бетона определили конструктивные пределы сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций до  $4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  [4, 5], достижение более высоких значений ограничивается конструктивными узлами – мостиками холода. На практике фактические значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в массовом строительстве составляют от  $1,7$  до  $3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  [6]. На повестке дня стоит задача создания конструктивных систем для строительства жилых, общественных и сельскохозяйственных зданий с показателями сопротивления теплопередаче до  $10 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , что позволиткратно уменьшить энергопотребление зданий, отказаться от традиционных решений теплоснабжения и решить проблему массового строительства на селе в районах, где отсутствуют сети тепло-, газоснабжения.

В Томской области целесообразно максимально использовать запа-

сы деловой древесины для местного производства строительных конструкций и домокомплектов на ее основе, использовать производственную базу деревопереработки и создать дополнительные рабочие места в районах добычи и переработки древесины.

С этой целью были разработаны три варианта принципиальных конструктивных решений несущих и ограждающих конструкций:

– каркасно-панельная конструктивная система для сельскохозяйственных зданий;

– панельная конструктивная система для строительства жилых зданий;

– объемно-модульная конструктивная система для строительства жилых и общественных зданий, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций. Ширина блоков принята  $2,4$  м для свободного перемещения по дорогам общего пользования.

Во всех вариантах использована перекрестно-диагональная кон-

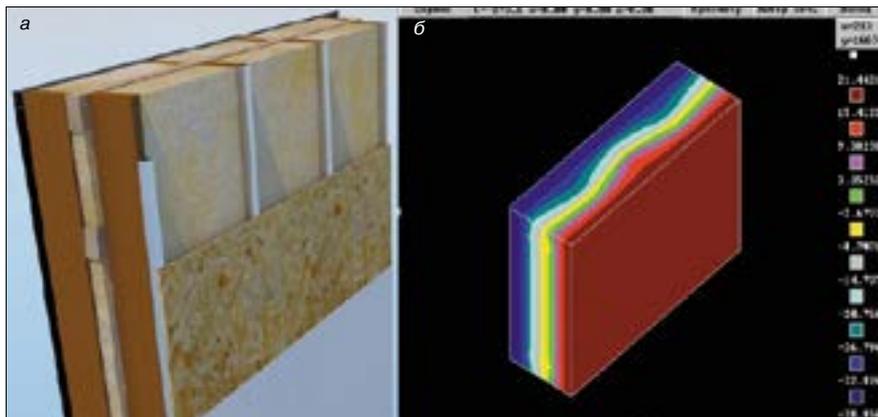


Рис. 1. а – конструкция наружной панели; б – распределение температурных полей по конструкции

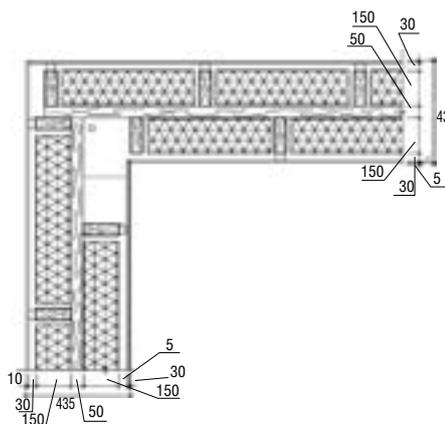


Рис. 2. Угловой стык наружных панелей

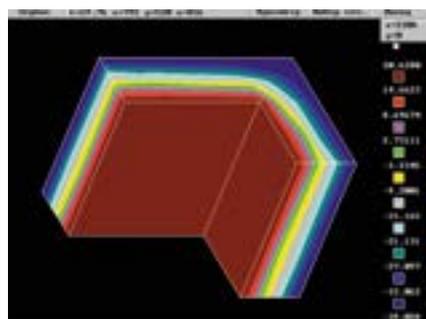


Рис. 3. Распределение температурных полей по поверхности

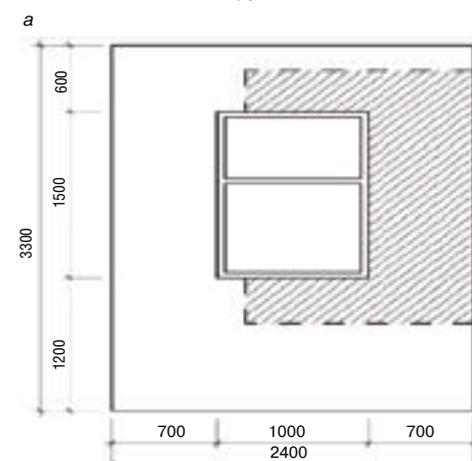


Рис. 4. а – конструкция блока с окном; б – распределение температурных полей

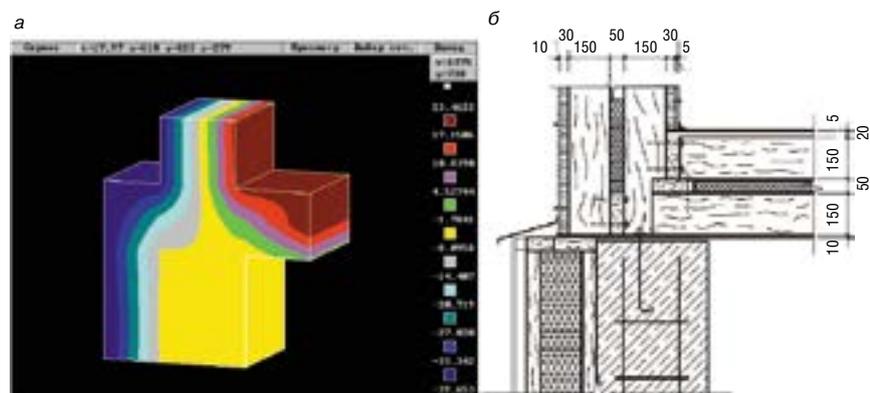


Рис. 5. а – температурные поля на фрагменте цоколя; б – конструктивное решение цоколя

струкция панелей стен, цокольных и чердачных перекрытий с толщиной эффективного утеплителя 350 мм, обеспечивающая сопротивление теплопередаче «по глади» около  $10 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . В качестве окон предложены конструкции в раздельных переплетах с приведенным сопротивлением теплопередаче  $1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  [7]. В откосах оконных проемов предусмотрена установка гигрорегулируемых воздухообменных клапанов, обеспечивающих автоматическое управление воздухообменом в здании.

В малоэтажных зданиях большое значение имеет конструктивное решение узлов сопряжения ограждающих конструкций. С этой целью выполнены расчеты трехмерных температурных полей и приведенного сопротивления теплопередаче плоских конструкций, двухмерных и трехмерных сопряжений панелей.

С учетом разнесенных ребер деревянного каркаса наружных панелей приведенное сопротивление теплопередаче конструкций с толщиной утеплителя 350 мм составило  $8,84 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Конструкция наружной панели и термограмма представлена на рис. 1.

Сечение вертикальных брусков  $50 \times 150 \text{ мм}$ , горизонтальные направляющие элементы имеют сечение  $50 \times 100 \text{ мм}$ . Разработанное новое конструктивное решение блока представляет собой деревянный каркас, заполненный волокнистым утеплителем. С наружной стороны панели предусмотрена ветрозащитная пленка, а с внутренней стороны применена теплоотражающая пленка [8], панели ГВЛ толщиной 10 мм.

Расчитан вертикальный стык сопряжения двух стеновых панелей. Приведенное сопротивление теплопередаче составило  $6,36 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Угловое сопряжение панелей представлено на рис. 2. Из термограммы видим, что крепежные элементы не оказывают существенного влияния на теплопотери через конструкцию узла. Температура на внутренней поверхности стены находится в пределах нормативного перепада. Минимальное значение температуры  $19,2 \text{°C}$  (рис. 3).

На рис. 4 представлено конструктивное решение (рис. 4, а) блока с оконным проемом в фасадной стене и результат расчета в программе TEMPER 3D. Результатом расчета фрагмента наружной стены блока с оконным проемом стало приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0 = 5,54 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Наружный облицовочный слой блоков – ЦСП. Материал обладает как теплозащитными, так и огнезащитными

свойствами. Распределение температурных полей по поверхности представлено на рис. 4, б.

По результатам расчета узла сопряжения конструкций цоколя получено приведенное сопротивление  $R_0 = 8,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Минимальная температура на внутренней поверхности стены соответствует нормально допустимому значению и равна  $17,9^\circ\text{C}$  (рис. 5, а). В качестве дополнительной утепляющей конструкции принята цокольная панель, опираемая на фундаментную балку (рис. 5, б). Цокольная панель состоит из деревянного каркаса с внутренним слоем волокнистого утеплителя толщиной 200 мм.

Представленное конструктивное решение объемных блоков обладает не только преимуществом быстрого возведения, но и высокими тепло-техническими характеристиками, по сравнению с домами из бревен или клееного бруса [9, 10]. Это подтверждается расчетами температурных полей узлов и фрагментов конструкций с помощью программы TEMPER 3D.

Для энергетической и стоимостной оценки представленной конструктивной системы было запроектировано жилое здание размером  $9,6 \times 10,8 \text{ м}$ . Расчет энергетического паспорта здания-представителя показал, что удельный расход тепловой энергии на отопление здания соста-

вит  $4,3 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{сут})$ , что в 5,3 раза ниже нормативного показателя для малоэтажных жилых зданий и позволяет отнести здание к классу энергосбережения А++ по СП 50.13330–2012 «Тепловая защита зданий».

На все конструктивные варианты составлены ведомости материалов, работ и сметы на изготовление и монтаж здания-представителя. В расчетах не учитывались затраты на подведение коммуникаций и благоустройство территории. Стоимость  $1 \text{ м}^2$  здания составила: по каркасно-панельному варианту – 24991 р.; по панельному варианту – 23638 р.; по объемно-модульному варианту – 29290 р.

### Список литературы

1. Овсянников С.Н., Степанова Т.А. Проектирование энергоэффективных зданий // *Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инвестирование и недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики»*. Томск. 2015. С. 253–256.
2. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов / Пер. с нем. А.Е. Ехлакова. М.: АСВ, 2008. 144 с.
3. Овсянников С.Н., Степанова Т.А. Энергосберегающие технологии строительства зданий с высоким классом энергоэффективности // *Материалы VI Международной научно-практической конференции «Инвестирование и недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики»*. Томск. 2016. С. 490–494.
4. Овсянников С.Н., Максимов В.Б. Конструктивное решение энергоресурсосберегающих наружных трехслойных панелей. *Инвестирование и недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Томск. 2015. С. 335–339.
5. Овсянников С.Н., Вязова Т.О. Теплозащитные характеристики наружных стеновых конструкций с теплопроводными включениями // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 24–27.
6. Овсянников С.Н. Энергоэффективность жилищного фонда: проблемы и пути решения // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инвестиции недвижимости: экономика, управление, экспертиза»*. Томск. 2011. С. 31–39.
7. Овсянников С.Н., Самохвалов А.С. Окна в отдельных переплетах с высокой теплозвукоизоляцией // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 42–43.
8. Умнякова Н.П. Применение новых инновационных материалов в строительстве // *Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики: Материалы VI Международной научно-практической конференции*. 2016. Ч 1. С. 26–33.
9. Хон С.В. Теплозащитные свойства брусчатых наружных стен зданий // *Актуальные проблемы строительства и экологии в Западной Сибири: Сборник материалов научно-практической конференции*. Тюмень. 2005. С. 97–100.
10. Левинский Ю.Б. Производство деревянных домов в России: современное состояние и перспективы развития // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2001. № 5. С. 2–8.

### References

1. Ovsyannikov S. N., Stepanova T. A. Design of energy efficient buildings. *Investing and real estate as a material basis of modernization and innovative development of the economy. Materials of V all-Russian scientific-practical conference with international participation*. Tomsk. 2015. Vol. 2. pp. 253–256. (In Russian).
2. Faist V. Osnovnye polozheniya po proektirovaniyu passivnykh domov [Basic provisions for the design of passive houses]. Moscow: ASV. 2008. 144 p.
3. Ovsyannikov S.N., Stepanova T.A. Energy-saving technologies of construction of buildings with high energy efficiency class. *Investments, construction, real estate, as the material basis of modernization and innovative development of economy: Materials of VI International scientific-practical conference*. Tomsk. 2016. pp. 490–494. (In Russian).
4. Ovsyannikov S. N., Maksimov V. B. Constructive solution to energy-saving three-layer outer panels. *Investing and real estate as a material basis of modernization and innovative development of the economy. Materials of V all-Russian scientific-practical conference with international participation*. Tomsk. 2015. Vol. 2, pp. 335–339. (In Russian).
5. Ovsyannikov S. N., Vyazova T.O. Heat-protecting characteristics of external wall structures with heat conductive inclusions. *Stroitel'nye Materialy*. 2013. No. 6, pp. 24–27. (In Russian).
6. Ovsyannikov S.N. Energy efficiency of housing stock: problems and solutions. *Materials of all-Russian scientific-practical conference with international participation "Investments real estate: economy, management and expertise"*. Tomsk. 2011. Vol. 2, pp. 31–39. (In Russian).
7. Ovsyannikov S.N., Samohvalov A.S. Windows in separate covers with high heat-sound insulation. *Stroitel'nye Materialy*. 2012. No. 6, pp. 42–43. (In Russian).
8. Umnyakova N.P. The use of new innovative materials in construction. *Investments, construction, real estate, as the material basis of modernization and innovative development of economy: Materials of VI International scientific-practical conference*. 2016. Vol. 1, pp. 26–33. (In Russian).
9. Hon S.V. Thermal insulation properties of buildings exterior walls of buildings. *Actual problems of building and ecology in Western Siberia: collection of materials of scientific-practical conference*. Tyumen. 2005, pp. 97–100. (In Russian).
10. Levinskiy Y.B. Manufacture of wooden houses in Russia: modern state and prospects of development. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*. 2001. No. 5, pp. 2 – 8. (In Russian).

УДК 699.842

Д.С. СКРИПЧЕНКО, магистрант (denis.tsuab@gmail.com),  
С.Н. ОВСЯННИКОВ, д-р техн. наук (ovssn@tsuab.ru)

Томский государственный архитектурно-строительный университет (634003, г. Томск, Соляная пл., 2)

## Методика проведения испытаний по определению динамического модуля упругости, динамического модуля сдвига и коэффициента потерь звукоизоляционных материалов

Описаны методы проведения измерения динамических характеристик звукоизоляционных материалов: динамического модуля упругости, коэффициента потерь, модуля сдвига, коэффициента Пуассона. Описана установка, в которой динамическое воздействие создается электродинамическим возбудителем колебаний, а статическая нагрузка задается прессовым оборудованием. В этом случае с увеличением статической нагрузки не происходит изменения динамического воздействия на материал, т. е. получены уточненные данные характеристик звукоизоляционных материалов. Особенность метода заключается в том, что испытания проводятся в горизонтальном положении вибратора в сочетании со статической опорой и пригрузом массой в 1,5 кг. Создание горизонтальных резонансных сдвиговых колебаний позволяет определить резонансную частоту и перепад виброускорений. Данная методика позволяет производить ряд испытаний; характеристики некоторых звукоизоляционных материалов, полученные на оборудовании Томского ГАСУ, представлены в работе.

**Ключевые слова:** динамические характеристики, динамический модуль упругости, коэффициент потерь, модуль сдвига, коэффициент Пуассона, звукоизоляционные материалы.

**Для цитирования:** Скрипченко Д.С., Овсянников С.Н. Методика проведения испытаний по определению динамического модуля упругости, динамического модуля сдвига и коэффициента потерь звукоизоляционных материалов // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 55–58.

D.S. SKRIPCHENKO, Magstrand (denis.tsuab@gmail.com), S.N. OVSYANNIKOV, Doctor of Sciences (Engineering) (ovssn@tsuab.ru)  
Tomsk State University of Architecture and Building (2, Solyanaya Square, Tomsk, 634003, Russian Federation)

### Methods of Tests Conduction for Determining the Dynamic Elasticity Modulus, Dynamic Shear Modulus, and Loss Factor of Sound Insulation Materials

Methods for measuring dynamic characteristics of sound insulation materials – dynamic elasticity modulus, loss factor, shear modulus, Poisson's ratio are described. The unit in which the dynamic impact is created by the electric-dynamic vibration generator and the static load is specified by pressure equipment is also described. In this case, the increase in the static load doesn't cause the change in the dynamic impact on materials, in other words, the verified data of characteristics of sound-insulation material have been obtained. The peculiarity of this method is that the test is conducted with a horizontal position of the vibrator, in combination with the static support and a counterweight of 1.5 kg. The creation of horizontal resonance shear vibrations makes it possible to determine the resonance frequency and differential of vibro-accelerations. This methodology makes it possible to conduct a series of tests; characteristics of some sound-insulation materials obtained at the equipment of the Tomsk State University of Architecture and Building are presented in this work.

**Keywords:** dynamic characteristics, dynamic elasticity modulus, coefficient of losses, shear modulus, Poisson's ratio, sound-insulation materials.

**For citation:** Skripchenko D.S., Ovsyannikov S.N. Methods of tests conduction for determining the dynamic elasticity modulus, dynamic shear modulus, and loss factor of sound insulation materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 55–58. (In Russian).

Существующие в настоящее время методики и оборудование для проведения испытаний по определению динамических характеристик звукоизоляционных материалов регламентированы ГОСТ 16297–80 «Материалы звукоизоляционные и звукопоглощающие. Методы испытаний». Принцип измерений основан на формировании колебательной системы с одной степенью свободы, для которой по частоте собственных колебаний определяется продольная жесткость образца исследуемого материала. Для этой цели обычно используется генератор с обратной связью, поддерживающий постоянную амплитуду виброускорения на столике электродинамического вибровозбудителя [1, 2].

Современное оборудование, применяемое лабораторией строительной физики Томского ГАСУ для данных испытаний, включает в себя электродинамический вибратор LDS V406, управляющий блок LASER LDS Dastron, акселерометры 4533-B, усилитель мощности PA100E (рис. 1). Управляющий блок в данном случае обеспечивает постоянную амплитуду колебаний столика вибратора.

Небольшие статические нагрузки на материал создаются массой пригруза, однако изменение массы пригруза существенно влияет на динамическую нагрузку на образец. Для испытаний материалов под различными, в том числе и большими статическими нагрузками, в установке ГАСУ используется вышеописанный стенд в совокупности с прессовым оборудованием ПМ-10 ПГ-4 (рис. 2).

Используя установку по схеме на рис. 1 (при малых статических нагрузках), динамический модуль упругости определяется по резонансной частоте  $f$  [4, 5]:

$$E_0 = \frac{4\pi \cdot f^2 \cdot M \cdot h}{F}, \quad (1)$$

где  $h$  – высота образцов под нагрузкой, м;  $F$  – площадь сечения одновременно испытываемых образцов, м<sup>2</sup>;  $M$  – масса пригруза, кг;  $f$  – резонансная частота, Гц.

Коэффициент потерь определяется по перепаду виброускорений на платформе и пригрузе:

$$\eta = \left[ \left( \frac{\ddot{x}_2}{\ddot{x}_1} \right)^2 - 1 \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

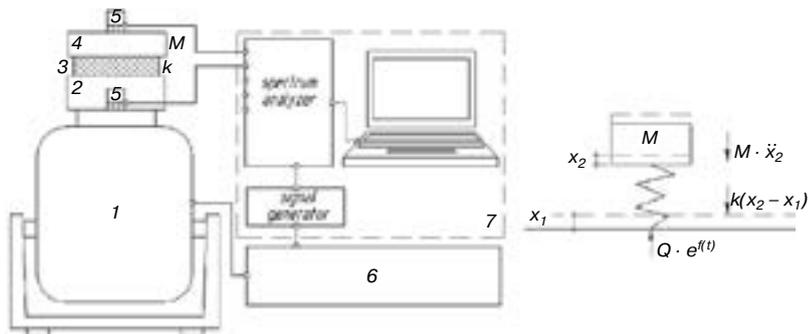


Рис. 1. Схема станда для определения параметров материалов при малых статических нагрузках по ГОСТ 16297-80: 1 – вибростенд; 2 – столик; 3 – образец; 4 – пригруз; 5 – акселерометр; 6 – усилитель мощности; 7 – система сбора и анализа данных [1, 3]

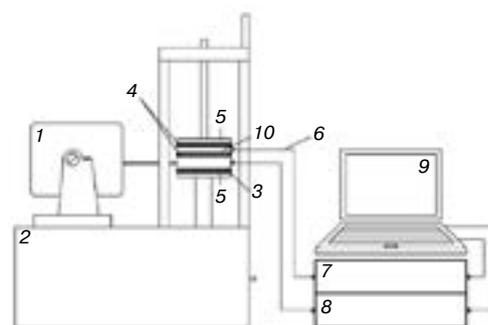


Рис. 2. Схема установки для определения модуля сдвига: 1 – электродинамический вибратор; 2 – опора; 3 – упругая прокладка; 4 – испытуемый образец; 5 – верхняя и нижняя плиты пресса; 6 – измерительные тракты; 7 – контроллер; 8 – усилитель мощности; 9 – компьютер; 10 – пригруз [7, 8]

где  $\dot{x}_1$  и  $\dot{x}_2$  – амплитуды виброускорения пригруза и платформы на частоте резонанса,  $m/c^2$ .

При определении динамических характеристик звукоизоляционных материалов при больших статических нагрузках целесообразно измерять динамический модуль сдвига. Испытания проводятся в горизонтальном положении вибратора, в сочетании со статической опорой и пригрузом массой в 1,5 кг. Испытание заключается в создании горизонтальных резонансных сдвиговых колебаний и определении резонансной частоты и перепадов виброускорений.

Формула для определения модуля сдвига имеет вид [6]:

$$G = \frac{2\pi \cdot f^2 \cdot M \cdot h}{F} \quad (3)$$

Измерения динамического модуля сдвига и динамического модуля Юнга позволяют определить динамическое значение коэффициента Пуассона [9, 10]:

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1 \quad (4)$$

Коэффициент относительного сжатия, используемый для определения толщины звукоизоляционного слоя под нагрузкой, определяется статическими испытаниями в том же прессовом оборудовании без приложения динамической нагрузки. Пресс ПМ-10 ПГ-4 позволяет измерять и статическую нагрузку, и перемещение подвижной платформы. Коэффициент относительного сжатия определяется по формуле:

$$\zeta = 1 - \frac{d}{d_0} \quad (5)$$

где  $d_0$  – толщина материала без нагрузки;  $d$  – толщина материала под нагрузкой.

Были проведены испытания образцов звукоизоляционных материалов при малых и больших статических нагрузках. В зависимости от их жесткости резонансная частота находилась в диапазоне от 49 до 530 Гц. В табл. 1 и на рис. 3, 4 представлены результаты испытания мате-

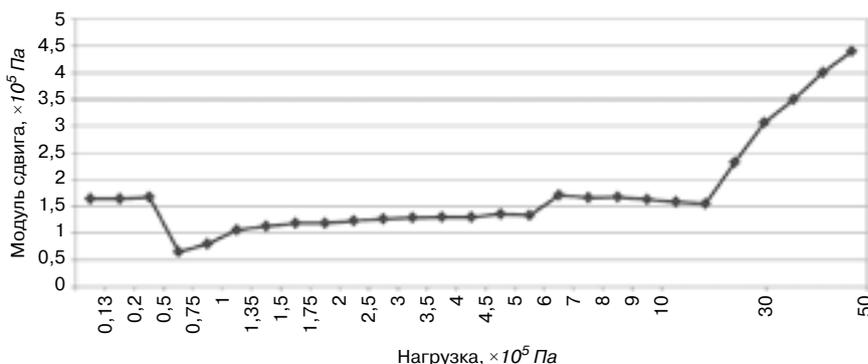


Рис. 3. Зависимость модуля сдвига от нагрузки при малых и больших статических нагрузках для образца 1

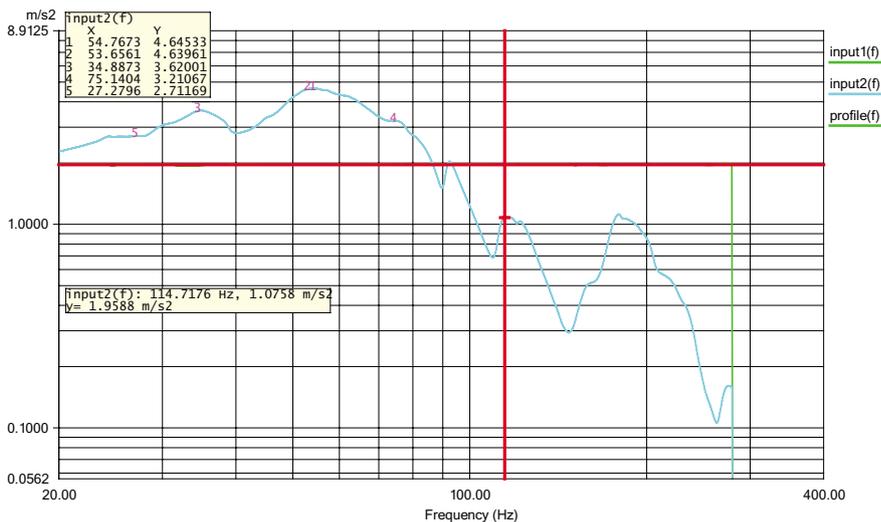


Рис. 4. Частотная характеристика при испытании образца 1 под нагрузкой  $10^5$  Па

риала «Пенополистирол» ПСБС-25 (газонаполненный материал на основе полистирола, его производных и сополимеров стирола), 10 мм (образец 1). В табл. 2 и на рис. 5, 6 представлены результаты испытания материала «Пенотерм» НПП ЛЭ(Э) (материал с закрытой ячеистой структурой, производимый из вспененного полиэтилена), 6 мм (образец 2).

Значение коэффициента Пуассона можно определить по формуле 4, измеряя динамический модуль упругости и динамический модуль сдвига при малых статических нагрузках. Так, для образца 1 коэффициент Пуассона составил 0,28; для образца 2 – 0,24. При больших статических нагрузках динамический модуль упру-

Таблица 1

Материал	$G \times 10^5$ Па	$f$ , Гц	Толщина, м	Давление, $\times 10^5$ Па	Коэффициент потерь, $\eta$
«Пенополистирол» ПСБС-25, 10 мм, площадью 0,01 м <sup>2</sup> , с пригрузом 1,5 кг (образец 1)	2,761	145,22	0,006	0,13	0,424
	3,738	158,9	0,005	0,2	0,411
	3,713	163,34	0,0047	0,5	0,4
	3,51	168	0,0042	0,75	0,365
	3,22	168,9	0,0038	1	0,465
	3,044	173,89	0,0034	1,35	0,336
	1,678	137,43	0,003	1,5	0,309
	1,69	137,95	0,003	1,75	0,273
	1,687	150,95	0,0025	2	0,25
	1,616	154,04	0,0023	2,5	0,233
	1,636	155,01	0,0023	3	0,223
	1,639	158,63	0,0022	3,5	0,217
	1,656	163,21	0,0021	4	0,199
	1,734	167	0,0021	4,5	0,209
	1,748	171,83	0,002	5	0,245
	1,772	177,5	0,0019	6	0,278
	1,96	191,76	0,0018	7	0,285
	1,951	196,86	0,0017	8	0,231
	2,064	208,74	0,0016	9	0,217
	2,129	218,92	0,0015	10	0,191
4,178	375,64	0,001	30	0,169	
6,046	521,77	0,0008	50	0,157	

Таблица 2

Материал	$G \times 10^5$ Па	$f$ , Гц	Толщина, м	Давление, $\times 10^5$ Па	Коэффициент потерь, $\eta$
«Пенотерм» НПП ЛЭ(Э), 6 мм, площадью 0,01 м <sup>2</sup> , с пригрузом 1,5 кг (образец 2)	3,735	145	0,006	0,13	0,383
	3,738	158,9	0,005	0,2	0,303
	3,713	163,34	0,0047	0,5	0,281
	3,51	168	0,0042	0,75	0,24
	3,21	168,9	0,0038	1	0,248
	3,044	173,89	0,0034	1,35	0,262
	1,678	137,43	0,003	1,5	0,26
	1,69	137,95	0,003	1,75	0,276
	1,687	150,95	0,0025	2	0,249
	1,616	154,04	0,0023	2,5	0,22
	1,636	155,01	0,0023	3	0,218
	1,639	158,63	0,0022	3,5	0,208
	1,656	163,21	0,0021	4	0,207
	1,734	167	0,0021	4,5	0,213
	1,748	171,83	0,002	5	0,21
	1,772	177,5	0,0019	6	0,361
	1,96	191,76	0,0018	7	0,372
	1,951	196,86	0,0017	8	0,4
	2,064	208,74	0,0016	9	0,42
	2,129	218,92	0,0015	10	0,467
4,178	375,64	0,001	30	0,267	
6,046	521,77	0,0008	50	0,673	

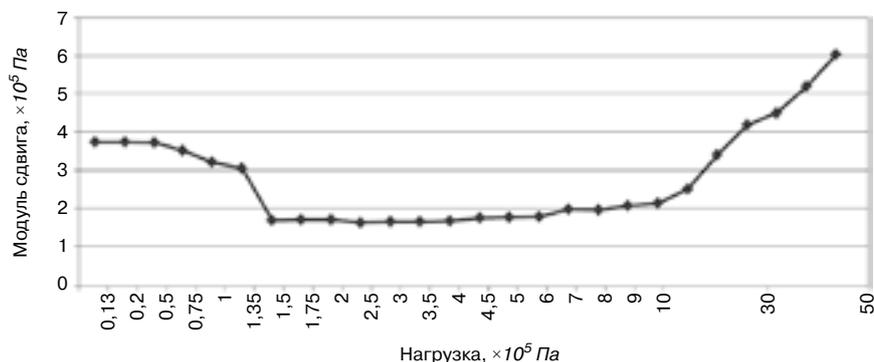
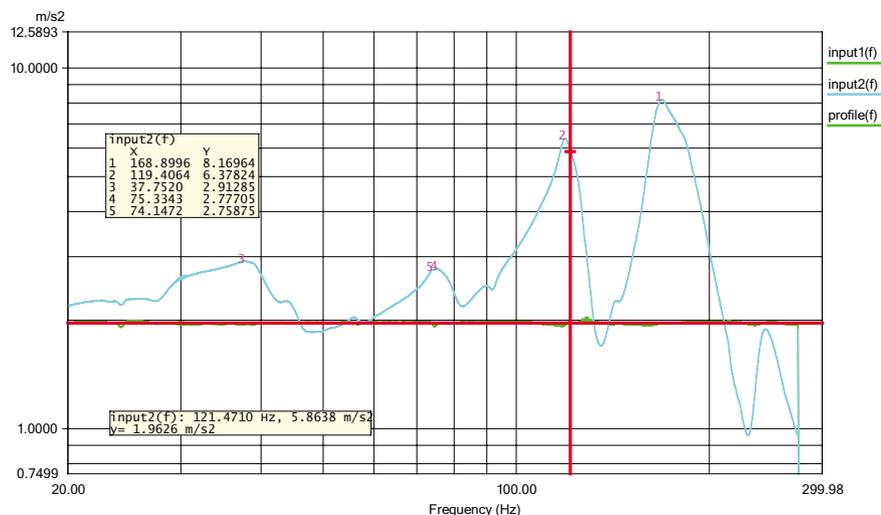


Рис. 5. Зависимость модуля сдвига от нагрузки при малых и больших статических нагрузках для образца 2


 Рис. 6. Частотная характеристика при испытании образца 2 под нагрузкой  $10^5$  Па

гости определяем по измеренному значению динамического модуля сдвига.

Очевидно, что при использовании звукоизоляционных материалов в качестве упругих прокладок их эффективность зависит от значения динамического модуля упругости. Из приведенных результатов можно увидеть, как происходит изменение динамической жесткости звукоизоляционных материалов при нарастании статической нагрузки. При достаточном малых статических нагрузках происходит некоторое падение модуля сдвига, что, вероятно, связано с ростом деформаций материала в связи со схлопыванием пузырьков воздуха из закрытых пор. Затем с ростом статической нагрузки происходит уплотнение материала и постепенное увеличение его динамической жесткости.

Предложенная установка вибростенда позволяет проводить испытания по определению динамического модуля упругости, коэффициента потерь и динамического модуля сдвига с использованием одного пригруза и прессового оборудования. Данная технология позволяет обеспечить постоянное динамическое воздействие независимо от прикладываемой статической нагрузки, тем самым позволяет получить зависимость динамических характеристик материалов от статического воздействия.

Список литературы

1. Росин Г.С. Разработка методов измерений и исследование динамических характеристик звуко- и виброизоляционных материалов. Дис...канд. наук. Москва, 1963.
2. Росин Г.С. Установка для измерений динамических характеристик упругих материалов резонансным методом // *Заводская лаборатория*. 1960. Т. 26. № 10. С. 1180–1181.
3. Заборов В.И., Росин Г.С. Измерение динамических параметров звукоизолирующих материалов // *Акустический журнал*. 1961. Т. 7. № 1. С. 92–94.
4. Скрипченко Д.С. Исследование динамических характеристик звукоизоляционных материалов при различных видах нагрузок // *Материалы II Международной научной конференции «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы»*. Томск, 2015. С. 139–142.
5. Скрипченко Д.С. Звукоизоляция в зданиях с учетом косвенной звукопередачи // *Материалы I Международной научной конференции «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы»*. Томск, 2014. С. 45–46.
6. Овсянников С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях. Томск: Издательство ТГАСУ, 2000. 378 с.
7. Овсянников С.Н., Скрипченко Д.С. Результаты экспериментальных исследований динамических характеристик звукоизоляционных материалов, применяемых в ограждающих конструкциях и стыках // *Материалы VI Международной научно-практической конференции «Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики»*. 2016. Ч. 1. С. 485–489.
8. Овсянников С.Н., Скрипченко Д.С. Исследование звукоизоляционных свойств материалов при различных статических нагрузках // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 4 (364). С. 40–44.
9. Клюкин И.И. Экспериментальное исследование звукоизолирующих прокладок // *Журнал технической физики*. 1950. Т. 20. № 5. С. 590–601.
10. Наумкин Н.И., Тартаковский Б.Д., Эфрусси М.М. Экспериментальное исследование некоторых вибропоглощающих материалов // *Акустический журнал*. 1959. Т. 5. № 2. С. 190–201.

References

1. Rosin G.S. Development of measurement methods and study of dynamic characteristics of sound and vibration insulation materials. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 1963.
2. Rosin G.S. Installation for measuring the dynamic characteristics of elastic materials by the resonance method. *Zavodskaya laboratoriya*. 1960. Vol. 26. No. 10, pp. 1180–1181. (In Russian).
3. Zaborov V.I., Rosin G.S. Measuring the dynamic parameters of soundproof materials. *Akusticheskiy zhurnal*. 1961. Vol. 7. No. 1, pp. 92–94. (In Russian).
4. Skripchenko D.S. Investigation of dynamic characteristics of sound-insulating materials for various types of loads. *Materials of the II International Scientific Conference "Youth, science, technology: new ideas and perspectives"*. Tomsk. 2015, pp. 139–142. (In Russian).
5. Skrichpenko D.S. Sound insulation in buildings in view of indirect sound transmission. *Materials of the I International scientific conference "Youth, science, technology: new ideas and perspectives"*. Tomsk. 2014, pp. 45–46. (In Russian).
6. Ovsyannikov S.N. Rasprostraneniye zvukovoi vibratsii v grazhdanskikh zdaniyakh [Propagation of sound vibration in civil buildings]. Tomsk: Publishing house of TASU. 2000. 378 p.
7. Ovsyannikov S.N., Skripchenko D.S. The results of experimental studies of the dynamic characteristics of soundproof materials used in enclosing structures and joints. *Materials of the VI International Scientific and Practical Conference "Investments, construction, real estate as a material basis for modernization and innovative development of the economy"*. Tomsk. 2016. Part 1, pp. 485–489. (In Russian).
8. Ovsyannikov S.N., Skripchenko D.S. Investigation of the soundproofing properties of materials under various static loads. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2016, No. 4 (364), pp. 40–44. (In Russian).
9. Klyukin I.I. Experimental study of sound-proof gaskets. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*. 1950. Vol. 20. No. 5, pp. 590–601. (In Russian).
10. Naumkin H.I., Tartakovskiy B.D., Efrussi M.M. An experimental study of some vibration-absorbing materials. *Akusticheskiy zhurnal*. 1959. Vol. 5. No. 2, pp. 190–201. (In Russian).

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

**В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести специальную литературу**

**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 классификация 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.



**Монография «Пестроцветные глины Гжельского месторождения»**

Авторы – Русович-Югай Н.С., Логинов В.М.

Под редакцией д-ра техн. наук Г.Н. Масленниковой

Монография посвящена изучению глин Гжельского месторождения с целью их использования в производствах тонкой керамики, майолики, народных промыслах, а также в архитектурной и художественной керамике. Представлены результаты геолого-разведочных работ. Показана структура и свойства глин, влияние гранулометрического, химического и минерального составов, структуры и текстуры на пластичность, пористость, огнеупорность. Изложены результаты исследования влияния различных технологических факторов и добавок на поведение различных глин Гжельского месторождения, предложена классификация глин.



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 628.517.2

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

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

## Акустические исследования звукоизолирующих покрытий на трубопроводы воздушных и газовых систем

Трубопроводы воздушных и газовых систем (воздуховоды систем вентиляции и кондиционирования воздуха, технологические трубы газовых систем и др.) часто являются источниками повышенного шума, негативно воздействующего на человека в местах его работы, проживания и отдыха. Практически единственным способом защиты от него является повышение звукоизоляции стенок трубопроводов посредством покрытий. Работа посвящена экспериментальным исследованиям таких покрытий, связанным с их акустическими возможностями (эффектами установки). Рассмотрены зависимости от типов, физико-технических параметров используемых материалов, толщины и последовательности слоев, а также от формы сечения, диаметра и толщины стенок трубопроводов. Установлено, что звукоизоляция плоской конструкции существенно ниже, чем изогнутой, в диапазоне низких частот, сравнима на средних и несколько выше на высоких частотах. Это исключает возможность использования теории звукоизоляции плоских конструкций для исследования звукоизоляционных свойств стенок трубопроводов с многослойными покрытиями.

**Ключевые слова:** трубопроводы воздушных и газовых систем, шум, звукоизолирующие покрытия.

**Для цитирования:** Гусев В.П., Сидорина А.В. Акустические исследования звукоизолирующих покрытий на трубопроводы воздушных и газовых систем // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 59–62.

V.P. GUSEV, Doctor of Sciences (Engineering) (gusev-43@mail.ru), A.V. SIDORINA, Engineer  
Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences  
(21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian)

### Acoustic Investigations of Insulation Coating on Piping Air and Gas Systems

Air and gas piping Systems (ducts and HVAC systems, technological pipes gas systems, etc.) are often sources of noise, negatively affecting the person in his field of work, living and recreation. Virtually the only way to protect from it is to improve the sound insulation of pipelines through walls coverings. The article is devoted to experimental investigations of such coatings, re-lated to their acoustic possibilities (effects). Considered depending on the types of physical and technical parameters of the materials used, the thickness and the sequence layers, as well as to the shape of the cross-section, diameter and wall thickness of the pipes. It is found that the sound in-sulation of the flat design is substantially lower than the curved, in the range of low frequencies, are comparable to the average and slightly higher than at high frequencies. This excludes the use of the theory of sound insulation of flat designs for sound insulation properties of walls research pipe-lines with multilayer coatings

**Keywords:** Piping air, gas systems, noise, soundproof cover.

**For citation:** Gusev V.P., Sidorina A.V. Acousticc investigations of insulation on piping air and gas sistems. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 59–62. (In Russian).

Исследовались покрытия отечественных изготовителей с использованием легких вспененных, фольгированных волокнистых материалов, эластомеров на основе каучука (резины) и пеностекла. Испытания выполнены на аэроакустическом стенде НИИСФ РААСН (в лаборатории защиты от шума вентиляционного и технологического оборудования), который обеспечивает возможность установки испытательных труб длиной 6,5 м в измерительной реверберационной камере объемом 120 м<sup>3</sup>. Для устранения передачи вибрации и возникновения помех при измерениях испытательные трубы от стен камеры, а также от подводящей звук трубы надежно изолированы. Более подробно экспериментальная установка описана в работах [1, 2].

В течение нескольких последних лет испытано множество покрытий на трубы круглого (преимущественно) и прямоугольного сечения. По полученным экспериментальным данным прежде всего было установлено, что на эффективность покрытий не влияет изменение уровня звука внутри испытательных труб (испытания производились при уровнях 117, 108 и 98 дБА). Вместе с тем она различается у идентичных покрытий при их установке на трубы с разной формой сечения [3, 4].

По эффективности покрытий из легкого вспененного полиэтилена на круглые и прямоугольные трубы можно отметить следующее. Она, во-первых, у идентичных покрытий отличается на 1–3 дБ в широком диапазоне измеряемых частот, во-вторых, у покрытий на круглые трубы она ниже, чем на прямоугольные, в-третьих, имеет весьма низкие значения, кроме области высоких частот.

По сравнению с покрытиями из легких вспененных материалов (термопластов) при сравнимой плотности предпочтительнее покрытия из стелянного и базальтового волокна. Их звукоизолирующие свойства в диапазоне средних и высоких частот значительно выше, но мало отличаются в низкочастотном диапазоне. Это видно на рис. 1, где сравниваются эффективности нескольких покрытий на круглую трубу диаметром 200 мм. Это сегменты из «ПЕНОПЛЭКСА» (h=40 мм,  $\gamma=35$  кг/м<sup>3</sup> – XPS; листовой пенофол (h=40 мм,  $\gamma=40$  кг/м<sup>3</sup>) – ПЭФ; листовой вспененный полиэтилен типа «Блэк Стар ДАКТ-Ал» (h=10 мм,  $\gamma=25$  кг/м<sup>3</sup>) – ПЭ; волокнистый материал типа «ISOVER» (h=100 мм,  $\gamma=22$  кг/м<sup>3</sup>) – ИЗ-1 и «ISOVER» (h=30 мм,  $\gamma=30$  кг/м<sup>3</sup>) – ИЗ-2 (названия материалов определены изготовителями). Здесь и далее h – толщина слоя,  $\gamma$  – плотность материала.

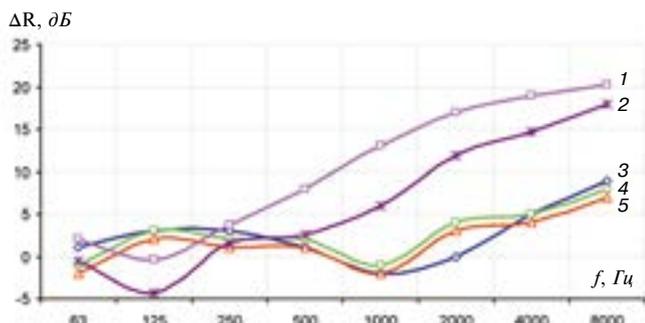


Рис. 1. Эффективность покрытий из вспененных и волокнистых материалов: 1 – ИЗ-1; 2 – ИЗ-2; 3 – XPS; 4 – ПЭФ; 5 – ПЭ

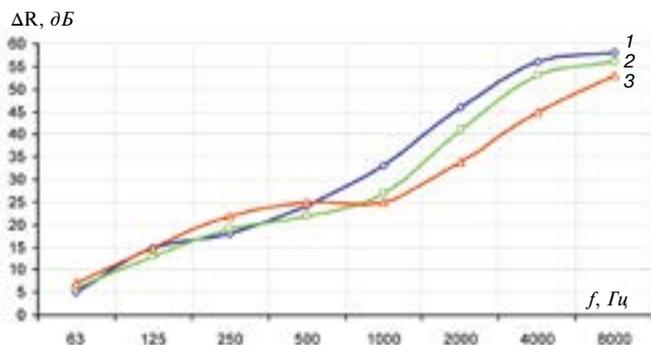


Рис. 3. Звукоизолирующие свойства покрытия в зависимости от толщины звукопоглощающего слоя (на трубе  $\varnothing$  200 мм): 1 – K-FLEX ST+K-FLEX ST +K-FLEX ST +K-FONIK GK +K-FONIK GK; 2 – K-FLEX ST+K-FLEX ST +K-FONIK GK+ K-FONIK GK); 3 – K-FLEX ST +K-FONIK GK+K-FONIK GK

Для покрытий из вспененных термопластов и волокнистых материалов характерными являются невысокие эффекты установки в диапазоне низких частот, где первостепенную роль играет масса. Этот недостаток отсутствует у комбинированных покрытий из пористых упругих эластомерных материалов на основе каучука типа K-FONIK с плотностью от 120 до 2000 кг/м<sup>3</sup>. Для иллюстрации и сравнения на рис. 2 представлены эффективности четырех вариантов комбинированных с использованием эластомеров (с разной толщиной материалов) и двух вариантов однослойных покрытий.

На изолирующие качества таких покрытий при неизменной общей массе и толщине существенно влияет последовательность расположения материалов разной плотности в конструкции. Например, эффективности покрытий, отличающихся последовательностью менее плотного материала K-FLEX ST ( $h=25$  мм,  $\gamma=45$  кг/м<sup>3</sup>) и более плотного K-FONIK GK ( $h=2$  мм,  $\gamma=2000$  кг/м<sup>3</sup>), могут различаться на 6–10 дБ.

При сохранении толщины плотного (тяжелого) материала (K-FONIK GK) и увеличении толщины слоя легкого (поглощающего звуковую энергию) материала (K-FLEX ST) эффективность покрытия возрастает на средних и высоких частотах (рис. 3). В диапазоне низких частот наблюдается обратная зависимость – ухудшение звукоизоляции трубы с таким покрытием.

Частотная характеристика звукоизоляции покрытия существенно изменяется, когда заменяется поглощающий звук материал, контактирующий с поверхностью трубы. Один из результатов такой замены иллюстрирует рис. 4, на котором представлены

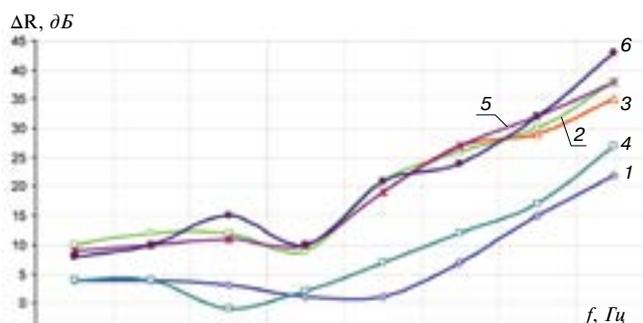


Рис. 2. Эффективность покрытий из эластомерных материалов: 1 – K-FLEX IGO ( $h=19$  мм); 2 – K-FLEX IGO (19 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + IN CLAD; 3 – K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + IN CLAD; 4 – K-FONIK 240 (25 мм); 5 – K-FONIK 240 (25 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм); 6 – K-FLEX ST (25 мм) + K-FLEX ST (25 мм) + K-FLEX GK (2 мм) + K-FLEX ST (25 мм) + K-FLEX GK (2 мм) + K-FLEX ST (25 мм) + IN CLAD

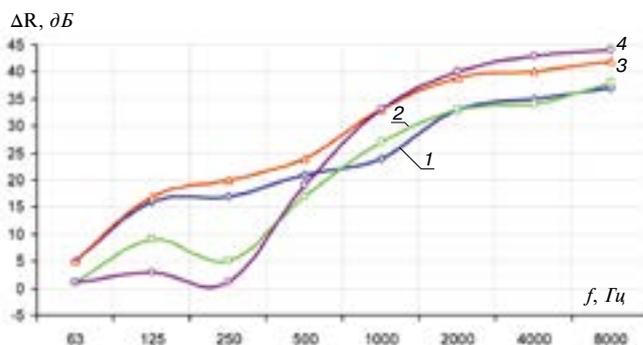


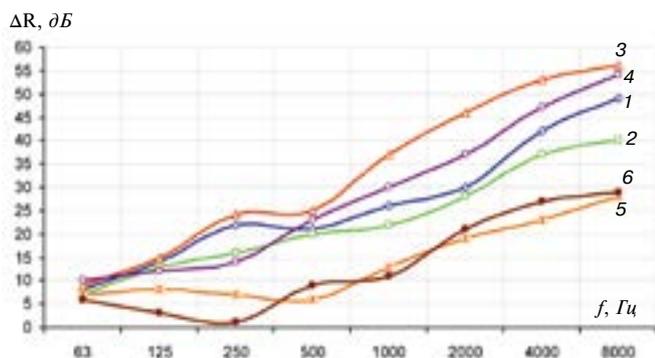
Рис. 4. Звукоизолирующие свойства покрытий в зависимости от типа звукопоглощающего материала (на трубе  $\varnothing$  200 мм): 1 – K-FLEX ST + K-FONIK GK; 2 – ПОЛИЭСТЕР + K-FONIK GK; 3 – K-FLEX ST + K-FONIK GK + K-FLEX ST + K-FONIK GK; 4 – ПОЛИЭСТЕР + K-FONIK GK + ПОЛИЭСТЕР + K-FONIK GK

частотные характеристики двух покрытий: с пористым каучуком K-FLEX ST ( $h=25$  мм,  $\gamma=45$  кг/м<sup>3</sup>) и волокнистым материалом Полиэстер ( $h=25$  мм,  $\gamma=45$  кг/м<sup>3</sup>).

Видно, что в первых двух октавах эффективность покрытия с эластомером выше, чем с волокнистым материалом, «прозрачным» с точки зрения звукоизоляции. На высоких частотах, где звуковая энергия в большей мере поглощается, а не отражается, проявляются его более высокие звукопоглощающие свойства, поэтому звукоизоляция конструкции в целом выше.

Один из важных практических выводов по результатам лабораторных испытаний заключается в том, что при проектировании звукоизолирующих покрытий целесообразно пользоваться данными, полученными при испытаниях на трубах с близкими конструктивными параметрами, поскольку существует зависимость их эффективности от диаметра и толщины стенки испытательной трубы (рис. 5).

В отличие от представленных конструктивно простых средств защиты от шума существуют более сложные с использованием пеностекла. Совместно с пеностеклом в них, как правило, применяется минеральная вата, а снаружи на их комбинации устанавливаются, как правило, кожухи из оцинкованных стальных листов разной толщины. Они пригодны для использования исключительно в сложных условиях: в



**Рис. 5.** Звукоизолирующие свойства покрытий на круглые трубы в зависимости от диаметра и толщины стенок: 1 – K-FLEX ST + K-FONIK GK на трубе  $\varnothing$  400 мм; 2 – K-FLEX ST + K-FONIK GK на трубе  $\varnothing$  200 мм; 3 – K-FLEX ST + K-FONIK GK + K-FLEX ST + K-FONIK GK на трубе  $\varnothing$  400 мм; 4 – K-FLEX ST + K-FONIK GK + K-FLEX ST + K-FONIK GK на трубе  $\varnothing$  200 мм; 5 – K-FONIK GK 072 на трубе  $\varnothing$  200 мм (толщина стенки 0,7 мм); 6 – K-FONIK GK 072 на трубе  $\varnothing$  200 мм (толщина стенки 2,0 мм)

открытом пространстве при значительных изменениях температуры воздуха и воздействии атмосферных осадков.

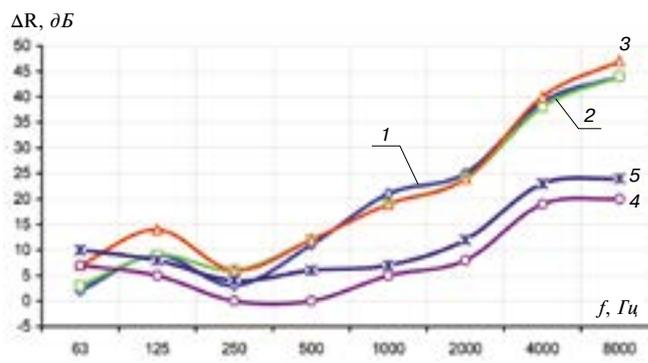
Покрытий с пеностеклом на трубы диаметром 160, 200, 325 и 500 мм испытано более полутора десятков. На рис. 6 в качестве примера представлены результаты испытаний пяти вариантов на трубе диаметром 325 мм.

По данным рис. 6–8 можно отметить сходство качественных характеристик (спектрального состава) эффективности покрытий с пеностеклом и эластомерными материалами, а также что первые, имея преимущество в высокочастотном диапазоне, проигрывают эластомерным покрытиям в области низких и средних частот.

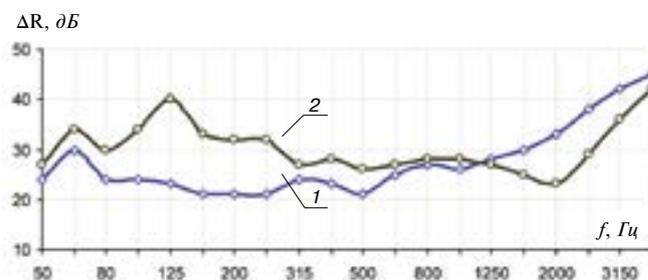
Строго говоря, приведенные на рис. 6 спектрограммы не пригодны для сравнения количественных характеристик конструктивно различающихся звукоизолирующих покрытий. Сравнение эффектов установок покрытий по величине возможно лишь в том случае, если определены критерии, с учетом которых она проводится. Такими критериями могут быть, например, их толщина, вес, стоимость. На практике любое средство снижения шума, как правило, предварительно оценивается с точки зрения акустики и экономики.

Испытания на экспериментальном стенде института, удовлетворяющем требованиям отечественных и международных стандартов, и формирующаяся база данных по акустическим характеристикам звукоизолирующих покрытий с использованием разнообразных отечественных материалов имеют важное практическое значение, поскольку без этих характеристик невозможно проектирование оптимальной с точки зрения акустики и экономики защиты от шума указанных трубопроводов. Роль такой оптимизации возрастает в условиях современного экономического положения и выбора импортозамещения приоритетным направлением развития страны.

Материалы экспериментальных исследований используются для завершения разработки (в рамках задания РААСН) физико-математических моделей системы труба – оболочка (труба с покрытием), расчетных методов, которые позволят прогнозировать звукоизолирующие свойства и проектировать эффективные конструктивные шумозащитные покрытия.



**Рис. 6.** Эффект установки покрытий на основе пеностекла: 1 – пеностекло ( $h=50$  мм,  $\gamma=170$  кг/м<sup>3</sup>), минеральная вата ( $h=50$  мм,  $\gamma=120$  кг/м<sup>3</sup>), сталь оцинк. ( $h=1$  мм); 2 – минеральная вата ( $h=50$  мм,  $\gamma=120$  кг/м<sup>3</sup>), пеностекло ( $h=50$  мм,  $\gamma=170$  кг/м<sup>3</sup>), сталь оцинк. ( $h=1$  мм); 3 – пеностекло ( $h=50$  мм,  $\gamma=170$  кг/м<sup>3</sup>), минеральная вата ( $h=80$  мм,  $\gamma=120$  кг/м<sup>3</sup>), сталь оцинк. ( $h=1$  мм); 4 – пеностекло ( $h=50$  мм,  $\gamma=170$  кг/м<sup>3</sup>); 5 – пеностекло ( $h=80$  мм,  $\gamma=170$  кг/м<sup>3</sup>)



**Рис. 7.** Звукоизоляция плоской и изогнутой конструкции: 1 – плоская; 2 – изогнутая

Для определения звукоизоляции плоских слоистых конструкций существует метод, основанный на положениях теории М.С. Седова [5], импедансный метод И.И. Боголепова [6]. В предположении возможной пригодности этих методов для описания процесса прохождения звука через стенку круглой трубы проведен специальный эксперимент.

Оценивалась звукоизоляция плоской и изогнутой стенки (модели трубы). Конструкция стенки в обоих случаях: два листа стали толщиной 0,5 мм с мастикой «Акцент 117» между ними (1 мм). Площадь конструкции сохранялась неизменной. Результаты испытаний иллюстрирует рис. 7. Для испытаний использовалась камера высокого уровня (КВУ) с объемом 99 м<sup>3</sup> и камера низкого уровня (КНУ) с объемом 58,5 м<sup>3</sup> стенда Вологодского государственного технического университета [7]. Размер проема в стене между КВУ и КНУ составлял 2500×1200 мм (для плоской конструкции) и 2500×800 мм (для изогнутой); 2500 мм – высота (А), а 1200 и 800 мм – ширина (Б) проема.

Сравнивая представленные на рис. 7 частотные характеристики, можно заключить, что звукоизоляция плоской конструкции существенно ниже, чем изогнутой, в диапазоне низких частот, сравнима на средних и несколько выше на высоких частотах. Это исключает возможность использования теории звукоизоляции плоских конструкций для исследования звукоизоляционных свойств стенок трубопроводов с многослойными покрытиями.

Список литературы

1. Гусев В.П., Сидорина А.В. Изоляция шума воздуховодов систем вентиляции покрытиями с использованием эластомерных и волокнистых материалов // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С.37–39.
2. Гусев В.П., Сидорина А.В. Акустические характеристики покрытий на воздуховоды и технологические трубы // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 35–38.
3. Гусев В.П., Лешко М.Ю. Защита от шума вентиляционного оборудования кожухами и звукоизолирующими покрытиями // *БСТ*. 2016. № 6. С.12–14.
4. Лешко М.Ю., Сидорина А.В. Защита жилой застройки от шумового воздействия газораспределительных станций // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 4. С. 152–156.
5. Кочкин Н.А., Шубин И.Л., Кочкин А.А. О прохождении звука в слоистых вибродемпфированных элементах // *Строительство и реконструкция*. 2016. № 3 (65). С. 119–124.
6. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Л.: Судостроение, 1986. 368 с.
7. Кочкин А.А., Шашкова Л.Э. О точности и достоверности измерений звукоизоляции в реверберационных камерах ВоГТУ // *Труды международной научно-практической конференции «Энергосбережение и экология в строительстве и ЖКХ, транспортная и промышленная экология» / Москва–Будва (Черногория)*. 2010. С. 181–183.

References

1. Gusev V.P, Sidorina A.V. Noise Isolation Sidorina ducts of ventilation systems using elastomeric coatings and fibrous materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 37–39. (In Russian).
2. Gusev V.P, Sidorina A.V. Acoustic characteristics of coatings for ducts and pipes/technology . *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 35–38. (In Russian).
3. Gusev V.P. Lesco M.Y. Noise protection ventilation equipment housings and insulation coatings. *BST*. 2016. No. 6, pp. 12– 14. (In Russian).
4. Leshko V.Yu., Sidorina A.V. Residential Protection from noise exposure of gas stations. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promishlennosti*. 2016. No. 4, pp. 152–156. (In Russian).
5. Kochkin n.a., Shubin I.I., Kochkin A.A. On the passage of sound in layered vibrodempfirovannyh elements. *Stroitel'stvo i Rekonstrukciya*. 2016. No. 3 (65), pp. 119–124.
6. Bogolepov I.I. Promishlennyya zvukoizolyaciya [Industrial soundproofing]. Leningrad: Sudostroenie.1986. 368 p.
7. Kochkin A.A., Shashkova L.E. About precision and accuracy of measurement of sound insulation in reverberational Chambers Vogt/. *Proceedings of the international scientific-practical Conference “Energy saving and ecology in construction and housing and communal services, transport and industrial ecology”*. Moscow–Budva (Montenegro). 2010, pp. 181–183.

ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

При поддержке Правительства Республики САХА (Якутия)

# КОТТЕДЖ-2017

МАЛОЭТАЖНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ. МЕБЕЛЬ. ИНТЕРЬЕР. ЛАНДШАФТ  
НЕДВИЖИМОСТЬ. ИПОТЕКА. СТРОИТЕЛЬСТВО. ИНВЕСТИЦИИ

26-28 сентября 2017 г. ЯКУТСК



Организаторы:



Выставочная компания  
Сибэкспосервис  
г. Новосибирск



Выставочная компания  
СахаЭкспоСервис  
г. Якутск

Тел: (383) 3356350 - многоканальный  
E-mail: vk ses@yandex.ru, www.ses.net.ru

16+

УДК 691.3:549.67

Х.А. КАЙС, инженер (hamza.qais@mail.ru), Н.Н. МОРОЗОВА, канд. техн. наук, (ninamor@mail.ru)  
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1)

## Свойства природного цеолита для получения высокопрочного мелкозернистого бетона

Приведены результаты исследований природного цеолита из Египта. Для установления сравнительных зависимостей показателей природного цеолита с Синайского полуострова Египта с минеральными добавками российского рынка строительных материалов были использованы природный цеолитсодержащий мергель Татарско-Шатрашанского месторождения, микрокремнезем, метакраолин. Установлено, что В/Т исследуемых порошков возрастает в следующей последовательности: цеолит из Египта, молотый песок, микрокремнезем, цеолитсодержащий мергель и метакраолин. Рассчитано предельное напряжение сдвига водно-минеральных паст по реотехнологическим показателям, определена пластифицирующая их чувствительность к разжижителям разной химической природы. Исследована пуццолановая активность природного цеолита по поглощению CaO, которая равна 510 г/л; определено изменение pH среды гидратирующейся цеолито-цементной суспензии, значение которой снизилось до 12,7. Получены мелкозернистые цементные бетоны прочностью от 75 до 86 МПа с содержанием природного цеолита из Египта в количестве 5 и 10%.

**Ключевые слова:** природный цеолит, pH среды, поликарбоксилатные, нафталинформальдегидные и минеральные добавки, высокопрочный мелкозернистый бетон.

**Для цитирования:** Кайс Х.А., Морозова Н.Н. Свойства природного цеолита для получения высокопрочного мелкозернистого бетона // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 63–68.

H.A. QAIS, Engineer (hamza.qais@mail.ru); N.N. MOROZOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (ninamor@mail.ru)  
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

### Properties of Natural Zeolite for Producing High-Strength Fine Concrete

Results of the study of natural zeolite from Egypt are presented. To establish comparative dependences of the rates of natural zeolite from the Sinai Peninsula of Egypt with mineral additives of the Russian market of building materials, natural zeolite-containing marl of the Tatarsko-Shatrashanskoe Deposit, silica fume, metakaolin were used. It is established that the water-aggregate ratio of powders studied increases in the following sequence: zeolite from Egypt, ground sand, silica fume, zeolite-containing marl, and metakaolin. The limit shear stress of water-mineral pastes is calculated according to reotechnological indexes, their plasticizing sensitivity to liquefiers of different chemical nature is determined. The pozzolanic activity of natural zeolite concerning CaO absorption which is equal to 510 g/l is researched, the change in pH of the medium of hydrating zeolite-cement suspensions is determined, the value of which declined to 12.7. Fine cement concretes with strength from 75 to 86 MPa with a content of the natural zeolite from Egypt – 5 and 10% have been obtained.

**Keywords:** natural zeolite, pH of medium, polycarboxylate, naphthalene-formaldehyde and mineral additives, high-strength fine concrete.

**For citation:** Qais H.A., Morozova N.N. Properties of natural zeolite for producing high-strength fine concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 6, pp. 63–68. (In Russian).

Высокопрочный бетон находит широкое применение в монолитном и в сборном строительстве. Он решает не только задачи высоких физико-механических свойств конструкций различных сооружений, но и позволяет уменьшить удельный расход материальных затрат на их строительство. Высокопрочный бетон рационален для конструкций сложной геометрии, для изготовления мостовых пролетов большой длины, для гидротехнического строительства, при сооружении нефтяных платформ в море; коррозионно-стойких покрытий для полов; сооружений для радиоактивных отходов; труб, которые работают под давлением и т. п. [1, 2].

Одним из необходимых условий получения и сохранения высоких показателей прочности бетонов на портландцементных вяжущих является использование кремнеземистых, кремнеземсодержащих или других химически активных минеральных добавок. За счет таких материалов в цементных бетонах ускоряются процессы твердения цементного камня в начальный период времени, упрочняется зона контакта между цементирующим веществом и заполнителями, изменяется капиллярно-пористая структура цементного камня; уменьшается его усадка, образуется дополнительный объем гидросиликатов; повышается трещиностойкость, атмосферостойкость бетонов [3–7].

К числу минеральных добавок для цементных бетонов относятся и природные цеолиты. Природный цеолит – это тип минерального сырья, содержащий большое

количество реактивных силикатов и алюминатов. Он широко используется в цементной промышленности в качестве смешанных цементов [8, 9]. Как и другие пуццолановые материалы, такие как микрокремнезем, зола-уноса, цеолит способствует росту прочности бетона в основном посредством пуццолановой реакции с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Поэтому, пуццолановая химическая активность этого вида материала представляет большой интерес.

Известно, что цеолиты относятся к каркасным силикатам. Особенностью их строения является то, что каждый тетраэдр  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  такого каркаса связаны между собой общими ионами кислорода, количество которых в каркасе составляет четыре; в результате формируется бесконечный трехмерный каркас. Поскольку атомы кислорода поделены соседними тетраэдрами, такой каркас остается электронейтральным. К каркасным силикатам относятся структуры различных модификаций кристаллического кремнезема. Однако в каркасных алюмосиликатах часть кремнекислородных тетраэдров заменяется алюмокислородными  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ . Такое замещение возможно из-за близких характеристик ионов  $\text{Si}^{4+}$  и  $\text{Al}^{3+}$ . Возникающий при этом дополнительный отрицательный заряд у  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  компенсируется катионами. Чаще всего эту функцию выполняют катионы щелочных и щелочно-земельных металлов. Такие катионы легко замещаются в отличие от Si и Al, которые не обмениваются в обычных условиях и называются тетраэдрическими или каркасными атомами. Катионы ще-

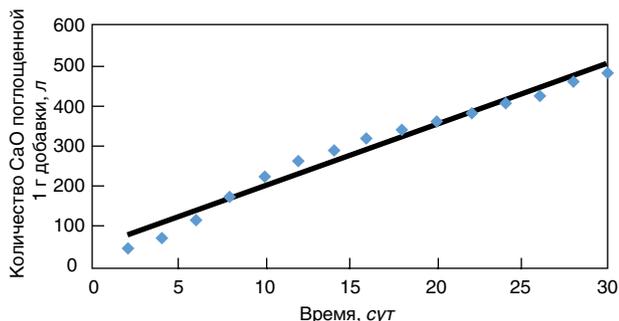


Рис. 1. Пуццолановая активность цеола из Египта

лочных и щелочно-земельных металлов, находящиеся в каналах каркаса, называются обменными [10].

В каркасных алюмосиликатах два алюмоокислородных тетраэдра не могут соединяться через общий ион кислорода (правило Ловенштейна), поэтому в наиболее простых структурах цеолитов при равном содержании тетраэдров  $[\text{SiO}_4]$  и  $[\text{AlO}_4]$  происходит их постоянное чередование. Это замечание очень важно для установления поведения цеолитов в вяжущих материалах. Поскольку цеолиты разлагаются в твердеющих цементных системах, они могут поставлять изолированные группы  $[\text{SiO}_4]$ ,  $[\text{Si}_2\text{O}_7]$  и др. [11].

В связи с вышеизложенным, целью работы явилась разработка состава мелкозернистого бетона с высокой прочностью при использовании в качестве химически активной добавки природного цеола из месторождения Синайского полуострова (Египет).

Природный цеолит, выпускаемый компанией «Gawish Import & Export Inc.» (Египет) в виде порошка фракционного состава от 0 до 0,08 мм, содержит 75% клиноптилолита с общей химической формулой:  $(\text{Na}^{2+}, \text{K}^{2+})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; при этом отношение оксида кремнезема к оксиду алюминия составляет от 4,8 до 5,4. В небольшом количестве в его составе имеются кварц, плагиоклаз, карбонаты и гидрослюды. Дисперсность порошка цеола составляет  $990 \text{ м}^2/\text{кг}$ , которая была определена методом воздухопроницаемости на приборе ПСХ-12.

Для установления сравнительных зависимостей показателей природного цеола из Египта с минеральными добавками российского производства были использованы цеолитсодержащий мергель (ЦСП) Татарско-Шатрашанского месторождения РТ, микрокремнезем (МК), метакаолин (МеК) и молотый строительный песок.

Цеолитсодержащий мергель, являющийся местным материалом для Республики Татарстан и достаточно широко исследованный, представляет собой горную породу светло-серого цвета, состоящую из клиноптилолита 14–28%, кальцита 18–28%, кварца 13–19%, опал-кристобалита 24–31%, монтмориллонита 16%, глинистых минералов 25% и слюды, полевого шпата. Эту породу, предварительно высушенную, дробили до 5 мм на щековой дробилке и затем измельчали на лабораторной мельнице пружинного типа; в результате полученный порошок имел удельную поверхность  $1700 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Микрокремнезем марки МК-85 (МК) является сопутным продуктом с Липецкого металлургического комбината; представляет собой отход ферросплавного производства серого цвета в виде мелких шарообразных частиц размером зерен  $0,01 \times 0,1 \text{ мкм}$ . По вещественному составу он на 90% состоит из аморфного кремнезема. Дисперсность МК, определенная методом воздухопроницаемости, составила  $4700 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Из числа искусственно полученных тонкодисперсных материалов был использован метакаолин месторождения Журавлиный Лог (МеК), в котором 90–93% аморфизованного каолинита, остальное – кристалли-

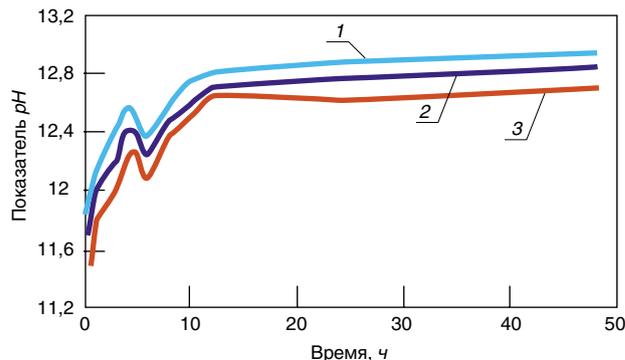


Рис. 2. Оценка pH-среды гидратации: 1 – контрольный образец (цемент без добавок); 2 – цемент+5% цеола; 3 – цемент+10% цеола

ческая фаза из частиц кварца, слюды. Удельная поверхность  $2450 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

К числу кремнеземистых материалов также относится строительный песок, который для исследований был предварительно промыт, высушен и измельчен до удельной поверхности  $380 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Количество оксида кремнезема в нем составляло 84%.

В качестве химических модификаторов в исследовании использованы:

- сухие порошкообразные добавки Полипласт СП-3 (СП-3) и суперпластификатор Melflux 2641 F (Mf);
- жидкие добавки: Карбоксинор Альфа (КА) на поликарбоксилатной основе; Micro Air 125 (Air) – раствор ПАВ с эффектом воздухововлечения; Арос – темно-коричневая жидкость на нафталинформальдегидной основе с плотностью  $1,145 \text{ кг}/\text{м}^3$  при  $20^\circ\text{C}$  (разработка кафедры ТСМИК Казанского ГАСУ).

По российской классификации (ГОСТ 25192–2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования») к высокопрочным относятся бетоны с классом по прочности при сжатии В55 и более. Мелкозернистыми принято называть бетоны на цементном вяжущем с плотным мелким заполнителем. Поэтому в работе в качестве заполнителя использовали фракционированный песок, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736–2014, а состав его подбирали так, чтобы средняя прочность была  $720 \text{ кгс}/\text{см}^2$ .

Известно, что минеральные добавки с активностью по поглощению оксида кальция более  $200 \text{ мг}/\text{л}$  принято называть активными (АМД) [12]. Из литературных источников известно, что цеолиты обладают не только сорбционными свойствами, но и пуццоланическими [13], которые для различных месторождений различны. Авторами проведена оценка его активности по поглощению CaO из насыщенного раствора извести (рис. 1).

В результате исследований установлено, что порошок цеола с Синайского полуострова характеризуется активностью по поглощению CaO за 30 сут  $510 \text{ г}/\text{л}$ .

Закономерность взаимодействия гидролизной извести с добавкой кремнезема можно проследить по изменению pH гидратирующейся цементной суспензии (рис. 2).

Наибольшее значение показателя pH среды, равное 12,93, имеет суспензия из чистого портландцемента. Это связано с большим количеством  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , которое выделяется при гидратации силикатных фаз портландцементного клинкера. В случае замены части портландцемента добавкой цеола количество гидроксидов кальция в продуктах гидратации снижается, и вместе с этим снижается значение pH до 12,7. Следует заметить, что в первые часы гидратации все составы показали непрерывный рост pH с незначительным проседанием в интервале от 4 до 6 ч, но она не стало ниже 12. Это гарантирует сохранность металлической арматуры в бетонах с применением вяжущего на основе портландцемента и цеола из Египта.

Поскольку высокие прочностные показатели бетонов могут быть получены на материалах, обладающих низкими значениями В/Т, на первом этапе работы были исследованы реотехнологические свойства водных паст различных минеральных порошков по методике проф. В.И. Калашникова [14], согласно которой использовали видоизмененный вискозиметр Суттарда. Вискозиметр представляет собой цилиндр из нержавеющей стали с внутренним диаметром 25 мм и высотой 50 мм. Изменение водопотребности и подвижности оценивали по величине расплыва пасты на границе гравитационной растекаемости. Для данного размера цилиндра расплыв пасты подбирался около 70 мм. Взвешивали навеску порошка для приготовления водно-минеральной пасты в количестве 100 г и перемешивали ее с водой или водным раствором химической добавки. На увлажненное стекло размером 150×150 мм устанавливали увлажненный цилиндр, в который заливали исследуемую водно-минеральную пасту и верх выравнивали металлическим ножом. После заполнения цилиндра поднимали и замеряли диаметр расплыва пасты. При каждом измерении фиксировали плотность полученной пасты.

Полученные при этом значения использовали для расчета предельного напряжения сдвига по следующей формуле:

$$\tau_0 = \frac{h \cdot d^2 \cdot \rho \cdot g}{kD^2}, \quad (1)$$

где  $\tau_0$  – предельное напряжение сдвига пасты, Па;  $h$  и  $d$  – соответственно высота и диаметр вискозиметра, м;  $\rho$  – плотность пасты, кг/м<sup>3</sup>;  $k$  – коэффициент, учитывающий перераспределение напряжений в вязкопластичных телах, для нашего случая он равен 2;  $D$  – диаметр расплыва пасты, м.

По результатам измерений определяли:

– водоредуцирующий индекс (ВИ), который характеризует уменьшение расхода воды в изореологической системе:

$$ВИ(V_d) = \frac{(V/T)_n}{(V/T)_k}, \quad (2)$$

или в % относительно контрольного:

$$\Delta V_d = \frac{(V/T)_n - (V/T)_k}{(V/T)_k} 100\%, \quad (3)$$

где  $(V/T)_n$  и  $(V/T)_k$  – соответственно водотвердое отношение пластифицированных и непластифицированных паст; – концентрационно-водоредуцирующую чувствительность ( $K_{ч}$ ) порошков к разжижителям определяли по формуле:

$$K_{ч} = \frac{\Delta V_d}{C}, \quad (4)$$

где  $C$  – концентрация добавки;  $\Delta V_d$  – водоредуцирующий индекс, %.

Полученные результаты исследования таких паст представлены в табл. 1.

Проанализировав полученные результаты, можно утверждать, что большое влияние на водопотребность материала оказывает не только его дисперсность, но и структура, природа происхождения. Как видно из результатов табл. 1, порошки цеолита и молотого песка имеют наименьшее В/Т отношение, тогда как порошки МК, ЦСП и МеК имеют большую водопотребность. Поскольку данное исследование подтвердило факт невысокой водопотребности цеолита, хотя он обладает достаточно высокой дисперсностью, его применение в качестве минерального наполнителя становится предпочтительнее перед другими исследованными в работе веществами. Водопотребность молотого цеолита срав-

Таблица 1

Наименование материала	Вид и количество добавки, %		В/Т	ВИ ( $V_d^*$ )	$\Delta V_d$ , %	$K_{ч}$	Плотность суспензии, кг/м <sup>3</sup>	$\tau$ , Па	Диаметр расплыва, мм
	вид	%							
Цеолит	–	–	0,4	–	–	–	1709	66,09	66
	СП-3	0,6	0,34	1,18	15	30	1770	69,85	
	КА	0,5	0,375	1,07	6,25	12,5	1814	71,56	
	Air	0,75	0,365	1,1	8,75	17,5	1762	69,54	
	Арос	0,75	0,367	1,09	8,25	16,5	1715	67,67	
	Mf	0,75	0,377	1,06	5,75	11,5	1680	64,95	
МК	–	–	1,3	–	–	–	1409	54,48	
	СП-3	0,6	0,96	1,35	26,2	43,7	1228	47,5	
	КА	0,5	0,8	1,63	38,5	64,2	954	33,78	
	Mf	0,75	1,3	1	0	0	1227	47,6	
МеК	–	–	0,97	–	–	–	1336	52,49	
	СП-3	0,6	0,82	1,18	15,5	31	1344	51,95	
	КА	0,5	0,94	1,03	3,1	6,2	1368	52,89	
	Mf	0,75	1	0,97	-3,1	0	1382	53,43	
ЦСП	–	–	0,97	–	–	–	1586	61,34	
	СП-3	0,6	0,884	1,1	8,87	17,7	1550	61,35	
	КА	0,5	0,916	1,06	5,56	11,1	1515	60,11	
	Mf	0,75	0,9	1,08	7,2	14,4	1483	56,55	
	Air	0,75	0,848	1,14	12,6	25,2	1414	54,69	
Молотый песок	–	–	0,41	–	–	–	1956	75,64	
	СП-3	0,6	0,3	1,33	25	50	2022	78,17	
	КА	0,5	0,27	1,48	32,5	65	1996	77,16	
	Mf	0,75	0,33	1,2	17,5	35	1996	77,16	

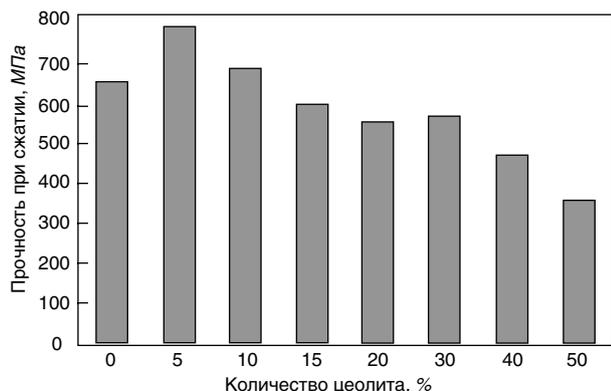


Рис. 3. Изменения прочности цементного камня от количества цеолита

нима со значением измельченного речного песка и составляет 0,4–0,41, тогда как их дисперсность отличается почти в 2,5 раза.

При оценке предельного напряжения сдвига исследованных водно-минеральных паст установлено, что порошки цеолита и молотого песка обладают большим значением, чем порошки МеК и МК. Хотя последние, имея высокую дисперсность, и проявляют хорошую текучесть. Вероятно, этот факт следует учесть при оптимизации толщины прослойки реологической матрицы при разработке составов высокопрочных бетонов.

Исследования по установлению влияния химических добавок с пластифицирующим эффектом на изменение реологических характеристик минерально-водных паст показали, что наибольшее снижение водопотребности цеолитовой пасты достигнуто при использовании модификатора СП-3. Химические модификаторы поликарбоксилатной основы (КА и Мf), которые, как известно, являются высокоэффективными добавками для цементных систем, оказались менее эффективны для порошка природного цеолита. Особо обращает на себя внимание поликарбоксилатная добавка КА. Она при малых дозировках становится стабилизатором пластификации, что, вероятно, связано с особенностью структуры цеолитового минерала – клиноптилолита. Практически противоположная картина наблюдается при модифицировании порошка МК. В этом случае наиболее эффективной оказалась добавка поликарбоксилатной основы, чем сульфонафталиновой.

При оценке реологической активности различных минеральных добавок для цементных бетонов было установлено, что природный цеолит обладает низкой водопотребностью. Этот факт позволил предположить, что его введение в портландцемент (при замене его части) не будет увеличивать водопотребность смеси и до определенного его значения не снизит прочность затвердевшего камня.

В связи с этим далее для установления влияния цеолита на прочностные свойства цементного камня были изготовлены контрольные образцы с содержанием от 5 до 50% с интервалом в 5 и 10%. Результаты исследова-

Таблица 2

Размер фракций, мм	Насыпная плотность фракции, г/см <sup>3</sup>	Пустотность фракции, %	Количество фракций в смеси, %
от 5 до 2,5	1,62	38	69
от 1,25 до 0,63	1,58	39	17,5
от 0,315 до 0,16	1,5	42	13,5
M <sub>кр</sub> = 2,6			

ний приведены на рис. 3. В/Т смеси всех составов было одинаковым и составляло 0,3.

Проанализировав данные рис. 3, можно заключить, что введение 5% цеолита в состав цемента приводит к существенному повышению прочности при сжатии (на 23%), а замена портландцемента на 10% способствует росту прочности, всего лишь на 5%. Дальнейшее увеличение цеолита (до 15%) в составе портландцемента приводит к падению прочности, и она становится меньше значения бездобавочного состава. Еще большее введение цеолита в цемент существенно снижает значение прочности цементного камня, а при замене половины цемента на цеолит прочность камня снижается практически на 50%.

В следующей части исследования были разработаны составы бетона на фракционированном песке с использованием природного цеолита. Для этого песок фракционировали и брали три фракции, характеристики которых даны в табл. 2. По выполненным ранее исследованиям был выбран прерывистый состав заполнителя [15]. Составы и свойства модифицированных бетонов на фракционированном песке приведены в табл. 3.

Как видно из результатов исследований табл. 3, введение 5% природного цеолита взамен портландцемента совместно с Мf способствует росту прочности мелкозернистого бетона на 15% при твердении образцов при ТВО и на 22% к 28 сут нормального твердения. Замена цеолитом 10% цемента приводит к росту прочности при сжатии всего на 3–5%. При этом дополнительное увеличение добавки Мf до 0,7% от массы вяжущего позволяет снизить В/Ц бетонной смеси, но прочность этого бетона меньше, чем бетона с 0,5% добавки Мf. Разработанные составы бетона показали высокую эффективность при пропаривании, как и бетоны с мергелями, содержащим небольшое количество цеолитового минерала [16, 17]. Цеолитовые добавки с большим количеством породообразующего минерала практически одинаково активируют процессы твердения при комнатной температуре и в гидротермальных условиях.

Представляя результаты исследования в графическом виде, можно легко установить границу между рядовыми и высокопрочными бетонами.

Как показывают результаты эксперимента, представленные на рис. 4, введение порошка природного цеолита совместно с добавкой Мf способствует росту прочности при сжатии. Представленные составы цементного бетона, модифицированного минеральной и химической добавками, имеют значения прочности выше критери-

Таблица 3

Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>			Melflux 2641 F, % от цемента	В/Ц	Прочность при изгибе, кг/см <sup>2</sup> , после		Прочность при сжатии, МПа, после	
цемент	песок фракционированный	цеолит			ТВО	28 сут НУ	ТВО	28сут НУ
570	1500	30	0,3	0,27	100,6	118,7	64,1	82
			0,5	0,26	105,8	123,6	70,1	86
60		0,3	0,27	95,7	102,6	60,1	79	
		0,5	0,26	91,1	119,8	65,5	81	
540			0,7	0,25	89,7	96,7	63,5	76

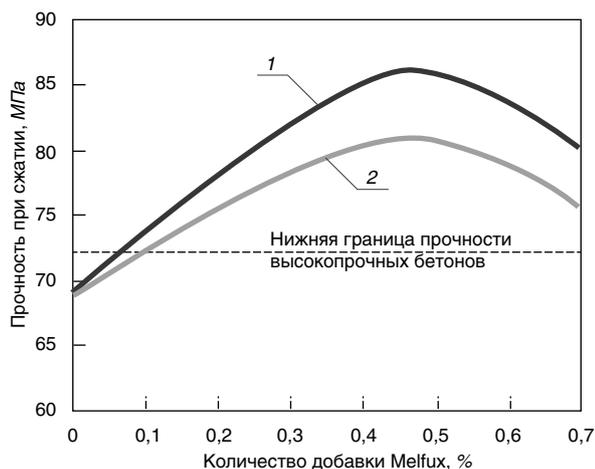


Рис. 4. Изменение прочности при сжатии модифицированного мелкозернистого бетона в возрасте 28 сут (НУ): 1 – с 5% цеолита, 2 – с 10% цеолита

ального показателя для высокопрочных бетонов, установленного ГОСТ 25192–2012. Можно предположить, что эффективное совместное действие химической и минеральной добавок связано со строением пористой структуры последней, ионообменной их активностью в водной среде, проявляя тем самым пуццолановую активность, как было показано ранее в исследованиях [18, 19].

#### Список литературы

- Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфилд А.В., Кардунян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 9–13.
- Shui Z.H., Zeng J.J., Liao Y., Leng Z., Influence of metakaolin on strength and microstructure of high-strength concrete // *Key Engineering Materials*. 2012. pp. 33–39.
- Бабков В.В., Полак А.Ф., Комохов П.Г. Аспекты долговечности цементного камня // *Цемент*. 1988. № 3. С. 14.
- Камалиев Р.Т., Корнеев В.И., Брыков А.С. Портландцемент с добавкой ультрадисперсных кремнеземов // *Цемент и его применение*. 2009. № 1. С. 86–89.
- Лесовик В.С., Агеева М.С., Денисова Ю.В., Иванов А.В. Использование композиционных вяжущих для повышения долговечности брусчатки бетонной // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2011. № 4. С. 52–54.
- Beushausen H., Alexander M., Ballimb Y. Early-age properties, strength development and heat of hydration of concrete containing various South African slags at different replacement ratios // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 29, pp. 533–540.
- Ивашченко Ю.Г., Зинченко С.М., Козлов Н.А. Структурообразующая роль органоминеральных добавок при твердении цементных композиций // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2013. Т. 3. № 1 (72). С. 168–171.
- Jitchaiyaphum K., Sinsiri T., Jaturapitakkul Ch., Chindaprasirt P. Cellular lightweight concrete containing high-calcium fly ash and natural zeolite. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. 2013. No. 20, pp. 462–71.
- Vogiatzis D., Kantiranis N., Filippidis A., Tzamos E., Sikalidi C. Hellenic natural zeolite as a replacement of sand in mortar: mineralogy monitoring and evaluation of its influence on mechanical properties. *Geosciences*. 2012. No. 2, pp. 298–307; doi:10.3390/geosciences2040298
- Алехина С.К. Использование цеолитов // *Вестник РАСХН*. 2004. № 6. С. 81–82.
- Овчаренко Г.И., Свиридов В.Л. Цеолиты в строительных материалах. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. 320 с.

Снижение расхода портландцемента в бетонах, в том числе и высокопрочных, возможно за счет большего количества исследуемого цеолита (более 10%).

#### Выводы.

Природный цеолит с большим содержанием клинтолитолита (75%) и высокой удельной поверхностью характеризуется практически одинаковой водопотребностью с портландцементом, что делает его эффективным заменителем цементных вяжущих.

- Установлено, что В/Т исследуемых порошков возрастает в такой последовательности: цеолит из Египта; молотый песок; микрокремнезем; цеолитсодержащий мергель и метакраолин.

- Введение малого количества природного цеолита взамен цемента совместно с модификатором Melflux 2641 F способствует росту прочности бетона на фракционированном песке на 15% (при ТВО) и на 22% (при НУ). Введение же 10% природного цеолита взамен цемента оставляет прочность камня на уровне бездобавочного состава.

- Полученные значения рН среды цеолитового цемента не ниже 12, что обеспечивает долговечность железобетонного изделия за счет сохранности металлических изделий.

- В результате разработаны составы мелкозернистого высокопрочного бетона с марками по прочности при сжатии М700, М800.

#### References

- Kapriellov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I., Sheinfeld A.V., Cardoman G.S., Kiselev Y.A., Prigorenko O.V. Modified high-strength concrete of B80 and B90 classes in monolithic structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 9–13. (In Russian).
- Shui Z.H., Zeng J.J., Liao Y., Leng Z., Influence of metakaolin on strength and microstructure of high-strength concrete. *Key Engineering Materials*. 2012, pp. 33–39.
- Babkov V.V., Polak A.F., Komokhov P.G. Aspects of the durability of the cement stone. *Cement*. 1988. No. 3, p. 14.
- Kamaliev R.T., Korneev V.I., Brykov A.S. Portland cement with the addition of ultrafine silica. *Tsement i ego primeneniye*. 2009. No. 1, pp. 86–89. (In Russian).
- Lesovik V.S., Ageeva M.S., Denisov V.Yu., Ivanov A.V. Using composite binder to improve the durability of paving stone concrete. *Vestnik of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2011. No. 4, pp. 52–54. (In Russian).
- Beushausen H., Alexander M., Y. Ballimb Early-age properties, strength development and heat of hydration of concrete containing various South African slags at different replacement ratios. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 29, pp. 533–540.
- Ivashchenko Yu.G., Zinchenko S.M., Kozlov N.A. Structure-forming role of organomineral additives in hardening of cement compositions. *Vestnik of Saratov state technical University*. 2013. Vol. 3. No. 1 (72), pp. 168–171. (In Russian).
- Jitchaiyaphum K., Sinsiri T., Jaturapitakkul Ch., Chindaprasirt P. Cellular lightweight concrete containing high-calcium fly ash and natural zeolite. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. 2013. No. 20, pp. 462–71.
- Vogiatzis D., Kantiranis N., Filippidis A., Tzamos E., Sikalidi C. Hellenic natural zeolite as a replacement of sand in mortar: mineralogy monitoring and evaluation of its influence on mechanical properties. *Geosciences*. 2012. No. 2, pp. 298–307; doi:10.3390/geosciences2040298
- Alekhhina S.K. The use of zeolites. *Vestnik of Russian Academy of agricultural Sciences*. 2004. No. 6, pp. 81–82. (In Russian).
- Ovcharenko G.I., Sviridov V.L. Tseolity v stroitel'nykh materialakh [Zeolites in construction materials]. *Barnaul: publishing house of Altai state technical University*. 2000. 320 p.

12. Барановская О.А. Природный цеолит в качестве пеногасителя // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2000. № 4. С. 42–44.
13. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. 318 с.
14. Морозова Н.Н., Хамза Абдулмалек Кайс. О роли природного цеолита в прочности мелкозернистого бетона // *Вестник Казанского технологического университета*. 2016. Т. 18. № 10. С. 64–68.
15. Калашников В.И., Коровкин М.О., Хвастунов Р.А., Тростянский В.М. Методика определения реологических свойств структурированных суспензий. *Материалы XXX научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава научных работников, аспирантов российских вузов*. Пенза, 1999. С. 54.
16. Дворкин Л.И., Гоц В.И., Дворкин О.Л. Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 432 с.
17. Морозов Н.М., Хохряков О.В., Морозова Н.Н., Хозин В.Г., Сагдатуллин Д.Г. Эффективность цеолитсодержащих мергелей в цементных бетонах // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2011. № 3. С. 134–138.
18. Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Реологические характеристики водных суспензий композиционного гипсового вяжущего и его компонентов // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2009. № 2. С. 263–268.
19. Андреева А.В., Буренина О.Н., Давыдова Н.Н., Даваасенгэ С.С., Саввинова М.Е. Влияние технологических параметров на структуру и прочность при сжатии модифицированных мелкозернистых бетонов // *Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2015. № 111. С. 1476–1488.
20. Baranovskaya O.A. Natural zeolite as a defoamer. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2000. No. 4, pp. 42–44. (In Russian).
21. Volzhensky A.V., Stambula V.I., Ferronskaya A.V. Gipsosementnoputzolanovye vyzhushchie, betony i izdeliya. [Gypsum cement puzzolanoic binders, concretes and products]. Moscow: Publishing house of literature on construction. 1971. 318 p.
22. Morozova N.N., Hamza Abdulmalik Qays. About the role of natural zeolite in strength fine-grained concrete. *Vestnik of Kazan Technological University*. 2016. Vol. 18. No. 10, pp. 64–68. (In Russian).
23. Kalashnikov V.I., Korovkin M.O., Khvastunov R.A., Trostyanski V.M. Method for determining the rheological properties of structured suspensions. *Materials XXX scientific and technical conference of the teaching staff of scientists, post-graduate students of Russian universities*. Penza. 1999, p. 54. (In Russian).
24. Dvorkin L.I., Gots V.I., Dvorkin O.L. Ispytaniya betonov i rastvorov. Proektirovanie ikh sostavov. [Testing of concrete and mortar. Designing their compositions]. Moscow: Infra-Inzheneriya. 2014. 432 p.
25. Morozov N.M. Khokhryakov O.V., Morozova N.N., Khozin V.G., Sagdatullin D.G. Efficiency of zeolite-containing marls in cement concretes. *Izvestiya of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2011. No. 3, pp. 134–138. (In Russian).
26. Sagdatullin D.G., Morozova N.N., Khozin V.G. Rheological characteristics of aqueous suspensions of composite gypsum binder and its components. *Izvestiya of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2009. No. 2, pp. 263–268. (In Russian).
27. Andreeva A.V., Burenina O.N., Davydova N.N., Devasena S.S., Savinov M.E. Influence of technological parameters on the structure and compressive strength of the modified fine-grained concrete. *Polytechnical network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2015. No. 111, pp. 1476–1488. (In Russian).



**НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА**

22-24 ноября 2017 г. Екатеринбург

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**СОВРЕМЕННЫЙ АВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН**



Соорганизатор



Генеральный спонсор компания



Конференция приурочена к 10-летию создания Национальной Ассоциации производителей Автоклавного Газобетона, и по традиции затронет широкий круг вопросов отрасли производства автоклавного газобетона:

- Развитие отрасли автоклавного газобетона в условиях спада строительства. Статистика производства. Место на рынке стеновых материалов. Прогноз развития рынка АГБ. Особенности производства и применения на постсоветском пространстве.
- Продажи в условиях кризиса. Стратегия продвижения ячеистого бетона в условиях развития конкурентных стеновых материалов. Конкуренция внутри отрасли. Развитие методик продаж.
- Оптимизация производства автоклавного газобетона. Применение новых материалов, оборудования и технологий, позволяющих сократить производственные издержки и повысить качество выпускаемой продукции. Информационные технологии как инструмент для оптимизации производства.
- Расширение номенклатуры выпускаемой продукции. Новая продукция из автоклавного газобетона. Изменение формы блока с целью повышения герметичности кладки. Плиты и перемычки из АГБ. Теплоизоляционные ячеистые бетоны автоклавного твердения: особенности производства, существующие и потенциальные области применения. Сборно-монолитные перекрытия с внешним армированием растянутой зоны тонкостенной несъемной опалубкой.

- Совершенствование методов испытания автоклавного газобетона. Оценка прочности при испытании блоков, уточнение масштабных коэффициентов.
- Исследование процессов формирования газобетонной структуры. Изучение физических процессов, протекающих при автоклавной обработке газобетона. Модификация состава и структуры введением комплексных добавок.
- Проблемы применения автоклавного газобетона. Изучение трещинообразования в конструкциях из автоклавного газобетона, выработка методов повышения трещиностойкости. Применение в помещениях с влажными и мокрыми режимами эксплуатации. Армирование кладки из АГБ. Материалы для армирования.
- Пенополиуретановый клей как альтернатива цементно-песчаным смесям. Опыт применения и ассортимент ППУ-составов. Оценка прогнозной долговечности ППУ кладочного шва в АГБ кладке. Прочностные и деформационные характеристики кладки АГБ на пенополиуретановом клее.
- Изменение нормативной базы производства и применения АГБ.

Оргкомитет конференций: +7 904 634 38 88; e-mail: as@gazo-beton.org; http://gazo-beton.org; http://naag.pf. Контактное лицо: Анастасия Смирнова

УДК 693.54

А.С. БАЛЫКОВ<sup>1</sup>, инженер, Т.А. НИЗИНА<sup>1</sup>, д-р техн. наук (nizinata@yandex.ru);  
Л.В. МАКАРОВА<sup>2</sup>, канд. техн. наук (mak.78\_08@inbox.ru)

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68)

<sup>2</sup> Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)

## Критерии эффективности цементных бетонов и их применение для анализа составов высокопрочных композитов\*

Разработаны критерии эффективности высокопрочных и рядовых бетонов с привязкой к основным характеристикам применяемого вяжущего (активности и расходу портландцемента, нормальной густоте цементного теста и др.) с учетом влияния основных факторов (водоцементного отношения, реотехнологических показателей и удобоукладываемости бетонной смеси, плотности бетона, экономических затрат) на основную механическую характеристику – предел прочности при сжатии. Установлены граничные значения предлагаемых показателей, характеризующие переход к передовым технологиям бетоноведения (высокопрочным композитам, самоуплотняющимся бетонным смесям и др.). Произведена апробация показателей при анализе составов модифицированных мелкозернистых бетонов на природном и техногенном заполнителях. На основе разработанных критериев показана эффективность введения в состав вяжущего значительного количества тонкодисперсной мраморной муки и модифицирования составов активными минеральными добавками.

**Ключевые слова:** высокопрочный мелкозернистый бетон, цементное вяжущее, активность, критерии эффективности.

**Для цитирования:** Балыков А.С., Низина Т.А., Макарова Л.В. Критерии эффективности цементных бетонов и их применение для анализа составов высокопрочных композитов // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 69–75.

A.S. BALYKOV<sup>1</sup>, Engineer, T.A. NIZINA<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (nizi-nata@yandex.ru);

L.V. MAKAROVA<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (mak.78\_08@inbox.ru)

<sup>1</sup> National Research N.P. Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Street, Saransk, 430005, Republic of Mordovia, Russian Federation)

<sup>2</sup> Penza State University of Architecture and Civil Engineering (28, Germana Titova Street, Penza, 440028, Russian Federation)

### Criteria of Efficiency of Cement Concretes and Their Use for Analyzing Compositions of High-Strength Composites\*

Criteria of the efficiency of high-strength and ordinary concretes with reference to the main characteristics of the used binder (activity and Portland cement consumption, normal concentration of cement paste etc.) with due regard for the impact of main factors (water-cement ratio, rheotechnological indicators and workability of concrete mix, concrete density, economic costs) on the main mechanical characteristic, compressive strength, have been developed. Boundary values of proposed indicators characterizing the transfer to advanced technologies of the concrete science (high-strength composites, self-compacting concrete mixes etc.) have been established. Testing of indicators, when analyzing compositions of fine concretes with natural and anthropogenic fillers, has been performed. The efficiency of introducing a large quantity of fine-disperse marble flour in the binder composition and modification of compositions with active mineral additives is shown on the basis of the developed criteria.

**Keywords:** high-strength fine concrete, cement binder, activity, efficiency criteria.

**For citation:** Balykov A.S., Nizina T.A., Makarova L.V. Criteria of efficiency of cement concretes and their use for analyzing compositions of high-strength composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 6, pp. 69–75. (In Russian).

Бетон – универсальный строительный материал со времени зарождения цивилизации, а его достаточно молодая разновидность – цементный бетон является одним из основных конструктивных строительных материалов во всем мире, превосходя по объему изготовления и использования многие другие аналоги [1–4].

За последние два десятка лет были разработаны и получили распространение новые эффективные вяжущие, комплексные модификаторы для бетонов на основе гидрофобных и гидрофильных органических ПАВ (суперпластификаторы и гиперпластификаторы), тонкоизмельченные наполнители и активные минеральные добавки природного и техногенного происхождения (известняк, молотый песок, гранулированный шлак, зола-уноса, микрокремнезем, метакаолин, природные пуццоланы и др.), дисперсные армирующие волокна и др. [4–12]. В это время на новый уровень вышли и физико-химические исследования, появились новые технологические методы и приемы получения

композитов. Использование передовых технологий бетоноведения привело к созданию высококачественных композитов нового поколения (БНП) с высокими показателями прочности (НСС), удобоукладываемости (НВС), стабильности объема (НВС) и долговечности (НСС) [5, 12–15].

Отдельного внимания заслуживает особый вид бетонов – так называемый реакционно-порошковый бетон (Reactive Powder Concrete, RPC). Основные принципы получения данных композитов – обеспечение однородности структуры путем исключения крупного заполнителя и замены его на мелкозернистые с крупностью до 0,5 мм; уплотнение смеси за счет оптимизации гранулометрического состава; включение в рецептуру значительного количества микрокремнезема (20–30% от массы цемента) и суперпластификатора (2–3% от массы цемента) при водотвердом отношении В/(Ц+МК) в диапазоне 0,12–0,15; применение дисперсных волокон; использование давления и повышенной температуры в процессе твердения. При этом в зависимости от приме-

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-33-50103).

\* This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 16-33-50103).

няемых технологий прочность при сжатии таких систем может достигать 200–800 МПа, а прочность на растяжение при изгибе – 100 МПа [4, 9].

Из анализа литературы следует, что основные виды бетонов нового поколения имеют повышенную прочность (бетоны классов В55 и выше согласно ГОСТ 25192–2012). Высокая прочность позволяет снизить расходы бетона и стальной арматуры путем уменьшения геометрических размеров сечений сжатых элементов конструкций, снижения их объема и массы [1–4].

Но, несмотря на многокомпонентность высококачественных цементных бетонов, основным структурообразующим элементом в рецептуре, несомненно, является портландцемент [9]. Значимость активности портландцемента для достижения высокой прочности цементных композитов предопределила исследования по созданию высокопрочных и особо быстротвердеющих цементов (активностью свыше 60–70 МПа с 55–60% прочностью от нормативной на третьи сутки) в разных странах [16, 17].

Возвращаясь к технологиям изготовления высокопрочных бетонов, нужно отметить, что в большинстве литературных источников по их созданию указывается на необходимость обеспечения активности цемента на уровне 45–50 МПа и выше (в основном бездобавочного или с минимальным содержанием добавок ЦЕМ I) для изготовления бетонов прочностью при сжатии 120–150 МПа и более. Однако количество данных о применении низкомарочных и рядовых портландцементов марок М300 и М400 с активностью 25–40 МПа в рецептуре получения бетонов повышенной прочности резко ограничено. При этом общеизвестно, что реальная активность выпускаемых цементов (в том числе и у цементов высоких марок М500–М600) далеко не всегда соответствует заявляемому. Кроме того, данный показатель существенно снижается при хранении цементов более 45–60 сут, а также за счет его взаимодействия с парами воды и газами воздуха, что также следует учитывать при производстве высокопрочных бетонов.

По мнению авторов, необходимо использовать возможность получения составов бетонов повышенной прочности с применением всей номенклатуры выпускаемых промышленностью портландцементов. Данные разработки позволят создать некоторый информационный банк данных «активность вяжущего – прочность бетона – высокоэффективная технология», позволяющий сделать оптимальный выбор активности цемента для высококачественных бетонов нового поколения различной прочности в зависимости от требуемых условий (характера работы материала, оптимального расхода вяжущего, требований по экзотермии, воздействий на изделие внешней среды и др.), по аналогии со СНиП 82-02–95, применяемого для рядовых бетонов. А самое главное, данная информационная база даст возможность свести к минимуму зависимость от колебаний физико-механических, химико-минералогических характеристик выпускаемых вяжущих и имеющихся трудностей российской цементной промышленности при получении высокофункциональных и высокопрочных композитов.

Многочисленность составов бетонов приводит к необходимости разработки критериев их эффективности и оптимальности. Практика допускает применение разнообразных простых и комплексных физико-механических, технических, экономических и технико-экономических критериев оптимальности (удельный расход ресурса, отношение удельного расхода ресурса к показателю свойства бетона, удельный стоимостной показатель и др. [18]). В работах [5, 19–21] в качестве одного из основных *критериев эффективности бетона* использу-

ется обобщенный технико-экономический показатель – удельный расход цемента ( $\Pi$ ) на единицу прочности бетона при сжатии ( $R_{сж}$ ):

$$\Pi_{R_{сж}}^{уд} = \frac{\Pi}{R_{сж}}, \frac{кг}{МПа}. \quad (1)$$

Это обусловлено стремлением повышения эффективности составов через минимизацию расхода цемента как определяющего себестоимость компонента бетонной смеси [21].

В зависимости от значений данного показателя пензенской школой бетоноведения под руководством В.И. Калашникова [5, 19] принята следующая классификация бетонов: бетоны старого поколения при  $\Pi_{R_{сж}}^{уд} \geq 8$  кг/МПа; бетоны переходного поколения при  $\Pi_{R_{сж}}^{уд} = 5-7$  кг/МПа и бетоны нового поколения при  $\Pi_{R_{сж}}^{уд} \leq 5$  кг/МПа.

Несмотря на простоту и эффективность, по мнению авторов, приведенный показатель требует некоторого уточнения и доработки, так как в данном случае не учитывается одна из основных характеристик вяжущего – его активность. Например, состав высокопрочного бетона прочностью 150 МПа при расходе портландцемента  $600 \text{ кг/м}^3$  с активностью 55 МПа согласно данному показателю будет относиться к бетону нового поколения ( $\Pi_{R_{сж}}^{уд} = 600/150 = 4$  кг/МПа), а аналогичный состав бетона прочностью 85 МПа с портландцементом активностью 30 МПа – к бетонам переходного поколения ( $\Pi_{R_{сж}}^{уд} = 600/85 = 7,1$  кг/МПа).

Эффективность составов как высокопрочных, так и рядовых бетонов необходимо оценивать с позиции полноты использования так называемого рецептурного потенциала при применении той или иной высокоэффективной технологии изготовления, укладки и твердения композитов. В большей степени это положение можно отнести к раскрытию возможностей вяжущего (портландцемента) в силу его огромного потенциала как основного структурообразующего компонента в бетонах, особенно мелкозернистых: тот состав, который за счет оптимальных технологий наиболее полно использует первоначальные рецептурные возможности (вяжущего, заполнителей, наполнителей, добавок и т. д.), и следует относить к эффективным составам.

### Критерии эффективности

На основании вышеизложенного, были разработаны критерии эффективности высокопрочных и рядовых бетонов с привязкой к основным характеристикам применяемого вяжущего (активности и расхода портландцемента, нормальной густоте цементного теста и др.). При этом рассматриваются пять базовых критериев с учетом влияния основных факторов (водоцементного отношения, реотехнологических показателей и удобоукладываемости бетонной смеси, плотности бетона, экономических затрат), помимо роли вяжущего, на основную механическую характеристику – предел прочности при сжатии.

1. Цементный критерий прочности бетона:

$$K_{R_6}^{\Pi, R_{ц}} = \frac{\Pi \cdot R_{ц}}{\Pi_{R_{ц}} \cdot R_6}, \quad (2)$$

где  $R_6$ ,  $R_{ц}$  – прочность бетона при сжатии в возрасте 28 сут и активность портландцемента соответственно, МПа;  $\Pi$  – расход портландцемента на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси, кг;  $\Pi_{R_{ц}}$  – расход портландцемента на приготовление цементно-песчаного раствора для определения активности портландцемента  $R_{ц}$  по ГОСТ 310.4–81, взятый в кг с сохранением значения,  $\Pi_{R_{ц}} = 500$  кг.

Данный критерий эффективности является доработанным аналогом показателя (1) при учете активности используемого портландцемента, что дает возможность анализа эффективности состава по полноте раскрытия рецептурного потенциала и возможностей вяжущего при его влиянии на прочность композита. С уменьшением показателя (2) эффективность состава увеличивается.

С учетом того, что основная масса высококачественных составов с низкими значениями показателя (1) была получена с применением цемента активностью 50–55 МПа, упомянутая выше классификация бетонов примет вид: бетоны старого поколения –  $K_{R_6}^{II, R_{II}} > 0,85$ ; бетоны переходного поколения –  $K_{R_6}^{II, R_{II}} = 0,55–0,85$ ; бетоны нового поколения –  $K_{R_6}^{II, R_{II}} < 0,55$ .

2. Водоцементный критерий прочности бетона:

$$K_{R_6}^{B/C, R_{II}} = \frac{B/C}{\text{НГ}} \cdot \frac{R_{II}}{R_6}, \quad (3)$$

где  $R_6$ ,  $R_{II}$  – аналогично (2), МПа;  $B/C$  – водоцементное отношение бетонной смеси, отн. ед.;  $\text{НГ}$  – нормальная плотность цементного теста, отн. ед.

Предлагаемый критерий отражает рациональность использования воды затворения в составах и их рецептурную эффективность через повышение плотности и прочности бетона путем снижения водоцементного отношения при сохранении доброкачественной бетонной смеси.

Согласно работе [9], для большинства применяемых в зарубежном строительстве высокопрочных бетонов марок свыше М1000 с расходом цемента 500–700 кг/м<sup>3</sup> отношение  $B/C/\text{НГ}$  находится в пределах 1,1–1,3, а для литых бетонных смесей – 1,3–1,5. Учитывая, что данные составы были получены на вяжущем с активностью 45–55 МПа, водоцементный критерий для высококачественных и высокопрочных бетонных смесей составляет:  $K_{R_6}^{B/C, R_{II}} < 0,55–0,6$  – эффективные бетонные смеси;  $K_{R_6}^{B/C, R_{II}} < 0,6–0,65$  – эффективные литые бетонные смеси.

3. Весовой критерий прочности бетона:

$$K_{R_6}^{\rho, R_{II}} = \frac{\rho_6}{\rho_b} \cdot \frac{R_{II}}{R_6}, \quad (4)$$

где  $R_6$ ,  $R_{II}$  – аналогично (2), МПа;  $\rho_6$  – плотность бетона в нормальных влажностных условиях по ГОСТ 12730.1–78, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_b$  – плотность воды,  $\rho_b = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Отношение  $(R_6 \cdot \rho_b) / \rho_6 = R_{уд}$  – удельная прочность бетонов – считается универсальным критерием технической эффективности разного рода материалов. По данным работ [4, 22], для обычных тяжелых бетонов данный показатель находится в пределах  $R_{уд} \leq 25$  МПа, для высокопрочных тяжелых марок М600–1000 –  $R_{уд} = 25–40$  МПа; для особо высокопрочных бетонов марок свыше М1000 –  $R_{уд} > 40$  МПа; для высокопрочных легких бетонов  $R_{уд} > 25$  МПа. При этом показатель  $R_{уд}$  для бетонов нового поколения, как легких, так и тяжелых, становится сопоставимым с аналогичным критерием для стали.

Учитывая преимущественную активность вяжущего для получения высокопрочных бетонов  $R_{II} = 50$  МПа и более (для  $R_6 \geq 60$  МПа), в область эффективных высокопрочных бетонов будут входить составы со значением показателя (4)  $K_{R_6}^{\rho, R_{II}} \leq 2$  – для легких бетонов;  $K_{R_6}^{\rho, R_{II}} \leq 1,25$  – для тяжелых бетонов.

4. Реотехнологический критерий:

а) для подвижных смесей:

$$K_{B/C}^{\Pi} = \frac{B/C \cdot \Pi_{\text{фикс.}}}{\Pi \cdot \text{НГ}}; \quad (5)$$

б) для жестких смесей:

$$K_{B/C}^{\text{Ж}} = \frac{B/C \cdot \text{Ж}}{\text{Ж}_{\text{фикс.}} \cdot \text{НГ}}, \quad (6)$$

где  $B/C$ ,  $\text{НГ}$  – водоцементное отношение бетонной смеси и нормальная плотность цементного теста, отн. ед.;  $\Pi$  – показатель подвижности бетонной смеси, определенный по стандартизированным (ГОСТ 10181.1–81, ГОСТ 310.4–81) или нестандартизированным методикам (расплав из различных цилиндров и конусов истечения), см;  $\Pi_{\text{фикс.}}$  – фиксированное значение подвижности, равное минимально возможному ее значению при принятой методике: по ГОСТ 10181.1–81 –  $\Pi_{\text{фикс.}} = 1$  см для осадки стандартного конуса (ОК) (ГОСТ 7473–2010) и  $\Pi_{\text{фикс.}} = 20$  см для диаметра его расплава (нижний внутренний диаметр стандартного конуса); по ГОСТ 310.4–81 –  $\Pi_{\text{фикс.}} = 10$  см (внутренний диаметр формы-конуса); при применении нестандартизированных приборов  $\Pi_{\text{фикс.}}$  – внутренний диаметр цилиндров или конусов истечения;  $\text{Ж}$  – показатель жесткости бетонной смеси по ГОСТ 10181.1–81, с;  $\text{Ж}_{\text{фикс.}}$  – фиксированное значение жесткости, равное минимальному показателю по ГОСТ 7473–2010,  $\text{Ж}_{\text{фикс.}} = 5$  с.

Предлагаемый критерий отражает реотехнологическую эффективность составов бетона через стремление повысить их удобоукладываемость при пониженных значениях водоцементного отношения. Для передовых технологий самоуплотняющихся составов бетонных смесей (СУБ (SCC)) с  $B/C \leq 0,4$  [4] и средним значением нормальной густоты цементного теста  $\text{НГ} = 0,26$  при осадке стандартного конуса (конуса Абрамса)  $\text{ОК} \geq 25,5$  см и диаметре его расплава  $D_p \geq 55$  см (ГОСТ 10181.1–81), диаметре расплава из формы-конуса по ГОСТ 310.4–81 (конус Хагерманна, EN 196)  $D_p \geq 28$  см показатель (5) для осадки, расплава конуса Абрамса и расплава конуса Хагермана соответственно будет равен  $K_{B/C}^{\Pi} \leq 0,06$ ;  $K_{B/C}^{\Pi} \leq 0,56$  и  $K_{B/C}^{\Pi} \leq 0,55$ .

5. Экономический критерий прочности бетона:

$$K_{R_6}^{\text{Э}} = \frac{\text{Э}_{R_6} \cdot R_{II}}{\text{Э}_{II} \cdot R_6}, \quad (8)$$

где  $\text{Э}_{R_6}$  – экономические затраты на получение 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, р.;  $\text{Э}_{II}$  – стоимость 1 т применяемого портландцемента, р.;  $R_6$ ,  $R_{II}$  – аналогично (2), МПа.

С повышением данного критерия можно говорить о более эффективном использовании денежных средств для повышения прочностной характеристики с привязкой к активности вяжущего.

#### Оценка разработанных составов высокопрочных бетонов с помощью критериев эффективности

Возможность применения описанных коэффициентов оценивалась на разрабатываемых составах высокопрочных мелкозернистых бетонов.

В качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 32,5Б производства ПАО «Мордовцемент» с активностью на стандартном вольском песке по ГОСТ 310.4–81 на момент испытаний  $R_{II} = 29$  МПа. Расход цемента варьировался в диапазоне 581–740 кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси. В качестве мелкого заполнителя использовался отработанный формовочный песок средней фракции 0,3 мм предприятия ООО «ВКМ Сталь» (Республика Мордовия), получаемый в результате обжига раскаленным расплавленным металлом высококачественного формовочного кварцевого песка, применяемого для создания пресс-форм литейного произ-

Таблица 1

№ состава	Цемент, кг/м <sup>3</sup> бетонной смеси	Содержание модификатора, % от массы вяжущего (цемент + модификатор)			МКМ/Ц	П/Ц	В/Ц	Расплыв, см
		МК	ВМК	Адмикс				
1	711	15	0	0	0,45	1,5	0,34	20
2	726	0	10	0			0,34	26
3	740	0	0	5			0,36	22
4	658	0	5	2,5	0,8		0,36	22
5	581	15	0	0	1,15		0,38	17
6	601	0	0	5			0,42	23
7	591	0	10	0			0,38	19
8	646	7,5	5	0	0,8		0,34	20
K1	660	0	0	0	0	2,4	0,42	18

Таблица 2

№ состава	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа, в возрасте			Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте			Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициенты эффективности				
	1 сут	7 сут	28 сут	1 сут	7 сут	28 сут		$K_{R_6}^{II, R_{II}}$	$K_{R_6}^{B/II, R_{II}}$	$K_{R_6}^{\rho, R_{II}}$	$K_{B/II}^P$	$K_{R_6}^{\rho}$
1	6,3	10,8	14,6	34,2	70,2	88,5	2374	0,46	0,43	0,78	0,66	0,69
2	4,9	9,3	12,3	22,1	67,4	84,4	2367	0,5	0,44	0,81	0,5	0,8
3	5	9,8	10,7	21,1	50,1	62,4	2422	0,69	0,64	1,12	0,63	2,05
4	5,7	9,2	11,4	27,3	54,4	60,1	2365	0,63	0,66	1,14	0,62	1,53
5	6	9,5	12,9	29,8	56,4	75,9	2317	0,44	0,55	0,88	0,86	0,74
6	4,3	7,7	8,4	22,6	52,1	65,4	2451	0,53	0,71	1,08	0,7	1,69
7	5,2	9,1	10,8	24,1	54,6	64,3	2272	0,53	0,65	1,02	0,76	0,95
8	6,5	12,3	13,7	33,2	64,9	72,2	2366	0,52	0,52	0,95	0,65	0,85
K1	2 (4 сут)	6,8	7	8,9 (4 сут)	24	37	2349	1,03	1,27	1,83	0,9	1,12

водства. Для повышения содержания дисперсной фазы в состав бетонной смеси вводился тонкомолотый мраморный наполнитель Микрокальцит КМ-100 (МКМ) производства компании ООО «Полипарк» (г. Москва) в количестве 45–115% от массы портландцемента.

В качестве активных минеральных модификаторов использовались:

– микрокремнезем конденсированный неуплотненный (МК-85) производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы» (ООО «Микросилика», г. Пермь) по ТУ 5743-048-02495332–96;

– высокоактивный метаксаолин белый (ВМК) производства ООО «Мета-Д» (ВМК) по ТУ 572901-001-65767184–2010;

– гидроизоляционная добавка в бетонную смесь «Пенетрон Адмикс» (Адмикс), г. Екатеринбург.

Для снижения водоцементного отношения, обеспечения водоредуцирующего и пластифицирующего эффектов был использован высококачественный суперпластификатор Melflux 5541 F производства BASF (Германия), вводимый в количестве 1% от массы портландцемента.

Удобоукладываемость бетонных смесей определялась по расплыву конуса Хагерманна по ГОСТ 310.4–81 и составляла 17–26 см. Такая подвижность характеризует смеси как высокоподвижные, близкие к самоуплотняющимся.

Основная цель данного эксперимента состояла в выявлении возможности применения техногенного заполнителя в составах высокопрочных модифицированных мелкозернистых бетонов путем исследования следующих физико-механических характеристик: плотности в нормальных влажностных условиях (ГОСТ 12730.1–78), прочность при сжатии (ГОСТ 310.4) и на растяжение при изгибе (ГОСТ 310.4) в возрасте 1, 7 и 28 сут.

В качестве контрольного для оценки исследуемых характеристик был выбран состав (K1), включающий портландцемент с расходом 660 кг/м<sup>3</sup>, формовочный песок-отход и суперпластификатор Melflux 5541 F в количестве 1% от массы портландцемента. Составы мелкозернистых бетонов и результаты их испытаний представлены в табл. 1 и 2.

Сравнивая модифицированные составы (№ 4–8) с контрольным K1 (с прочностными показателями в возрасте 28 сут при изгибе и сжатии – 7 и 37 МПа соответственно) при близких расходах цемента (около 660 кг/м<sup>3</sup>, табл. 1), установлено, что увеличение прочности при сжатии составило от 62 до 105%, а на растяжение при изгибе – 20–95%, в зависимости от применяемого модификатора. При этом составы с наполнителем из мраморной муки имеют более низкие значения водоцементных отношений (0,34–0,38 против 0,42 для состава K1) при сохранении или некотором увеличении удобоукладываемости бетонной смеси (17–22 см и 18 см

для состава К1). Таким образом, введение в состав значительной части порошкового микрокальцита позволяет обеспечить более высокую текучесть пластифицированных мелкозернистых бетонных смесей. Это подтверждают и многочисленные публикации [4, 9, 23], в которых говорится о достижении рациональной реологии бетонных смесей и высокой прочности цементных композитов за счет применения высокодисперсных порошков горных пород, которые являются реологически активными в суспензии с суперпластификатором; при этом создается более рациональная топологическая и гранулометрическая структура, позволяющая более эффективно использовать водоредуцирующие возможности суперпластификаторов.

Средняя плотность модифицированных и контрольного составов имеет достаточно высокие для мелкозернистого бетона значения в диапазоне 2270–2450 кг/м<sup>3</sup>. Причем не всегда наиболее плотные составы имеют самые высокие прочностные показатели. Например, цементные композиты с гидроизоляционной добавкой «Пенетрон Адмикс» (составы № 3 и 6, табл. 2) с самыми высокими показателями плотности 2422 и 2451 кг/м<sup>3</sup> имеют более низкие прочностные характеристики по сравнению с составами с МК и ВМК при близких расходах портландцемента. Данный факт подтверждается и высокими значениями весового критерия прочности  $K_{R_6}^{P, R_{II}}$  для составов с Адмиксом, равными 1,12; 1,14 и 1,08 (составы № 3, 4 и 6). Объяснения этого явления лежат в реакциях между компонентами данной добавки и ионными комплексами кальция и алюминия, оксидами и солями металлов цементного камня с образованием значительного количества увеличенных в объеме гидросульфалюминатов и гидрокарбоалюминатов кальция [24], которые помимо начального уплотнения структуры в конечном итоге приводят к возникновению внутренних напряжений, что негативным образом сказывается на прочностных показателях.

Наиболее высокие прочностные характеристики в возрасте 28 сут были получены для составов с микрокремнеземом с расходом цемента 711, 581 и 646 кг/м<sup>3</sup> (№ 1, 5 и 8) и составили: для предела прочности на растяжение при изгибе – 14,6; 12,9 и 13,7 МПа, а для предела прочности при сжатии – 88,5; 75,9 и 72,2 МПа соответственно (табл. 2). При этом набор прочности модифицированных цементных композитов на растяжение при изгибе и сжатии в возрасте 1 сут составил 40–51 и 26–46%, а для 7 сут – 74–92 и 74–91% от нормативной.

Отдельно остановимся на анализе критериев эффективности. Наилучшие показатели по цементному критерию  $K_{R_6}^{II, R_{II}}$  (0,46 и 0,44), который можно считать определяющим в технологии бетонов, имеют составы с микрокремнеземом (№ 1 и 5), что говорит о наиболее сбалансированной рецептуре и более полном использовании возможностей вяжущего по сравнению с составами с другими модификаторами. Данные составы наряду с составами № 2 и № 6–8, согласно принятой выше классификации, можно отнести к бетонам нового поколения ( $K_{R_6}^{II, R_{II}} < 0,55$ ). Худший показатель данного критерия при применении модификаторов зафиксирован у цементного состава № 3 с гидроизоляционной добавкой Адмикс,  $K_{R_6}^{II, R_{II}} = 0,69$ .

Самый низкий водоцементный критерий прочности бетона  $K_{R_6}^{B/II, R_{II}}$ , равный 0,43 и 0,44, имеют цементные составы с МК и ВМК (№ 1 и 2). У самого цементного состава № 3 с Адмиксом данный показатель в 1,5 раза выше (0,64), что говорит о снижении рецептурной эффективности состава. Также можно отметить составы № 5 и 8 с низким значением данного показателя (0,55 и 0,52 соответственно), что говорит об оптимальном сочетании прочности (при данном расходе и активности цемента) и водопотребности смеси. Приведенные выше составы (№ 1, 2, 5, 8) можно отнести к эффективным составам по данному показателю (при  $K_{R_6}^{B/II, R_{II}} \leq 0,6$ ).

Стоит отметить, что понижение содержания портландцемента в модифицированных составах (составы № 1 и 5; 2 и 7; 3 и 6) приводит к увеличению значений водоцементного критерия (табл. 2), что объясняется повышением содержания песка-заполнителя при уменьшении вяжущего, приводящее к падению прочностных характеристик.

Анализируя реотехнологический критерий  $K_{B/II}^{II}$ , можно отметить цементный состав № 2 с ВМК, имеющий наименьшее значение данного показателя  $K_{B/II}^{II} = 0,5$ , относящее его к передовым по данному показателю составам (по определенной ранее области реотехнологической эффективности высокоподвижных и самоуплотняющихся составов при применении конуса Хагерманна,  $K_{B/II}^{II} \leq 0,55$ ).

Экономический критерий прочности показывает относительную экономическую неэффективность составов № 3, 4 и 6 с Адмиксом (при его дороговизне – стоимость 300 р./кг) даже в сравнении с контрольным составом К1  $K_{R_6}^{\text{Э}} = 2,05, 1,53$  и 1,69 против 1,12 соответственно). Наименьшие значения данного показателя имеют составы с микрокремнеземом № 1 и 5 (0,69 и 0,74 соответственно), что свидетельствует об экономической целесообразности применения данного модификатора среди используемых минеральных добавок для повышения прочностных характеристик.

Для контрольного состава (К1), изготовленного по традиционной технологии, получены самые высокие значения цементного  $K_{R_6}^{II, R_{II}}$ , водоцементного  $K_{R_6}^{B/II, R_{II}}$ , весового  $K_{R_6}^{P, R_{II}}$  и реотехнологического  $K_{B/II}^{II}$  критериев (соответственно 1,03; 1,27; 1,83 и 0,9), что свидетельствует о значительных преимуществах предлагаемых рецептур по сравнению с традиционной.

#### Выводы.

По результатам проведенных исследований разработано и апробировано пять критериев эффективности бетонов с привязкой к основным характеристикам применяемого вяжущего с учетом влияния основных физико-механических и технологических факторов. С помощью разработанных показателей качества показана эффективность введения в состав вяжущего значительного количества тонкодисперсной мраморной муки и модифицирования активными минеральными добавками (МК, ВМК и Адмикс). Об этом свидетельствуют существенно сниженные для наиболее оптимальных составов значения большинства применяемых коэффициентов по сравнению с составом, полученным по традиционной рецептуре цемент–песок–суперпластификатор–вода.

#### Список литературы

1. Фаликман В.Р. Итоги III Всероссийской (Международной) конференции по бетону и железобетону // *Нанотехнологии в строительстве: Научный интернет-журнал*. 2014. Т. 6. № 3. С. 30–36.

#### References

1. Falikman V.R. The results of the III All-Russian (International) conference on concrete and reinforced concrete. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyi internet-zhurnal*. 2014. Vol. 6. No. 3, pp. 30–36. (In Russian).

2. Гусев Б.В., Фаликман В.Р. Бетон и железобетон в эпоху устойчивого развития // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 2. С. 30–38.
3. Чиорино М.А., Фаликман В.Р. Долговечность и устойчивое развитие конструкционного бетона в поле зрения мирового научного сообщества // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 1. С. 24–26.
4. Фаликман В.Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны // *Бетон и железобетон*. 2011. № 2. С. 78–84.
5. Калашников В.И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего // *Строительные материалы*. 2016. № 1–2. С. 96–103.
6. Низина Т.А., Пономарев А.Н., Бальков А.С. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 68–72.
7. Низина Т.А., Бальков А.С. Анализ комплексного влияния модифицирующих добавок и дисперсного армирования на физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов // *Региональная архитектура и строительство*. 2015. № 4. С. 25–32.
8. Селяев В.П., Селяев П.В., Кечуткина Е.Л. Прочность цементного бетона. *Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Высокопрочные бетоны: технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016)»*. Казань: КГАСУ, 2016. С. 64–69.
9. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
10. Низина Т.А., Балбалин А.В. Влияние минеральных добавок на реологические и прочностные характеристики цементных композитов // *Вестник ТГАСУ*. 2012. № 2. С. 148–153.
11. Селяев В.П., Низина Т.А., Балбалин А.В. Многофункциональные модификаторы цементных композитов на основе минеральных добавок и поликарбоксилатных пластификаторов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2013. Вып. 31 (50). Ч. 2. С. 156–163.
12. Ушеров-Маршак А.В. Бетоны нового поколения – бетоны с добавками // *Бетон и железобетон*. 2011. № 1. С. 78–81.
13. Ушеров-Маршак А.В. Взгляд в будущее бетона // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 4–5.
14. Forster S.W. High-performance concrete – stretching the paradigm. *Concrete International*. 1994. Vol. 16. No. 10, pp. 33–34.
15. Aitcin P.-C. High Performance Concrete. E&FN Spon. 2004. 140 p.
16. Кравченко И.В., Власова М.Т., Юдович Б.Э. Высокопрочные и особо быстротвердеющие портландцементы. М.: Стройиздат, 1971. 232 с.
17. Батраков В.Г., Башлыков Н.Ф., Бабаев Ш.Т., Сердюк В.Н., Фаликман В.Р., Несветайло В.М. Бетоны на вяжущих низкой водопотребности // *Бетон и железобетон*. 1988. № 11. С. 4–6.
18. Дворкин О.Л., Дворкин Л.И., Горячих М.В., Шмигальский В.Н. Проектирование и анализ эффективности составов бетона: Монография. Ровно: НУВГП, 2009. 177 с.
19. Володин В.М., Мороз М.Н., Калашников В.И., Абрамов Д.А., Ерофеева И.В. Анализ эффективности песчаных бетонов по удельному расходу цемента на единицу прочности // *Молодой ученый*. 2015. № 8. С. 205–208.
20. Gusev B.V., Falikman V.R. Concrete and reinforced concrete in the era of sustainable development. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 2, pp. 30–38. (In Russian).
21. Chiorino M.A., Falikman V.R. Durable and sustainable development of structural concrete in the field of view of the global scientific community. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 1, pp. 24–26. (In Russian).
22. Falikman V.R. New effective high performance concretes. *Beton i zhelezobeton*. 2011. No. 2, pp. 78–84. (In Russian).
23. Kalashnikov V.I. Evolution of development of concretes compositions and change in concrete strength. Concretes of present and future. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 1–2, pp. 96–103. (In Russian).
24. Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S. Fine disperse-reinforced concretes on the basis of complex modifying additives. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 68–72. (In Russian).
25. Nizina T.A., Balykov A.S. Analysis of the combined effect of the modifier additives and particulate reinforcement on the physico-mechanical characteristics of fine-grained concretes. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2015. No. 4, pp. 25–32. (In Russian).
26. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Kechutkina E.L. Strength of cement concrete. *Collection of theses of reports of the International scientific and technical conference «High-strength concretes: technologies, constructions, economics (HSC-2016)»*. Kazan: KSUAE. 2016, pp. 64–69. (In Russian).
27. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modifitsirovannye vysokokachestvennye betony [Modified high-quality concretes]. Moscow: ASV. 2006. 368 p.
28. Nizina T.A., Balbalin A.V. Influence of mineral additives on rheological and strength characteristics of cement composites. *Vestnik TGASU*. 2012. No. 2, pp. 148–153. (In Russian).
29. Selyaev V.P., Nizina T.A., Balbalin A.V. Multifunctional modifiers of cement composites based on mineral admixtures and polycarboxylate plasticizers. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. Vol. 31 (50). Part 2, pp. 156–163. (In Russian).
30. Usherov-Marshak A.V. New generation concretes – concretes with additives. *Beton i zhelezobeton*. 2011. No. 1, pp. 78–81. (In Russian).
31. Usherov-Marshak A.V. Looking into the future concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 4–5. (In Russian).
32. Forster S.W. High-performance concrete – stretching the paradigm. *Concrete International*. 1994. Vol. 16. No. 10, pp. 33–34.
33. Aitcin P.-C. High Performance Concrete. E&FN Spon. 2004. 140 p.
34. Kravchenko I.V., Vlasova M.T., Yudovich B.E. Vysokoprochnye i osobo bystrotverdeyushchie portlandsementy [High strength and superfast setting Portland cements]. Moscow: Stroyizdat. 1971. 232 p.
35. Batrakov V.G., Bashlykov N.F., Babaev Sh.T., Serdjuk V.N., Falikman V.R., Nesvetajlo V.M. Concretes made with low water requirement binders. *Beton i zhelezobeton*. 1988. No. 11, pp. 4–6. (In Russian).
36. Dvorkin O.L., Dvorkin L.I., Goryachikh M.V., Shmigalsky V.N. Proektirovanie i analiz effektivnosti sostavov betona: monografiya [Design and analysis of effectiveness of concrete compositions: monograph]. Rivne: NUWEE, 2009. 177 p.
37. Volodin V.M., Moroz, M.N., Kalashnikov V.I., Abramov D.A., Erofeeva I.V. Analysis of effectiveness of sandy concretes on specific consumption of cement per unit strength. *Molodoi uchenyi*. 2015. No. 8, pp. 205–208. (In Russian).

20. Несветаев Г.В., Лопатина Ю.Ю. Проектирование макроструктуры самоуплотняющейся бетонной смеси и ее растворной составляющей // *Наукоедение*. 2015. Т. 7. № 5. <http://naukovedenie.ru/PDF/48TVN515.pdf> (Дата обращения 05.12.2016).
21. Несветаев Г.В., Виноградова Е.В., Лопатина Ю.Ю. К вопросу выбора критериев эффективности бетонов // *Научное обозрение*. 2016. № 2. С. 34–41.
22. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Легкий высокопрочный бетон для несущих конструкций в промышленном и гражданском строительстве: *Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Наука и образование в жизни современного общества»*. Тамбов, 2012. Ч. 4. С. 46–48.
23. Калашников В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов // *Строительные материалы*. 2008. № 10. С. 4–6.
24. Капустин Ф.Л., Спиридонова А.М., Метелева Л.Е. Отчет о НИР «Состав продуктов твердения цементного камня до и после нанесения проникающей капиллярной смеси «Пенетрон». Екатеринбург: ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина», 2010. 43 с.
20. Nesvetaev G.V., Lopatina Yu.Yu. Design of macrostructure of self-compacting concrete and its mortar component. *Naukovedenie* [Electronic resource]. 2015. Vol. 7. No. 5. <http://naukovedenie.ru/PDF/48TVN515.pdf> (Date of access). (In Russian).
21. Nesvetaev G.V., Vinogradova E.V., Lopatina Yu.Yu. On the issue of selecting performance criteria for concretes. *Nauchnoe obozrenie*. 2016. No. 2, pp. 34–41. (In Russian).
22. Inozemtsev A.S., Korolev E.V. High-strength lightweight concrete for load-bearing structures in industrial and civil constructions. *Collection of scientific papers on materials of the International scientific-practical conference «Science and education in life of modern society»*. Tambov. 2012. Part 4, pp. 46–48. (In Russian).
23. Kalashnikov V.I. Calculation of compositions of high-strength self-compacting concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 10, pp. 4–6. (In Russian).
24. Kapustin F.L., Spiridonova A.M., Meteleva L.E. Otchet o NIR «Sostav produktov tverdeniya tsementnogo kamnya do i posle naneseniya pronikayushchey kapillyarnoy smesi «Penetron» [Report on research work Composition of the products of hardening cement paste before and after the application of mixture of penetrating the capillary «Penetron»]. Yekaterinburg: Ural State Technical University – UPI named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. 2010. 43 p.

## ВЫСТАВКА КРЫМ. СТРОЙИНДУСТРИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ОСЕНЬ-2017

9-11 ноября

г. Ялта, ул. Дражинского, 50  
ГК «ЯЛТА-ИНТУРИСТ»

- Современные строительные материалы и технологии.
- Краски, лаки.
- Строительные машины и механизмы.
- Окна, двери, кровли, фасады.
- Металлические конструкции.
- Сантехника.
- Экология. Системы очистки воды.
- Системы отопления, вентиляции и кондиционирования.
- Электротехническое и осветительное оборудование.
- Кабельно-проводниковая продукция.
- Энергосбережение и использование нетрадиционных экологически чистых источников энергии.
- Системы автоматизации. Программное обеспечение предприятий строительной, энергетической, электротехнической отраслей промышленности.

ФОРУМ КРЫМСКИЕ  
ВЫСТАВКИ

Оргкомитет: Республика Крым, г. Симферополь, ул. Горького, 8, оф. 27,  
моб.: +7 978 78 178 83, т./ф.: +7(3652) 54-60-66, +7(3652) 54-67-46,  
E-mail: [marketing@expoforum.biz](mailto:marketing@expoforum.biz), <http://expoforum.biz/>

Г.И. ЯКОВЛЕВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук (gyakov@istu.ru), А.Ф. ГОРДИНА<sup>1</sup>, канд. техн. наук, И.С. ПОЛЯНСКИХ<sup>1</sup>, канд. техн. наук; Х.-Б. ФИШЕР<sup>2</sup>, доктор-инженер (hans-bertram.fischer@uni-weimar.de); Н.С. РУЗИНА<sup>1</sup>, студентка, Е.В. ШАМЕЕВА<sup>1</sup>, студентка, М.Е. ХОЛМОГОРОВ<sup>1</sup>, студент

<sup>1</sup> Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

<sup>2</sup> Веймарский строительный университет (Германия, 99423, г. Веймар, Гешвистер-Шоллштрассе, 8)

## Гипсовые композиции, модифицированные портландцементом и металлургической пылью

Приведены основные результаты исследований влияния комплексной добавки на основе металлургической пыли и портландцемента на структуру и свойства гипсового композита. В исследованиях использовалась металлургическая пыль, в составе которой преобладают комплексные окислы железа; возраст модификатора более четырех лет. Доказано, что введение комплексных добавок улучшает физико-механические свойства гипсовых композиций, включая увеличение предела прочности при сжатии до 30%, уменьшение водопоглощения. Модификаторы, металлургическая пыль и портландцемент влияют на процессы гидратации и структурообразования гипсовых вяжущих, приводя к формированию аморфных продуктов гидратации на основе гидросиликатов и низкоосновных гидросульфогерметитов кальция, которые связывают кристаллогидраты сульфата кальция, заполняют поровое пространство матрицы, таким образом обеспечивая рост прочностных характеристик материала.

**Ключевые слова:** гипсовые вяжущие, портландцемент, металлургическая пыль, физико-механические характеристики, микроструктура.

**Для цитирования:** Яковлев Г.И., Гордина А.Ф., Полянских И.С., Фишер Х.-Б., Рузина Н.С., Шамеева Е.В., Холмогоров М.Е. Гипсовые композиции, модифицированные портландцементом и металлургической пылью // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 76–79.

G.I. YAKOVLEV<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (gyakov@istu.ru), A.F. GORDINA<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), I.S. POLYANSKIKH<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); H.-B. FISHER<sup>2</sup>, Doctor-Engineer (hans-bertram.fischer@uni-weimar.de); N.C. RUZINA<sup>1</sup>, Student, E.V. SHAMEEVA<sup>1</sup>, Student, M.E. KHOLMOGOROV<sup>1</sup>, Student

<sup>1</sup> Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya Street, Izhevsk, 426069, Russian Federation)

<sup>2</sup> Bauhaus-Universität Weimar (8, Geschwister-Scholl-Straße, 99423 Weimar, Germany)

### Gypsum Compositions Modified with Portland Cement and Metallurgic Dust

Main results of the research in the influence of a complex additive on the basis of metallurgical dust and Portland cement on the structure and properties of the gypsum composite are presented. Metallurgical dust, in composition of which complex oxides of iron dominated, was used in the course of the research, the age of the modifier is over 4 years. It is proved that the introduction of complex additives improves physical-mechanical properties of gypsum compositions including the increase in the limits of compression strength by 30%, and reduction in the water absorption. Modifiers, metallurgical dust, and Portland cement influence on the processes of hydration and structure formation of gypsum binders that leads to the formation of amorphous products of hydration on the basis of calcium hydro-silicates which bond crystalline hydrates of calcium, fill the pore space of the matrix thus providing the growth of strength characteristics of the material.

**Keywords:** gypsum binders, Portland cement, metallurgical dust, physical-mechanical characteristics, microstructure.

**For citation:** Yakovlev G.I., Gordina A.F., Polyanskikh I.S., Fisher H.-B., Ruzina N.C., Shameeva E.V., Kholmogorov M.E. Gypsum compositions modified with portland cement and metallurgic dust. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 6, pp. 76–79. (In Russian).

В настоящее время исследуются возможности расширения номенклатуры изделий на основе гипсовых вяжущих в связи с их высокими экологическими показателями, технологичностью и другими положительными свойствами [1]. В то же время гипсовые вяжущие обладают и рядом существенных недостатков, таких как низкая прочность и водостойкость.

Одним из традиционных методов улучшения характеристик вяжущих на основе сульфата кальция является введение минеральных добавок, которые приводят к формированию малорастворимых продуктов гидратации [1–3]. В XX веке исследователями [4] была рассмотрена возможность введения цемента, однако твердение такого вяжущего происходит с образованием гидросульфаталюмината кальция, кристаллизующегося со значительным увеличением объема, приводя к развитию внутренних напряжений и разрушению гипсоцементного камня.

Школой А.В. Волженского [2] было разработано смешанное вяжущее, в состав которого входят гипс, цемент и активная пуццолановая добавка. Эти работы были продолжены профессором А.В. Ферронской, впоследствии такое вяжущее было названо гипсоцементно-пуццолановым. Применение пуццолановых добавок, содер-

жащих кремнезем в активной форме, позволяет снизить концентрацию гидроксида кальция, что приводит к снижению рН-среды до уровня, при котором формирующийся гидросульфаталюминат кальция характеризуется меньшим увеличением в объеме, способствуя уплотнению матрицы, не создавая внутренних напряжений. Взаимодействие добавок с гидроксидом кальция приводит к образованию малорастворимых в воде гидросиликатов кальция низкой основности, что обуславливает повышение водостойкости, а также упрочнение структуры и повышение прочности материала [6].

В качестве пуццолановых добавок традиционно применяют трепел, диатомит, опоки и др. [2–4, 7]. Однако исследования показали, что уменьшение содержания полуводного гипса вследствие увеличения концентрации трепела ведет к снижению прочности кристаллизационной структуры. Наиболее эффективным является применение добавок, содержащих аморфный кремнезем с более развитой поверхностью, чем природные пуццолановые добавки. Так, замена трепела силикагелем приводит к увеличению водостойкости с 0,7 до 0,86 и к повышению прочности композиции [8].

Исследователями [9] был предложен следующий состав гипсоцементно-пуццоланового вяжущего: полу-

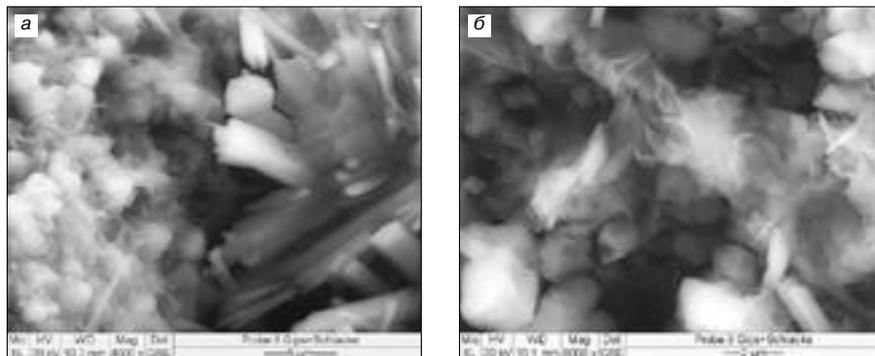


Рис. 1. Микроструктура модифицированной гипсовой матрицы при введении металлургической пыли: а –  $\times 4000$ ; б –  $\times 8000$

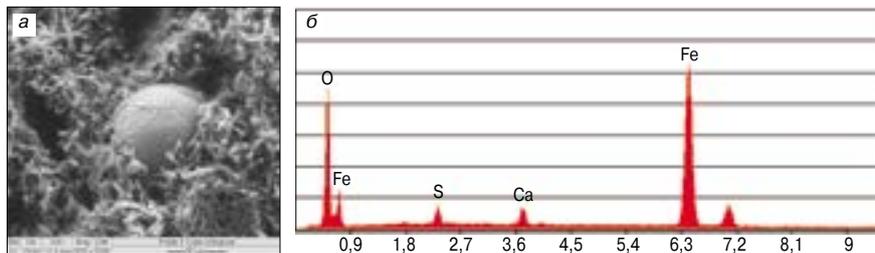


Рис. 2. Микроструктура модифицированной гипсовой матрицы с гидратированной частицей добавки при увеличении  $\times 500$  (а); результаты рентгеновского микроанализа добавки (б)

водный гипс 45–50%, портландцемент 13–15%, диатомит 13–15%. Замена традиционно используемого трепела диатомитом привела к повышению прочности материала и приобретению фунгицидных свойств.

В настоящее время актуальной является проблема утилизации образующихся в металлургической, топливной и другой промышленности техногенных продуктов, таких как керамзитовая пыль, золы ТЭС, шламы, сухая окалина и металлургическая пыль. Проводятся исследования по возможности использования данных отходов производства в качестве модификаторов свойств строительных материалов, в том числе в качестве гидравлических добавок к гипсоцементным композициям [10–14].

Исследования, проводимые К.Б. Васнецовой [15], показали, что за счет введения 15–25% феррохромового шлака и 10–15% портландцемента достигается повышение водостойкости на 10–30% и ускорение твердения композиции.

Целью исследования явилась разработка гипсовой композиции, модифицированной комплексными добавками, включающими портландцемент и металлургическую пыль.

Для получения исследуемой композиции использовалась металлургическая пыль с предприятия ОАО «ИжСталь» (г. Ижевск). Для оценки возможности использования данного отхода в качестве добавки были

проведены дисперсионный и рентгенофазовый анализы.

Анализ химического состава пыли, возраст которой 1 мес, показал, что преобладающими компонентами являются оксид железа (III) – 54%; оксид магния – 14%; оксид кальция – 12%, а также в составе присутствуют оксиды никеля и хрома, сульфаты кальция и магния, карбид железа. Средний размер частиц добавки составлял 20–30 мкм, при этом более 50% частиц находились в диапазоне размеров менее 18 мкм.

Проводимые ранее исследования [16] показали, что введение 0,4% пыли, возраст которой составляет 1 мес, в гипсовое вяжущее приводит к увеличению прочности при сжатии на 40,5%, а также к значительному росту коэффициента размягчения (с 0,38 до 0,85). Увеличение физико-механических характеристик композиции обусловлено формированием аморфной фазы при гидратации, которая дополнительно связывает кристаллогидраты гипса новообразованиями на основе соединений кальция и железа (рис. 1).

Металлургическая пыль является дисперсным отходом производства, в составе которого преобладают оксиды металлов, поэтому с течением времени химический и дисперсионный составы будут изменяться. Повторные исследования состава пыли были произведены через 3 года после отбора (рис. 2).

Рентгенофазовый анализ показал, что оксид железа III переходит в комплексный оксид  $Fe_3O_4$ , а оксиды кальция и хрома в соответствующие гидроксиды металлов. Кроме того, наблюдается появление аморфной фазы, которая при первичном отборе была незначительной. Дисперсионный анализ показал, что средний размер частиц добавки увеличился в три раза до 60–80 мкм, при этом более 50% частиц находятся в диапазоне менее 35 мкм. Увеличение размера частиц связано с их окислением, гидратацией с последующей агрегацией. Данные процессы будут оказывать значительное влияние на эффективность добавки при применении ее в качестве модификатора структуры вяжущего.

Были проведены исследования влияния на физико-механические свойства гипсового вяжущего металлургической пыли, возраст которой составляет более четырех лет; концентрация изменялась в диапазоне от 0,2% до 1% (рис. 3).

Из приведенной зависимости видно, что оптимальная концентрация добавки составляет 0,8% от массы

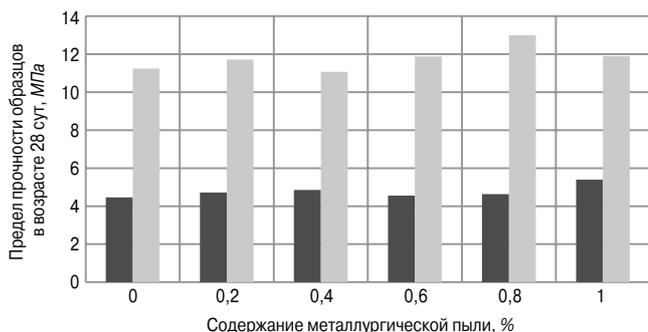


Рис. 3. Прочностные характеристики гипсового вяжущего с металлургической пылью: ■ –  $R_{изг}$ ; ■ –  $R_{сж}$

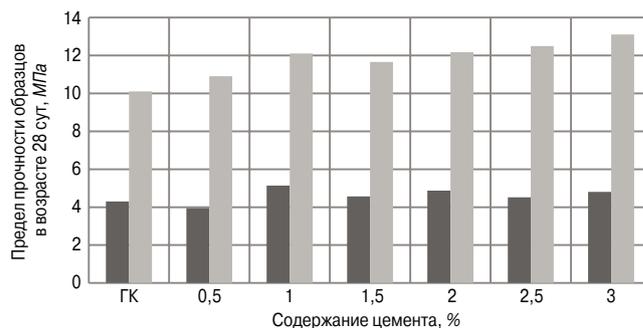


Рис. 4. Влияние портландцемента и металлургической пыли (0,8%) на физико-механические свойства гипсового вяжущего: ■ –  $R_{изг}$ ; ■ –  $R_{сж}$

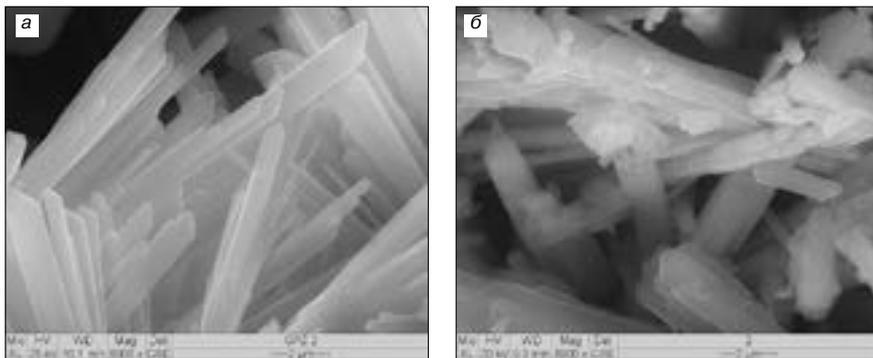


Рис. 5. Микроструктура гипсовой матрицы ( $\times 8000$ ): а – без добавок; б – при комплексном введении металлургической пыли (0,8%) и портландцемента (2,5%)

гипса и приводит к росту предела прочности при сжатии на 23%.

Для интенсификации процессов структурообразования гипсовой композиции было принято решение о введении в состав совместно с металлургической пылью портландцемента марки ЦЕМ II А компании ОАО «Магнитогорский цементно-огнеупорный завод» (г. Магнитогорск). Предполагается, что комплексное введение металлургической пыли и портландцемента будет способствовать формированию плотной структуры композита за счет формирования новообразований в межкристаллитном пространстве двуводного гипса.

Для определения влияния металлургической пыли на смешанное вяжущее был произведен подбор оптимального содержания портландцемента, концентрация которого составила от 0,5 до 3%. Изменение физико-механических характеристик материала представлено на рис. 4.

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что оптимальное содержание цемента составляет 2,5–3% от массы вяжущего; при этом предел прочности при сжатии увеличивается на 29,8%. Исходя из химического состава колошниковой пыли улучшение механических характеристик композиции связано с формированием матрицы повышенной плотности и образованием малорастворимых продуктов гидратации на основе гидросиликатов и низкоосновных гидросульфферритов ( $3\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) кальция.

Для интерпретации полученных данных композиции были исследованы с помощью инфракрасного спектрометра в области частот  $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ . ИК-спектральный анализ образцов гипсового вяжущего показал на спектре полосы поглощения с волновыми числами  $669,3$ ,  $601,79$ ,  $1136,07$  и  $1120,64\text{ см}^{-1}$ , обусловленные наличием иона  $\text{SO}_4^{2-}$ ; полосы с волновыми числами  $877,61$  и  $1436,97\text{ см}^{-1}$ , обусловленные наличием группировки  $\text{CO}_3^{2-}$ ; две полосы поглощения в интервале  $1600\text{--}1700\text{ см}^{-1}$ , вызванные деформационными колебаниями молекул воды, а также колебания в интервале частот  $3200\text{--}3800\text{ см}^{-1}$ , связанные с симметричными и асимметричными валентными колебаниями ОН-групп в молекулах воды.

Анализ ИК-спектров образцов с комплексным введением пыли и цемента показал, что интенсивность линий поглощения, соответствующих сульфатам ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) и воде ( $\text{H}_2\text{O}$ ), не изменяется. Однако отмечаются сдвиги частот, соответствующих ионам  $\text{CO}_3^{2-}$  ( $1431,18$ ,  $873,75\text{ см}^{-1}$ ), а также частот, связанных с валентными колебаниями гидроксильных групп в молекулах воды ( $3347,09\text{ см}^{-1}$ ). Это свидетельствует об изменении длины связей с участием гидроксильных групп, связанных с изменением морфологии кристаллогидратных новообразований (рис. 5, б).

Микроструктурный анализ гипсового композита показал (рис. 5, а), что формируется структура, сложенная

из призматических кристаллов, хаотично распределенных в объеме матрицы, характеризующаяся повышенной пористостью и слабыми контактами между кристаллогидратами. При комплексном введении металлургической пыли и портландцемента в состав гипса создаются условия для организации аморфных структур (рис. 5, б), которые формируются в межфазных слоях, дополнительно уплотняя и связывая кристаллы двуводного сульфата кальция.

#### Выводы.

При комплексном введении в гипсовое вяжущее 3% цемента и 0,8% металлургической пыли происходит улучшение физико-механических характеристик: прирост прочности при сжатии составляет 29,8%. Введение минерального модификатора, включающего портландцемент и металлургическую пыль, способствует формированию матрицы повышенной плотности, образованию малорастворимых продуктов гидратации на основе гидросиликатов и низкоосновных гидросульфферритов кальция, что подтверждают данные микроструктурного и ИК-спектрального анализа.

#### Список литературы

1. Гончаров Ю.А., Дубровина Г.Г., Губская А.Г., Бурьянов А.Ф. Гипсовые материалы и изделия нового поколения. Оценка энергоэффективности. Минск: Колорград, 2016. 336 с.
2. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986. 464 с.
3. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И., Петропавловская В.Б., Фишер Х.-Б., Маева И.С., Новиченкова Т.Б. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция: Монография. М.: Де Нова, 2012. 196 с.
4. Будников П.П. Гипс и его исследование. Ленинград: Издательство Академии наук СССР, 1933. 261 с.
5. Копелянский Г.Д. Стойкость гипсовых вяжущих против влажностных влияний при нормативных и повышенных температурах // *Сборник трудов Росгипса*. 1947. Вып. 4. С. 21–32.
6. Корвяков В.Ф. Современные достижения в области создания водостойких гипсовых вяжущих // *Сборник научных трудов ГУП «НИИМОССТРОЙ»*, 2006. 149 с.
7. Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. No. 1, pp. 113–122.
8. Патент РФ 2368580. Способ получения гипсоцементно-пуццоланового вяжущего / Черных В.Ф., Косулина Т.П., Альварис Яхья, Солнцева Т.А. [и др.]. Заявл. 06.11.2007. Оpubл. 27.09.2009. Бюл. № 27.
9. Патент РФ 2377203. Гипсоцементно-пуццолановая композиция / Ерофеев В.Т., Спиринов В.А., Казначеев С.В. [и др.]. Заявл. 29.12.2008. Оpubл. 27.17.2009. Бюл. № 36.
10. Изряднова О.В., Сычугов С.В., Полянских И.С., Первушин Г.Н., Яковлев Г.И. Полифункциональная добавка на основе углеродных нанотрубок и микрокремнезема для улучшения физико-механических характеристик гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // *Строительные материалы*. 2015. № 2. С. 63–67.
11. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаудинов А.Р. Исследование влияния активных минеральных добавок на реологические и физико-механические

свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // *Строительные материалы*. 2015. № 5. С. 20–23.

12. Халиуллин М.И., Нуриев М.И., Гайфуллин А.Р., Рахимов Р.З. Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее с добавкой керамзитовой пыли // *Материалы VIII международной научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»*. 8–9 сентября 2016 г. Майкоп. С. 196–201.
13. Доманская И.К., Шадрин О.А. Особенности формирования фазового состава гипсоцементно-пуццоланового вяжущего композиций // *Сборник трудов III Веймарской гипсовой конференции*. 14–15 марта 2017 г. Веймар (Германия). С. 226–234.
14. Garg M., Pundir A. Comprehensive of fly ash binder developed with fly ash – Alpha gypsum plaster – Portland cement. *Construction and Building Materials*. 2012. No. 37, pp. 758–765. (In Russian).
15. Патент РФ № 2252202. *Гипсовое вяжущее* / Васнецова К.Б., Окунев А.И., Уфимцев В.М. Заявл. 03.02.2004. Оpubл. 20.05.2005. Бюл. № 14.
16. Гордина А.Ф. Композиционные материалы на основе сульфата кальция с дисперсными модификаторами. Дисс...канд. техн. наук. Казань. 2016. 160 с.

#### References

1. Goncharov Yu.A., Dubrovina G.G., Gubskaya A.G., Bur'yanov A.F. Gipsovye materialy i izdeliya novogo pokoleniya. Otsenka energoeffektivnosti [Gypsum materials and products of new generation. Evaluation of energy efficiency]. Minsk: Kolorgrad. 2016. 336 p.
2. Volzhenskiy A.V. Mineral'nye vyazhushchie veshchestva [Mineral binders]. Moscow: Stroyizdat 1986. 464 p.
3. Belov V.V., Bur'yanov A.F., Yakovlev G.I., Petropavlovskaya V.B., Fisher Kh.-B., Maeva I.S., Novichenkova T.B. Modifikatsiya struktury i svoystv stroitel'nykh kompozitov na osnove sul'fata kal'tsiya: monografiya [Modification of the structure and properties of building composites based on calcium sulphate]. Moscow: De Nova. 2012. 196 p.
4. Budnikov P.P. Gips i ego issledovanie [Gypsum and its research]. Leningrad: Izdatel'stvo akademii nauk SSSR. 1933. 261 p.
5. Kopolyanskiy G.D. Persistence of gypsum binders against moisture effects at standard and elevated temperatures. *Proceeding of Roshyds*. 1947. No. 4, pp. 21–32. (In Russian).
6. Korovyakov V.F. Modern achievements in the field of creation of waterproof gypsum binders. *Sbornik nauchnykh trudov GUP «NIIMOSSTROI»*. 2006. 149 p. (In Russian).
7. Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. No. 1, pp. 113–122.
8. Патент РФ 2368580. *Sposob polucheniya gipsotsementno-puttsolanovogo vyazhushchego* [Method for obtaining gypsum cement-pozzolanic binder]. Chernykh V.F., Kosulina T.P., Al'varis Yakh'ya, Solntseva T.A. [etc.]. Declared 06.11.2007. Published 27.09.2009. Bulletin No. 27. (In Russian).
9. Патент РФ 2377203. *Gipsotsementno-puttsolanovaya kompozitsiya* [Gypsum cement-pozzolanic composition]. Erofeev V.T., Spirin V.A., Kaznacheev S.V. [etc.]. Declared 29.12.2008. Published 27.17.2009. Bulletin No. 36. (In Russian).
10. Izryadnova O.V., Sychugov S.V., Polyanskikh I.S., Pervushin G.N., Yakovlev G.I. Polifunktsional'naya dobavka na osnove uglerodnykh nanotrubok i mik-

rokremnezema dlya uluchsheniya fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik gipsotsementno-puttsolanovogo vyazhushchego [Polyfunctional additive on the basis of carbon nanotubes and microsilica to improve the physico-mechanical characteristics of the gypsum cement-pozzolanic binder]. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 2, pp. 63–67. (In Russian).

11. Izotov V.S., Mukhametrakhimov R.Kh., Galautdinov A.R. Issledovanie vliyaniya aktivnykh mineral'nykh dobavok na reologicheskie i fiziko-mekhanicheskie svoystva gipsotsementno-puttsolanovogo vyazhushchego [Investigation of the effect of active mineral additives on the rheological and physico-mechanical properties of a gypsum cement-pozzolanic binder]. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 5, pp. 20–23. (In Russian).
12. Khaliullin M.I., Nuriev M.I., Gaifullin A.R., Rakhimov R.Z. Gypsum cement-pozzolanic binder with the addition of claydite dust. *Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference "Increasing the efficiency of production and application of gypsum materials and products"*. 8–9 September 2016. Maykop (Rossiya), pp. 196–201. (In Russian).
13. Domanskaya I.K., Shadrina O.A. Features of the formation of the phase composition of gypsum ash binders. *Proceeding 3 Weimar gipstagung*. 14–15 March 2017. Weimar (Germany), pp. 226–234.
14. Garg M., Pundir A. Comprehensive of fly ash binder developed with fly ash – Alpha gypsum plaster – Portland cement. *Construction and Building Materials*. 2012. No. 37, pp. 758–765.
15. Патент РФ № 2252202 *Gipsovoe vyazhushchee* [Gypsum binder] / Vasnetsova K.B., Okunev A.I., Ufimtsev V.M.; Declared 03.02.2004. Published 20.05.2005. Bulletin No. 14. (In Russian).
16. Gordina A.F. Composite materials based on calcium sulphate with dispersant modifiers. Cand. Diss. (Engineering). Kazan. 2016. 160 p. (In Russian).



# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера, 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 (ссылки на авторефераты диссертаций не допускаются).

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.

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, \*.docx 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. 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/aytoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/aytoru.pdf)

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/88>

26-29 СЕНТЯБРЯ

УФА 2017

ОРГАНИЗАТОР:



ПОДДЕРЖКА:



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН  
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ



МИНИСТЕРСТВО  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
И ИННОВАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ  
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



МИНИСТЕРСТВО ЖИЛИЩНО-  
КОМУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА  
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



АССОЦИАЦИЯ  
ПРОМЫШЛЕННИКОВ  
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

СОДЕЙСТВИЕ:



СОЮЗ СТРОИТЕЛЕЙ  
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



ИТО СТРОИТЕЛЕЙ

# ФОРУМ УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ



**СТРОИТЕЛЬСТВО**

XXVII специализированная выставка

**ДЕРЕВООБРАБОТКА**

III специализированная выставка

**НЕДВИЖИМОСТЬ**

XI специализированная выставка



(347) 246-42-38, 246-42-37

e-mail: [stroy@bvkexpo.ru](mailto:stroy@bvkexpo.ru)

[www.stroybvk.ru](http://www.stroybvk.ru)

Место проведения

**ВДНХ ЭКСПО**

ул. Менделеева, 158



#БВК #стройБВК

# KazBuild

ufi  
Approved  
Event

## WorldBuild Almaty

Главная международная  
строительная и интерьерная  
выставка Казахстана

5-8 сентября 2017

Атакент, Алматы, Казахстан

подробная информация:  
[www.worldbuild-almaty.kz](http://www.worldbuild-almaty.kz)



# WorldBuild

ufi  
Approved  
Event

## Baku

23-я Азербайджанская  
Международная Выставка  
«Строительство»

18 - 21 октября 2017

Баку Экспо Центр, Баку, Азербайджан

Для дополнительной информации  
[www.worldbuild.az](http://www.worldbuild.az)



[www.fb.com/WorldBuildBaku](https://www.facebook.com/WorldBuildBaku) #WorldBuildBaku



Тел. : +99412 404 10 00  
Факс : +99412 404 10 01  
E-mail: [build@iteca.az](mailto:build@iteca.az)