

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

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

## № 11

Основан в 1955 г.

(719) ноябрь 2014 г.

**Главный редактор:**

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

**Редакционный совет:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,  
 журнал «Строительные материалы»®, 2014

**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**

**Материалы для дорожного строительства**

В.В. СТОЛЯРОВ, Д.М. НЕМЧИНОВ

**Оптимизация числа полос движения на сети дорог национального  
и регионального значения на основе требуемого уровня надежности сети ..... 3**

М.С. ЛЕБЕДЕВ, В.В. СТРОКОВА, И.Ю. ПОТАПОВА, Э.В. КОТЛЯРСКИЙ

**Влияние добавок низкокальциевой золы-уноса ТЭС  
на характеристики дорожного битумного вяжущего. .... 8**

О.Ю. МОСКАЛЕВ, Н.Е. КОКОДЕЕВА

**Учет слоя композита «геоячейки+материал» при прогнозировании  
коэффициента вариации эквивалентного модуля упругости. .... 12**

А.С. ФОМИНА, Е.Е. ДОЛЖНИКОВА

**Модули упругости земляного полотна автомобильных дорог. .... 16**

**Пожарная безопасность строительных материалов**

Н.И. КОНСТАНТИНОВА, К. ВЕБЕР, Г.В. АФНАСЬЕВА, Ф. НОРБЕРТ

**Исследование пожарной безопасности гидроветрозащитных мембран  
для ограждающих конструкций. .... 21**

В.А. УШКОВ, Е.В. СОКОРЕВА, А.М. СЛАВИН, А.М. ОРЛОВА

**Термостойкость и пожарная опасность строительных пенопластов  
на основе реакционноспособных олигомеров. .... 28**

**KELLER H.C.W. 55 лет работы под лозунгом: «Качество глины превыше всего!»  
(Информация) ..... 33**

Е.И. ЮМАШЕВА

**Российская гипсовая отрасль вышла на европейский уровень технологии  
и качества (Информация) ..... 36**

**Материалы и конструкции**

С.В. ВАВРЕНЮК, А.В. ОГНЕВ, А.С. САМАРДАК, В.Г. ВАВРЕНЮК

**Возможность получения металлических покрытий по бетону. .... 41**

Л.А. ОПАРИНА

**Учет энергоемкости строительных материалов на разных стадиях жизненного  
цикла зданий ..... 44**

**Нанотехнологии в строительстве**

Е.В. КОРОЛЕВ

**Нанотехнология в строительном материаловедении.**

**Анализ состояния и достижений. Пути развития. .... 47**

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

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

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

Monthly scientific-technical and industrial journal

# STROYTEL'NYE MATERIALY® No. 11

Founded in 1955

(719) November 2014 r.

### Editor-in-chief

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

### Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Materials for road construction

V.V. STOLYAROV, D.M. NEMCHINOV

**Optimization of the Number of Traffic Lanes on National  
and Regional Highways on the Basis of Required Reliability Level..... 3**

M.S. LEBEDEV, V.V. STROKOVA, I.Yu. POTAPOVA, E.V. KOTLYARSKII

**Effect of Additives of CHP Low-Calcium Fly Ash on Characteristics  
of a Road Bitumen Binder..... 8**

O.Yu. MOSKALEV, N.E. KOKODEEVA

**Accounting of a "Geocells+Material" Composite Layer when Forecasting  
the Coefficient of Variation of Equivalent Elastic Modulus..... 12**

A.S. FOMINA, E.E. DOLZHNIKOVA

**Elastic Modulus of a Road Bed of Automobile Roads..... 16**

### Fire safety of construction materials

N.I. KONSTANTINOVA, Veber KARLO, G.V. AFANASIEVA, Frey NORBERT

**Research in Fire Safety of Hydro-Windproof Membranes for Enclosing Structures..... 21**

V.A. USHKOV, E.V. SOKOREVA, A.M. SLAVIN, A.M. ORLOVA

**Thermal Resistance and Fire Hazard of Building Foam Plastics  
on the Basis of Reactive Oligomers..... 28**

**KELLER H.C.W. 55 Years of Work under the Slogan «The Quality of Clay Above All!»  
(Information)..... 33**

E.I. YUMASHEVA

**Russian Gypsum Industry Entered the European Level of Technology and Quality  
(Information)..... 36**

### Materials and structures

S.V. VAVRENUK, A.V. OGNEV, A.S. SAMARDAK, V.G. VAVRENUK

**The possibility of obtaining metal coatings on the concrete substrate..... 41**

L.A. OPARINA

**Accounting for Power Consumption of Building Materials at Different Stages  
of Life Cycle of Buildings..... 44**

### Nanotechnologies in construction

E.V. KOROLEV

**Nanotechnology in material science. Analysis of achievements and current state..... 47**

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

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

УДК 625.7

В.В. СТОЛЯРОВ, д-р техн. наук (stolyarov\_v\_v@mail.ru), Д.М. НЕМЧИНОВ, канд. техн. наук  
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

## Оптимизация числа полос движения на сети дорог национального и регионального значения на основе требуемого уровня надежности сети

Проведен анализ риска возникновения затруднений движения или неполной загрузки участка сети автомобильных дорог. Он важен при планировании и оптимизации развития сети автомобильных дорог, в том числе с учетом их функционального назначения. Инструментом оптимизации может быть анализ риска недостаточности или избыточности числа полос движения. Анализ может проводиться как для суточной, так и часовой интенсивности движения с учетом применения различных формул перехода. Для анализа ситуации недостаточности числа полос движения с последующим возникновением заторов применяется анализ риска с использованием часа пиковой загрузки. Для анализа ситуации избыточности числа полос движения с недостаточной загрузкой построенной автомобильной дороги используются часы непиковой загрузки. Анализ проведен для уровня надежности сети автомобильных дорог 0,9. В статье рассмотрен пример анализа для участка автомобильной дороги, интенсивность движения по которой близка к границе, установленной нормативно-техническими документами для 4 и 6 полос движения.

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, анализ рисков, дорожное строительство, оптимизация числа полос движения, сеть дорог, требуемый уровень надежности сети.

V.V. STOLYAROV, Doctor of Sciences (Engineering) (stolyarov\_v\_v@mail.ru), D.M. NEMCHINOV, Candidate of Sciences (Engineering) Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin (77, Polytechnicheskaya Street, Saratov, 410054, Russian Federation)

### Optimization of the Number of Traffic Lanes on National and Regional Highways on the Basis of Required Reliability Level

An analysis of the risk of appearance of hindrance to traffic or partial load of a part of automobile road network has been carried out. This analysis is very important in the course of planning and optimization of development of motor road network with due regard for their functional purpose. An analysis of risk of lack or excess of traffic lanes can be an instrument of optimization. The analysis can be carried out both for daily and hourly intensity of traffic with the use of different formulas of transition. For analyzing the lack of traffic lanes with subsequent appearance of traffic blocks the risk analysis is used with application of an hour peak load. For analyzing the situation of redundancy of traffic lanes of the built motor road with partial loading the hours of non-peak loading are used. The analysis was conducted for motor road network reliability level of 0.9. The article considers the example of analysis for the part of motor road the intensity of traffic on which is close to the limit established by normative-technical documents for 4 and 6 traffic lanes.

**Keywords:** motor roads, analysis of risks, road construction.

Сети дорог национального и регионального значения, обеспечивающие связь на дальние и средние расстояния, должны осуществлять транспортное обслуживание населения и экономическую деятельность на территориях с кардинально различающимся уровнем экономического развития и плотностью населения. Дороги местного значения исходя из соображений безопасности движения должны иметь не более двух полос движения суммарно в обоих направлениях; недостаток пропускной способности на таких дорогах должен решаться исключительно развитием альтернативных маршрутов. Транспортная нагрузка на дороги национального значения должна существенно отличаться в зависимости от уровня развития связываемых территорий [1, 2]. В целях исключения строительства невостребованных сооружений необходима оптимизация дорог национального и межрегионального значения по требуемому числу полос движения в соответствии с макроэкономической точкой зрения на необходимую пропускную способность дорог, при которой будет обеспечен приемлемый уровень обслуживания участников движения.

Инструментом оптимизации может быть анализ риска недостаточности или избыточности числа полос движения. Риск того, что число полос движения на данной дороге в году  $t$  должно быть меньше, чем принято при проектировании:

$$r_t^{\min} = 0,5 - \Phi \left( \frac{N_t - N_{\min}}{\sqrt{\sigma_{N_t}^2 + \sigma_{N_{\min}}^2}} \right). \quad (1)$$

Риск того, что число полос движения в году  $t$  должно быть больше, чем принято при проектировании:

$$r_t^{\max} = 0,5 - \Phi \left( \frac{N_{\max} - N_t}{\sqrt{\sigma_{N_{\max}}^2 + \sigma_{N_t}^2}} \right), \quad (2)$$

где  $\Phi(U)$  – табулированная функция Лапласа;  $N_t$  – расчетная интенсивность движения на анализируемом участке дороги в году  $t$ ;  $N_{\min}$  – минимальная интенсивность движения, допустимая согласно нормативным документам для принятого числа полос движения, при котором риск уменьшения числа полос движения на одну полосу в каждом направлении равен 50%, авт./сут;  $N_{\max}$  – максимальная интенсивность движения, допустимая согласно нормативным документам для принятого числа полос движения, при котором риск увеличения числа полос движения на одну полосу в каждом направлении равен 50%, авт./сут;  $\sigma_{N_{\max}}$ ,  $\sigma_{N_{\min}}$ ,  $\sigma_{N_t}$  – среднеквадратические отклонения соответствующих значений интенсивности движения, авт./сут:

$$\sigma_{N_{\max}} = C_V^{\max} \cdot N_{\max}; \quad (3)$$

$$\sigma_{N_{\min}} = C_V^{\min} \cdot N_{\min}; \quad (4)$$

$$\sigma_{N_t} = C_V^t \cdot N_t, \quad (5)$$

где  $C_V$  – коэффициент вариации, определенный по формулам:

Таблица 1

$P_n^{TP}$ (надежность)	0,98	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
$r_{доп}$	$2 \cdot 10^{-2}$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
$\Phi(U)$	0,48	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25
$U_{тр}$	2,05	1,647	1,282	1,034	0,844	0,675

Таблица 2

Рельеф местности	Приведенная к легковым автомобилям интенсивность движения, авт./сут		Число полос движения
	$N_{min}^{sym}$	$N_{max}^{sym}$	
Равнинный и пересеченный рельефы	–	$\leq 14000$	2
	$> 14000$	$\leq 40000$	4
	$> 40000$	$\leq 80000$	6
	$> 80000$	–	8
Горный рельеф	–	$\leq 14000$	2
	$> 14000$	$\leq 34000$	4
	$> 34000$	$\leq 70000$	6
	$> 70000$	–	8

– коэффициент вариации с учетом того, что проектное число полос движения на участке дороги увеличится в году  $t$  при соответствующем превышении интенсивности движения  $N_t$  над  $N_{min}$  (при  $N_t > N_{min}$ ):

$$C_V^{N_{max}} = \sqrt{\frac{N_{min}^2 - 2 \cdot N_{min} \cdot N_t + N_t^2 - (C_V^{доп} \cdot N_{min} \cdot U_{тр})^2}{(U_{тр} \cdot N_t)^2}} \quad (6)$$

– коэффициент вариации с учетом того, что проектное число полос движения на участке дороги уменьшится в году  $t$  при соответствующем превышении интенсивности движения  $N_{max}$  над  $N_t$  (при  $N_{max} > N_t$ ):

$$C_V^{N_{min}} = \sqrt{\frac{N_{max}^2 - 2 \cdot N_{max} \cdot N_t + N_t^2 - (C_V^{доп} \cdot N_{max} \cdot U_{тр})^2}{(U_{тр} \cdot N_t)^2}} \quad (7)$$

где  $C_V^{доп} = 0,05$  – допустимый коэффициент вариации, при котором риск увеличения или уменьшения требуемого числа полос движения на дороге (участке сети) минимален;  $U_{тр}$  – квантиль подынтегральной функции, соответствующая требуемому уровню надежности ( $P_n^{TP}$ ) на участке сети или на всей сети. Требуемый уровень надежности ( $P_n^{TP}$ ) связан с допустимым риском зависимостью  $P_n^{TP} = 1 - r_{доп}$ . Значение квантили  $U_{тр}$  устанавливают в зависимости от требуемого уровня надежности или допустимого значения риска по табл. 1.

Определение значения квантили  $U_{тр}$  по заданному уровню требуемой надежности:

$$1. \Phi(U) = P_n - 0,5 \quad (8)$$

2. вычисленное значение  $\Phi(U)$  находят в поле таблиц функции Лапласа и с входов таблицы выбирают искоемое значение  $U_{тр}$ .

Например, при  $P_n = 0,98$  определяют по формуле (8) значение функции Лапласа (значение интеграла

$$\Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^U e^{-\frac{u^2}{2}} du).$$

$$\Phi(U) = P_n - 0,5 = 0,98 - 0,5 = 0,48.$$

Затем в поле таблицы находят значение 0,48 и с ее входов выбирают  $U = 2,05$  (первое значение в табл. 1).

1. Предельные значения интенсивности движения ( $N_{max}$  и  $N_{min}$ , авт./сут), при которых меняется число полос движения на автомобильных дорогах или на участках сети автомобильных дорог, определяют согласно действующим на момент выполнения работы нормативно-техническим документам (СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» (Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85. Автомобильные дороги.)

Фактическое значение квантили подынтегральной функции определяют в формулах (1) и (2) по выражениям:

$$- \text{ в формуле (1) } U = \frac{N_t - N_{min}}{\sqrt{\sigma_{N_{max}}^2 + \sigma_{N_{min}}^2}};$$

$$- \text{ в формуле (2) } U = \frac{N_{max} - N_t}{\sqrt{\sigma_{N_{max}}^2 + \sigma_{N_t}^2}}.$$

Затем по таблицам функции Лапласа выписывают значение интеграла  $\Phi(U)$  и по формулам (1) и (2) определяют соответствующие значения риска.

Переход от суточной интенсивности движения к часовой для оценки уровня надежности сети и/или ее участка с точки зрения часовых пиковых транспортных нагрузок (использованных во всех приведенных формулах) осуществляют с применением коэффициентов перевода, например по формулам В.В. Сильянова и Ю.М. Ситникова:

$$- \text{ для внепикового периода } N_{ч} = 0,076 \cdot N_{сут} \quad (9)$$

$$- \text{ для пикового периода } N_{ч} = 0,152 \cdot N_{сут} \quad (10)$$

или используют коэффициенты перевода из нормативно-технических документов.

Для значений интенсивности движения  $N_t$ , входящей в формулы (1), (2), (5), (6), (7), коэффициент вариации определяют по зависимости:

$$C_V^{N_t} = \frac{C_V^{N_{max}} \cdot N_{max} + C_V^{N_{min}} \cdot N_{min}}{N_{max} + N_{min}} \quad (11)$$

где  $C_V^{N_{max}}$  и  $C_V^{N_{min}}$  определяют по формулам (6) и (7);  $N_{max}$  и  $N_{min}$  – см. формулы (9) и (10) и примеры расчета.

В табл. 2 приведены параметры для  $N_{min}^{sym}$  и  $N_{max}^{sym}$  смежных полос движения. Пусть анализируемый участок сети в году  $t$  имеет следующие входные параметры:

– число полос движения – 4;

– суммарная приведенная к легковому автомобилю суточная интенсивность движения в году  $t$  в обоих направлениях движения – 35500 авт./сут;

– по табл. 2 для четырехполосной дороги с центральной разделительной полосой получаем предельные значения интенсивности движения на анализируемом участке сети дорог:  $N_{min} = 14000$  авт./сут;  $N_{max} = 40000$  авт./сут.

Необходимо определить уровень надежности использования четырехполосной дороги, когда интенсивность движения на данном участке сети (35500 авт./сут) приближается к максимальному значению (40000 авт./сут).

Пусть требуемый уровень надежности данного участка сети (или всей сети) соответствует значению  $P_n^{TP} = 0,9$ , что означает: в 90% времени участок будет со-

ответствовать оптимальному состоянию, а 10% времени ( $r_t=0,1$ ) в году  $t$  будет подвержен снижению уровня надежности.

Последовательность определения фактического уровня надежности данного участка сети и сравнение фактической надежности с требуемой:

Алгоритм расчета:

1. По формуле (10) устанавливаем часовую интенсивность движения на четырех полосах (в обоих направлениях дороги). Для часа пик предельные значения часовой интенсивности движения составят:

$$N_{\text{ч}}^{\text{min}} = 0,152 \cdot 14000 = 2128 \text{ авт./ч};$$

$$N_{\text{ч}}^{\text{max}} = 0,152 \cdot 40000 = 6080 \text{ авт./ч};$$

$$N_{\text{ч}}^{\text{факт}} = N_t = 0,152 \cdot 35500 = 5396 \text{ авт./ч}.$$

2. По требуемому уровню надежности  $P_H^{\text{тп}}=0,9$  или по допустимому значению риска  $r_t^{\text{доп}}=0,1$  в году  $t$  определяем требуемое (допустимое) значение функции Лапласа. По формуле (8) получаем:

$$\Phi(U) = P_H - 0,5 = 0,9 - 0,5 = 0,4.$$

3. По табл. 1, используя  $P_H^{\text{тп}}=0,9$ ;  $r_t=0,1$ ;  $\Phi(U)=0,4$ , находим:  $U_{\text{тп}}=1,282$ .

4. По формулам (6) и (7) определяем коэффициенты вариации перевода четырехполосного участка сети в шестиполосный и двухполосный в зависимости от интенсивности движения  $N_t$  в году  $t$ :

– по формуле (6) определяем коэффициент вариации интенсивности движения в году  $t$ , используемый в расчете риска увеличения числа полос движения:

$$C_V^{N_{\text{max}}} = \sqrt{\frac{N_{\text{min}}^2 - 2 \cdot N_{\text{min}} \cdot N_t + N_t^2 - (C_V^{\text{доп}} \cdot N_{\text{min}} \cdot U_{\text{тп}})^2}{(U_{\text{тп}} \cdot N_t)^2}} = 0,472;$$

– по формуле (7) определяем коэффициент вариации интенсивности движения в году  $t$ , используемый в расчете риска уменьшения числа полос движения:

$$C_V^{N_{\text{min}}} = \sqrt{\frac{N_{\text{max}}^2 - 2 \cdot N_{\text{max}} \cdot N_t + N_t^2 - (C_V^{\text{доп}} \cdot N_{\text{max}} \cdot U_{\text{тп}})^2}{(U_{\text{тп}} \cdot N_t)^2}} = 0,081.$$

5. По формулам (3), (4), (5), (11) определяем среднеквадратические отклонения соответствующих интенсивностей движения:

– по формуле (3):

$$\sigma_{N_{\text{max}}} = C_V^{\text{max}} \cdot N_{\text{max}} = 0,472 \cdot 6080 = 2870 \text{ авт./ч};$$

– по формуле (4):

$$\sigma_{N_{\text{min}}} = C_V^{\text{min}} \cdot N_{\text{min}} = 0,081 \cdot 2128 = 172 \text{ авт./ч};$$

– используя формулу (11), получаем:

$$C_V^{N_t} = \frac{C_V^{N_{\text{max}}} \cdot N_{\text{max}} + C_V^{N_{\text{min}}} \cdot N_{\text{min}}}{N_{\text{max}} + N_{\text{min}}} = \frac{6080 \cdot 0,472 + 2128 \cdot 0,081}{6080 + 2128} = 0,371;$$

– по формуле (5):

$$\sigma_{N_t} = C_V^t \cdot N_t = 0,371 \cdot 5396 = 2002 \text{ авт./ч}.$$

6. По формулам (1) и (2) определяем:

– по формуле (2) риск того, что существующий (или проектируемый) участок сети потребует сделать шириной шесть полос движения:

$$r_t^{\text{max}} = 0,5 - \Phi\left(\frac{N_{\text{max}} - N_t}{\sqrt{\sigma_{N_{\text{max}}}^2 + \sigma_{N_t}^2}}\right) =$$

$$= 0,5 - \Phi\left(\frac{6080 - 5396}{\sqrt{2870^2 + 2002^2}}\right) = 0,4228 \approx 0,423;$$

– по формуле (1) риск того, что существующий (или проектируемый) участок сети будет достаточно делать шириной две полосы движения:

$$r_t^{\text{min}} = 0,5 - \Phi\left(\frac{N_t - N_{\text{min}}}{\sqrt{\sigma_{N_t}^2 + \sigma_{N_{\text{min}}}^2}}\right) =$$

$$= 0,5 - \Phi\left(\frac{5396 - 2128}{\sqrt{2002^2 - 172^2}}\right) \approx 0,052.$$

7. Фактический уровень надежности при применении четырехполосного участка дороги:

– по возможности перевода этого участка на шестиполосную дорогу:

$$P_H^{\text{max}} (6 \text{ пол}) = 1 - r_t^{\text{max}} = 1 - 0,423 = 0,577 \approx 0,58;$$

– по возможности перевода этого участка с четырех полос на двухполосную дорогу:

$$P_H^{\text{min}} (2 \text{ пол}) = 1 - r_t^{\text{min}} = 1 - 0,052 = 0,948 \approx 0,95.$$

По результатам расчетов получили:

1. Участок сети с четырьмя полосами движения загружен (или будет загружен при развитии сети) в году  $t$  таким образом, что риск нехватки полос движения в соответствии с нормативными требованиями (СП 34.13330.2012 и СНиП 2.05.02–85) будет составлять 42,3% времени. В этот период на четырехполосном участке сети будут возникать заторы.

2. Риск омертвления капитала в связи с тем, что построен (или проектируется) четырехполосный участок сети, а не двухполосный, ничтожен, так как такой риск будет наблюдаться не более 5,2% времени в году  $t$ .

3. Фактический уровень надежности 0,58 значительно меньше требуемого ее уровня 0,9. Другими словами, вместо 90% времени движения по участку дороги без заторов в году  $t$  такие условия движения будут наблюдаться только 58% времени.

4. В течение 5,2% времени в году  $t$  на данном участке сети ожидается свободный режим движения, когда все четыре полосы дороги будут недостаточно загружены.

5. Несмотря на то что интенсивность  $N_t=5396$  авт./ч находится в нормативных пределах (между  $N_{\text{min}}=2128$  авт./ч и  $N_{\text{max}}=6080$  авт./ч), в проекте развития сети необходимо рассмотреть возможность увеличения количества полос движения до шести (по три в каждом направлении движения).

Рассмотрим этот пример расчета, указав новое соотношение полос: за базовый вариант примем шестиполосную дорогу и оценим риск перехода на четырех- и восьмиполосные варианты планировочных решений. Новые параметры анализируемого участка автомобильной дороги в составе сети:

– число полос движения – 6;

– суммарная приведенная к легковому автомобилю суточная интенсивность движения в году  $t$  в обоих направлениях движения – 35500 авт./сут;

– по табл. 2 для шестиполосной дороги с центральной разделительной полосой получаем предельные значения интенсивности движения на анализируемом участке сети дорог:  $N_{\text{min}}=40000$  авт./сут;  $N_{\text{max}}=80000$  авт./сут.

Требуемый уровень надежности данного участка сети установлен, как и в первом случае, на уровне  $P_H^{TP}=0,9$ . Алгоритм повторного расчета:

1. По формуле (10) устанавливаем часовую интенсивность движения на шести полосах (в обоих направлениях дороги).

Для часа пик предельные значения часовой интенсивности движения составят:

$$N_{\text{ч}}^{\min} = 0,152 \cdot 40000 = 6080 \text{ авт./ч;}$$

$$N_{\text{ч}}^{\max} = 0,152 \cdot 80000 = 12160 \text{ авт./ч;}$$

$$N_{\text{ч}}^{\text{факт}} = N_t = 0,152 \cdot 35500 = 5396 \text{ авт./ч.}$$

2. По требуемому уровню надежности  $P_H^{TP}=0,9$  или по допустимому значению риска  $r_t^{\text{доп}}=0,1$  в году  $t$  определяем требуемое (допустимое) значение функции Лапласа. По формуле (8) получаем:

$$\Phi(U) = P_H - 0,5 = 0,9 - 0,5 = 0,4.$$

3. По табл. 1, используя  $P_H^{TP}=0,9$ ;  $r_t=0,1$ ;  $\Phi(U)=0,4$ , находим  $U_{TP}=1,282$ .

4. По формулам (6) и (7) определяем коэффициенты вариации перевода шестиполосного участка сети в восьмиполосный и четырехполосный в зависимости от интенсивности движения  $N_t$  в году  $t$ :

– по формуле (6) определяем коэффициент вариации интенсивности движения в году  $t$ , используемый в расчете риска увеличения числа полос движения:

$$C_V^{N_{\max}} = \sqrt{\frac{N_{\min}^2 - 2 \cdot N_{\min} \cdot N_t + N_t^2 - (C_V^{\text{доп}} \cdot N_{\min} \cdot U_{TP})^2}{(U_{TP} \cdot N_t)^2}} = 0,081;$$

– по формуле (7) определяем коэффициент вариации интенсивности движения в году  $t$ , используемый в расчете риска уменьшения числа полос движения:

$$C_V^{N_{\min}} = \sqrt{\frac{N_{\max}^2 - 2 \cdot N_{\max} \cdot N_t + N_t^2 - (C_V^{\text{доп}} \cdot N_{\max} \cdot U_{TP})^2}{(U_{TP} \cdot N_t)^2}} = 0,971.$$

Получили высокий коэффициент вариации, показывающий, что участок дороги может быть четырехполосным. Однако риск заторов, как было в первом случае, становится невозможным.

5. По формулам (3), (4), (5), (11) определяем среднеквадратичные отклонения соответствующих значений интенсивности движения:

– по формуле (3):

$$\sigma_{N_{\max}} = C_V^{\max} \cdot N_{\max} = 0,081 \cdot 12160 = 985 \text{ авт./ч;}$$

– по формуле (4):

$$\sigma_{N_{\min}} = C_V^{\min} \cdot N_{\min} = 0,971 \cdot 6080 = 5904 \text{ авт./ч;}$$

– используя формулу (11), получаем:

$$C_V^{N_t} = \frac{C_V^{N_{\max}} \cdot N_{\max} + C_V^{N_{\min}} \cdot N_{\min}}{N_{\max} + N_{\min}} = \frac{12160 \cdot 0,081 + 6080 \cdot 0,971}{6080 + 12160} = 0,378;$$

– по формуле (5):

$$\sigma_{N_t} = C_V^t \cdot N_t = 0,378 \cdot 5396 = 2040 \text{ авт./ч.}$$

6. По формулам (1) и (2) определяем:

– по формуле (2) риск того, что существующий или проектируемый участок сети потребует сделать шириной восемь полос движения:

$$r_t^{\max} = 0,5 - \Phi\left(\frac{N_{\max} - N_t}{\sqrt{\sigma_{N_{\max}}^2 + \sigma_{N_t}^2}}\right) = 0,5 - \Phi\left(\frac{12160 - 5396}{\sqrt{985^2 + 2040^2}}\right) = 0,0014 = 1,4 \cdot 10^{-3};$$

– по формуле (1) риск того, что существующий или проектируемый участок сети будет достаточно делать шириной четыре полосы движения:

$$r_t^{\min} = 0,5 - \Phi\left(\frac{N_t - N_{\min}}{\sqrt{\sigma_{N_t}^2 + \sigma_{N_{\min}}^2}}\right) = 0,5 - \Phi\left(\frac{5396 - 6080}{\sqrt{2040^2 - 5904^2}}\right) = 0,544.$$

7. Фактический уровень надежности при применении шестиполосного участка дороги:

– по возможности перевода этого участка на восьмиполосную дорогу:

$$P_H^{\max(6 \text{ пол})} = 1 - r_t^{\max} = 1 - 1,4 \cdot 10^{-3} \approx 0,9986;$$

– по возможности перевода этого участка на четырехполосную дорогу:

$$P_H^{\min(2 \text{ пол})} = 1 - r_t^{\min} = 1 - 0,544 = 0,436 \approx 0,44.$$

По результатам расчетов на существующей дороге заторы будут практически невозможны (уровень надежности более 0,99), однако риск  $r_t^{\min}=0,544$  указывает, что данная дорога могла бы быть четырехполосной, так как интенсивность движения ниже нижней границы для шестиполосной дороги.

Очевидно, что ликвидация заторов приведет к повышению эффективности работы данного участка сети, что сулит определенные экономические выгоды от улучшения работы автомобильного транспорта. Если выгоды превысят затраты на устройство дополнительных двух полос движения, то это решение будет экономически эффективным.

Если фактическая или расчетная интенсивность движения на прогнозируемый срок варьируется в широком диапазоне от минимального до максимального значения для каждого рассматриваемого числа полос движения, то для каждого варианта возникает зависимость, описывающая риск выхода фактической интенсивности движения за границы диапазона интенсивности, установленной нормативно-техническими документами [3–9].

### Список литературы

1. Шумейко А.Н., Юрковский И. М., Немчинов М.В. Автомобильные дороги России. Состояние и перспективы. М.: Молодая гвардия, 2007. 268 с.
2. Немчинов М.В., Немчинов Д.М., Федоров В.Е. Автомобильно-дорожные сети Российской Федерации. Чебоксары: Чувашское книжное издательство, 2013. 247 с.
3. Столяров В.В. Теория риска в проектировании плана дороги и организации движения. Саратов: СГТУ, 1995. 84 с.
4. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска. Ч. 1–2. Саратов: СГТУ, 1994. Ч. 1. 184 с.; Ч. 2. 232 с.

5. Кокодеева Н.Е., Талалай В.В., Кочетков А.В., Янковский Л.В., Аржанухина С.П. Методологические основы оценки технических рисков в дорожном хозяйстве // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета*. 2011. № 3. С. 38–49.
6. Сухов А.А., Карпеев С.В., Кочетков А.В., Аржанухина С.П. Формирование научно-инновационной политики дорожного хозяйства // *Инновационная деятельность*. 2010. № 3. С. 41.
7. Карпеев С.В., Сухов А.А., Аржанухина С.П., Кокодеева Н.Е. Экономическая эффективность деятельности органов управления дорожным хозяйством по вопросам освоения новых технологий, техники и материалов // *Строительные материалы*. 2010. № 5. С. 4–7.
8. Янковский Л.В., Кочетков А.В. Применение геоимплантатных конструкций для создания экопаркингов // *Экология и промышленность России*. 2011. № 5. С. 32–34.
9. Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В. Нормативно-методическое обеспечение развития инновационной деятельности в дорожном хозяйстве // *Инновации*. 2011. № 7. С. 82–85.
- [Automobile and road systems of the Russian Federation]. Cheboksary: Chuvashia Book Publishers, 2013. 247 p.
3. Stolyarov V.V. Teoriya riska v proektirovanii plana dorogi i organizatsii dvizheniya [Risk theory in the design plan of the road and traffic]. Saratov: Saratov State Technical University, 1995. 84 p.
4. Stolyarov V.V. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog s uchetom teorii riska [Designing roads considering risk theory]. Part 1–2. Saratov: Saratov State Technical University, 1994. 184 p.; 232 p.
5. Kokodeeva N.E., Talalay V.V., Kochetkov A.V., Jankowski L.V., Arzhanuhina S.P. Methodological framework for the assessment of technical risks in the road sector. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta*. 2011. No. 3, pp. 38–49. (In Russian).
6. Sukhov A.A., Karpeev S.V., Kochetkov A.V., Arzhanukhina S.P. Formation of the research and innovation policy road sector. *Innovatsionnaya deyatel'nost'*. 2010. No. 3, pp. 41. (In Russian).
7. Karpeev S.V., Sukhov A.A., Arzhanukhina S.P., Kokodeeva N.E. Economic efficiency of activity of road services operating control authorities in the field of adoption of new technologies, technique and materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 5, pp. 4–7. (In Russian).
8. Yankovskii L.V., Kochetkov A.V. Application geoimplantatnyh designs to create ecoparkings. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2011. No. 5, pp. 32–34. (In Russian).
9. Arzhanukhina S.P., Sukhov A.A., Kochetkov A.V. Regulatory and methodological support the development of innovation in the road sector. *Innovatsii*. 2011. No. 7, pp. 82–85. (In Russian).

## References

1. Shumeiko A.N., Yurkovskii I. M., Nemchinov M.V. *Avtomobil'nye dorogi Rossii. Sostoyanie i perspektivy* [Russian roads. Status and prospects]. Moscow: Molodaya gvardiya, 2007. 268 p.
2. Nemchinov M.V., Nemchinov D.M., Fedorov V.E. *Avtomobil'no-dorozhnye seti Rossiiskoi Federatsii*

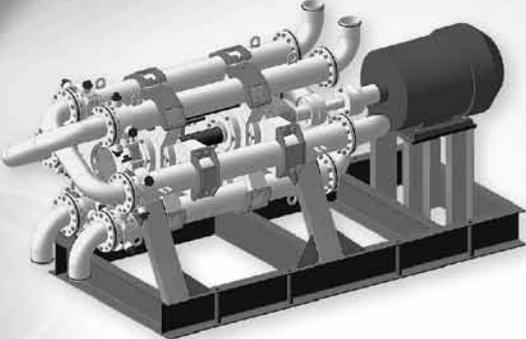


**ИНТА-СТРОЙ**

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

## ОБОРУДОВАНИЕ «ИНТА-СТРОЙ» ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**МЕЛЬНИЦА ШЛ 493 «ПУРГА-4»**



**Основные характеристики:**

- производительность, кг/ч – до 2000;
- количество барабанов, шт. – 6;
- мощность привода, кВт – 37;
- габариты (дл., шир., выс.), мм – 2850, 1208, 1365;
- масса, кг – 2140.

**Назначение**

- В производстве минеральных порошков.
- В производстве сухих строительных смесей.
- В производстве пенобетона, ЖБИ (повышение активности цемента).
- Для измельчения добавок в производстве керамического кирпича.
- Для сверхтонкого измельчения пигментов в лакокрасочной промышленности.

**Преимущества:**

- низкая вибрация мельницы, улучшенная балансировка не требует специального фундамента;
- малая занимаемая производственная площадь;
- возможность измельчения разных материалов одновременно в шести барабанах;
- возможность соединения трёх барабанов оследовательно;
- возможность изменение угла наклона мельницы для увеличения производительности.

**Примечание: разработка новая, требует испытаний в технологической линии.**

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

М.С. ЛЕБЕДЕВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (lebedevms@mail.ru), В.В. СТРОКОВА<sup>1</sup>, д-р техн. наук, И.Ю. ПОТАПОВА<sup>1</sup>, инженер; Э.В. КОТЛЯРСКИЙ<sup>2</sup>, д-р техн. наук (eco46@mail.ru)

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

<sup>2</sup> Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64)

## Влияние добавок низкокальциевой золы-уноса ТЭС на характеристики дорожного битумного вяжущего\*

Рассматривается возможность модифицирования битумного вяжущего тонкодисперсной золой-уносом. Установлено влияние различных дозировок золы на свойства битума, определяемые по методам российских стандартов. Предложено оценивать реологические характеристики битумов и мастик по методу Superpave (США) в интервале температуры 46–76°C. Установлены зависимости в изменении комплексного модуля и параметра колеобразования при добавлении различных процентов наполнителя. Выявлена корреляция между реологическими характеристиками и результатами физико-механических испытаний, проводимых по российским стандартам. Показано, что введение 15% золы-уноса позволяет существенно повысить температуру, при которой выполняется минимальное условие по параметру колеобразования. Этот факт можно использовать для прогнозирования улучшения сдвигустойчивости асфальтобетонной смеси, приготовленной с использованием мастики с 15%-м содержанием золы-уноса.

**Ключевые слова:** зола-унос, битумная мастика, колеобразование, реологические характеристики.

M.S. LEBEDEV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (lebedevms@mail.ru), V.V. STROKOVA<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), I.Yu. POTAPOVA<sup>1</sup>, Engineer; E.V. KOTLYARSKI<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (eco46@mail.ru)

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

<sup>2</sup> Moscow State Automobile and Road Technical University (64, Leningradsky Avenue, Moscow, 125319, Russian Federation)

### Effect of Additives of CHP Low-Calcium Fly Ash on Characteristics of a Road Bitumen Binder\*

A possibility of modification of a bitumen binder with fine fly ash is considered. The influence of different dosages of fly ash on properties of bitumen, which is determined according to the methods of the Russian standards, is established. It is proposed to evaluate the rheological characteristics of bitumen and mastics according to the Superpave method (USA) within the temperature interval of 46–76°C. Dependences in changes both of the complex module and the parameter of rutting in the course of adding different percents of the filler are established. The correlation between the rheological characteristics and results of the physical-mechanical tests carried out by Russian standards is revealed. It is shown that the introduction of 15% of fly ash makes it possible to significantly increase the temperature at which the minimum condition for rutting parameter is fulfilled. This fact can be used to predict improvement of shear resistance of asphalt concrete mix prepared with the use of mastic with 15% fly ash content.

**Keywords:** fly ash, bitumen mastic, rutting, rheological characteristics.

В настоящее время накоплен большой опыт применения золы-уноса тепловых электростанций при производстве строительных материалов, в частности вяжущих веществ. Например, их применяют в качестве сырьевых компонентов порландцементного клинкера и активных минеральных добавок [1], известково-кремнеземистых вяжущих [2], алюмосиликатного компонента геополлимерных вяжущих [3] и др. Также имеется достаточно много сведений, связанных с вопросами использования этих пылевидных отходов в асфальтобетонных смесях [4–6]. Однако противоречивые данные о влиянии золы-уноса на свойства дорожных композитов позволяют говорить о недостаточной изученности поднимаемого вопроса. Это, вероятно, связано с отсутствием четко сформированных представлений о составе, структуре и свойствах золы-уноса, выполняемой ею роли в структурообразовании асфальтовых композиций, и, самое главное, с отсутствием системного подхода при анализе изучаемых материалов. В связи с этим представляется важным проведение исследований, направленных на изучение влияния фазовых и размерных характеристик дисперсного сырья на свойства битумов и асфальтобетонов. В представленной работе зола-унос используется в качестве модифицирующей добавки к битуму, улучшающей

реологические характеристики органического вяжущего и снижающей его стоимость. Зола-уноса в битумах можно рассматривать как наполнитель в вязкоупругих системах. При этом смешивание битума с наполнителем создает смесь, именуемую мастикой.

В работе использовались: битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД 60/90 (производство ОАО «Газпромнефть – Московский НПЗ»), низкокальциевая зола-уноса Рефтинской ГРЭС, химический состав которой представлен в табл. 1. Зола-уноса обладает следующими свойствами: истинная плотность – 2020 кг/м<sup>3</sup>, влажность – 0,15%, удельная поверхность по Блэйнму – 327 м<sup>2</sup>/кг, по БЭТ – 500 м<sup>2</sup>/кг.

Мастики приготавливались путем смешивания предварительно нагретого до температуры 150–160°C битума и золы-уноса в количестве 5, 10 и 15% от массы смеси. Влияние добавки и ее количества на свойства битума устанавливали по показателям ГОСТа.

При введении наполнителя в битум понижается его условная вязкость и растяжимость при 25 и 0°C (P<sub>25</sub>, P<sub>0</sub> и D<sub>25</sub>, D<sub>0</sub> соответственно), повышается температура размягчения (Tr) (рис. 1). Изменения в свойствах не очень значительны, например температура размягчения возрастает менее чем на 4%, пенетрация при 25°C понижается

Оксиды	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	ППП
Содержание, %	60,2	30,92	1,28	3,35	0,577	0,153	0,525	0,75	1,17	1,9

\* Работа выполнена при финансовой поддержке: РФФИ, договор № НР 14-33-50402/14; в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

\* Work is executed under financial support: RFFI, Agreement № НР 14-33-50402/14; within the frames of Program of strategic development of V.G. Shukhov BSTU.

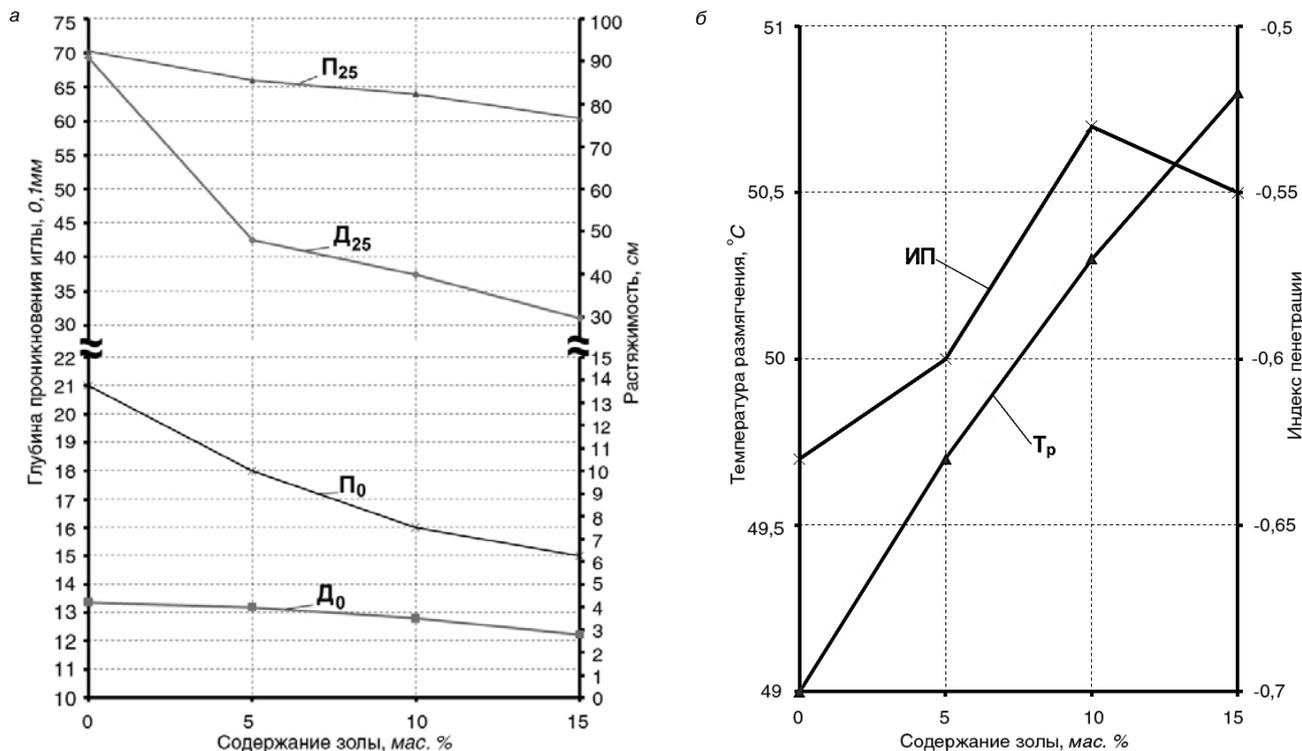


Рис. 1. Влияние добавки золы-уноса на свойства битумного вяжущего марки БНД 60/90: а – на пенетрацию и растяжимость; б – на температуру размягчения и индекс пенетрации

на 14%, при 0°C – на 28%. По этим характеристикам мастики со всеми концентрациями добавки (от 5 до 15%) соответствуют требованиям ГОСТ 22245–90 по марке битума БНД 60/90. Уменьшение значений пенетрации характеризует повышение вязкости системы, что определенным образом сказывается и на других характеристиках.

Увеличение вязкости системы при добавлении наполнителя отражается на растяжимости (рис. 1, а). Снижение растяжимости при 25°C (с 91 до 30 см) с увеличением содержания золы-уноса свидетельствует о возрастающем отклонении вяжущего от ньютоновской жидкости [7]. Несмотря на то что растяжимость при 25°C не отвечает требованиям ГОСТа, этот параметр не отражает реальных условий работы органического вяжущего в покрытии.

Введение дисперсного компонента в битум способствует небольшому повышению его индекса пенетрации (ИП) (с -0,63 до -0,53), что может характеризовать некоторое повышение теплоустойчивости битума (рис. 1, б).

Наряду с исследованием влияния добавок золы-уноса на основные нормируемые в России показатели были изучены реологические характеристики битума и мастик на его основе в соответствии со спецификацией TP538 SHRP [8] и AASHTO T315 [9] по методу Supergrape (США) в диапазоне температуры от +46 до +76°C (с шагом 6°C плюс дополнительная точка 49°C, близкая к температуре размягчения исходного битума) с использованием вибрационного ротационного вискозиметра Rheotest RN4.1 (Германия). Реологические испытания битумов в России как метод нормирования показателей не рассматривают и практически не применяют. Однако характеристики, получаемые в результате этих исследований, являются фундаментальными, такие как комплексная и динамическая вязкость, в отличие от эмпирических свойств, определяемых по российским стандартам. Поэтому реологические испытания по методу Supergrape можно рассматривать как факультативные, но в перспективе они могут стать регламентируемыми для оценки качества нефтяных битумов, что является важным с точки зрения пол-

ноты описания потребительских свойств органического вяжущего и асфальтобетона [10].

Суть методики состоит в колебательных испытаниях с радианной частотой 10 рад/с, что соответствует скорости движения транспорта около 80 км/ч, таблетки битума толщиной 1 мм, заключенной между двумя параллельными пластинами диаметром 36 мм. Измерения проводили в режиме с контролируемым напряжением сдвига, при котором задавали напряжение сдвига в виде функции времени гармонических колебаний синусоидальной формы и измеряли получаемое в результате изменение деформации во времени. На основании полученных значений напряжений и деформаций определяли угол сдвига фаз  $\delta$  между ними и комплексный модуль  $G^*$ , рассчитываемый как отношение амплитуды напряжений к амплитуде деформации.

В результате реологических испытаний было выявлено, что характер кривых для битума без добавок и мастик с наполнителем существенно не меняется (рис. 2, 3), но разнятся численные значения получаемых показателей. В частности, установлено, что введение золы-уноса в битум снижает возникающие деформации и повышает модуль жесткости  $G^*$  (рис. 2). При этом замечено, что небольшое содержание золы-уноса (5 и 10%) повышает стойкость к деформациям незначительно по отношению к исходному битуму (на 11–38%). Наибольший эффект наблюдается при введении 15% наполнителя, при котором комплексный модуль  $G^*$  повышается при температуре испытаний 46°C на 67%, а при 76°C – на 46%. Полученные данные в интервале температуры 46–76°C в достаточно большой степени коррелируют с результатами физико-механических испытаний, таких как условная вязкость (пенетрация) и растяжимость (дуктильность) при 25 и 0°C. Отмечаемые изменения свидетельствуют об улучшении стойкости битума, наполненного золой-уносом, к периодическим нагрузкам, что должно положительно влиять на сдвигоустойчивость асфальтобетона, приготовленного на основе такой мастики, при высоких эксплуатационных температурах.

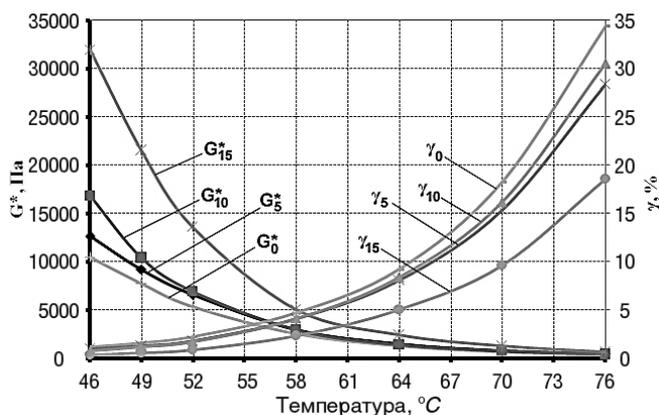


Рис. 2. Зависимость деформации  $\gamma$  и комплексного модуля  $G^*$  от содержания золы-уноса в мастике и температуры

Другим параметром, регистрируемым по результатам колебательных испытаний, является фазовый угол – временная задержка между приложенными напряжениями сдвига и возникающей деформацией, выраженная в градусах или радианах. Он является индикатором того, насколько в материале выражены эластичные или вязкостные свойства. Согласно полученным данным введение золы-уноса в битум в среднем уменьшает угол сдвига фаз на 1–2°, что свидетельствует о незначительном, но увеличении эластичной составляющей комплексного модуля и соответствующей доли деформации.

В соответствии с американским стандартом TP538 SHRP [8] нормируемым показателем является так называемый параметр колееобразования  $G^*/\text{Sin } \delta$ , который для несостаренных вяжущих должен составлять не менее 1 кПа при соответствующей температуре испытаний, например для битума PG-64-28 при температуре испытаний 64°C. Согласно полученным данным исследуемый битум БНД 60/90 удовлетворяет этому критерию при максимальной температуре 64°C (рис. 3). При добавлении 5 и 10% золы-уноса параметр колееобразования повышается на 15 и 10% соответственно, но при следующей температуре 70°C не достигает значения 1 кПа. Повышение содержания наполнителя до 15% позволяет увеличить  $G^*/\text{Sin } \delta$  при 64°C на 85%, а при 70°C получить 1,253 кПа, что теоретически соответствует более высокой марке битума по американским нормам. Полученные данные находят подтверждение в работах зарубежных ученых [11].

Обращает на себя внимание тот факт, что обнаруженное повышение жесткости и температуры колееобразования (на 6°C – с 64 до 70°C) по американскому стандарту лишь в малой степени коррелирует с изменением температуры размягчения битума (на 1,8°C – с 49 до 50,8°C). Это дает основания согласиться с мнением

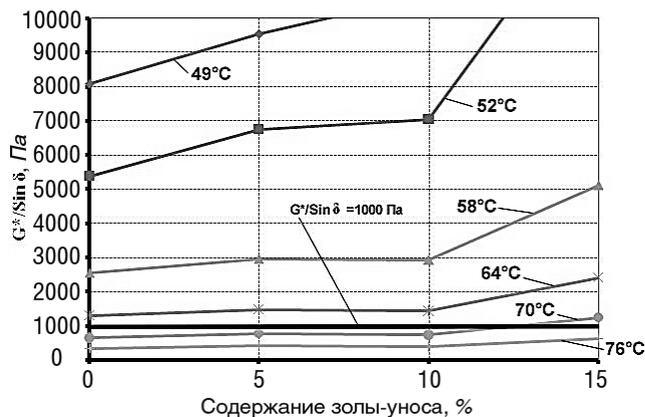


Рис. 3. Зависимость параметра колееобразования от содержания золы-уноса в мастике и температуры

других авторов о том, что понятие температуры размягчения условно, переход из относительно твердого состояния в жидкое происходит в определенном интервале размягчения [7]. В связи с этим температуре размягчения каждого состава соответствуют разные величины комплексного модуля  $G^*$ .

Отмечаемое повышение жесткости вяжущего свидетельствует о его большей механической стабильности при определенной температуре и увеличении температурного диапазона эксплуатации связующего без образования остаточных деформаций. Смещение температуры, соответствующей параметру колееобразования, на 6°C (с 64 до 70°C) можно использовать для прогнозирования улучшения сдвигоустойчивости и сопротивления образованию колеи у асфальтобетонной смеси, приготовленной на мастике, полученной путем 15% замены битума на золу-уноса Рефтинской ГРЭС. Это согласуется с повышением индекса пенетрации битума.

Представленные в настоящей статье исследования выполнялись на битуме с достаточно большой вязкостью. Дальнейшее развитие работы может быть связано с апробацией предлагаемого метода модификации применительно к дорожным битумным вяжущим с меньшей вязкостью, включая гудроны и неокисленные битумы, для получения связующего, близкого по свойствам к более высоким маркам по вязкости, но имеющего при этом значительно меньшую стоимость.

Таким образом, проведенные реологические исследования по влиянию введения низкокальциевой золы-уноса в количестве 5–15% позволяют говорить об эффективной замене части битума на дисперсный компонент. Эту добавку можно рассматривать как своего рода расширяющую часть битумного вяжущего с низкой стоимостью, которая в определенной степени позволяет регулировать его вязкость и свойства.

Список литературы

1. Овчаренко Г.И., Хижинкова Е.Ю., Музалевская Н.В., Алексеенко В.В. Прогнозирование собственных деформаций цементно-золевых композиций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 3. С. 45–47.
2. Воронин П.В., Заровнятных В.А., Шикирянский А.М. Эффективный силикатный кирпич на основе золы ТЭС и порошкообразной извести // Строительные материалы. 2000. № 8. С. 24–25.
3. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Строкова В.В. Оценка биопозитивности геополимерных вяжущих на основе низкокальциевой золы-уноса // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 84–85.

References

1. Ovcharenko G.I., Hizhinkova E.Ju., Muzalevskaja N.V., Alekseenko V.V. Forecasting of internal strain in cement-ash composites. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2010. No. 3, pp. 45–47. (In Russian).
2. Voronin P.V., Zarovnjatnyh V.A., Shikirjanskij A.M. Effective silicasand brick based on ash from power station and lime powder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2000. No. 8, pp. 24–25. (In Russian).
3. Kozhuhova N.I., Zhernovskij I.V., Strokovaja V.V. Assessment of biopositiveness of geopolymeric binders on the basis of low calcium fly ash. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 9, pp. 84–85. (In Russian).

4. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог: обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. М.: Союздорнии. 2003. 60 с.
5. Ярмолинская Н.И., Цупикова Л.С. Повышение коррозионной стойкости асфальтобетона на основе отходов ТЭС // *Строительные материалы*. 2007. № 9. С. 46–47.
6. Zimmer F.V. Fly ash as a bituminous filler. *Proceedings of the Second ash utilization symposium*. 1970, pp. 49–76.
7. Руденская И.М., Руденский А.В. Реологические свойства битумов. М.: Высшая школа, 1967. 118 с.
8. Standard test method for determining rheological properties of asphalt binder using a dynamic shear rheometer (DSR). AASHTO Designation: TP5, based on SHRP Product 1007. September 1993.
9. AASHTO T315-10: Standard method of test for determining the rheological properties of asphalt binder using a dynamic shear rheometer. American Association of State Highway and Transportation Officials. 2010. 32 p.
10. Рапопорт П.Б., Кочетков А.В., Евтеева С.М., Погуляйко В.А. Нормирование показателей битума // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 14–17.
11. Sobolev K., Ismael F., Saha R., Wasiuddin N.M., Saltibus N.E. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous materials. *Fuel*. Vol. 116. January 2014, pp. 471–477.

Реклама



## Планетарные мельницы «Активатор» для заводских и исследовательских лабораторий



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

Размеры частиц кварцевого песка, помолотого в течение 5 мин на лабораторных планетарных мельницах «Активатор»

«Активатор-2SL»	30 % < 1 μ	60 % < 2 μ	92 % < 5 μ
«Активатор-2S»	40 % < 1 μ	77 % < 2 μ	96 % < 5 μ
«Активатор-4M»	26 % < 1 μ	60 % < 2 μ	86 % < 5 μ

[www.activator.ru](http://www.activator.ru)

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

## Учет слоя композита «геоячейки+материал» при прогнозировании коэффициента вариации эквивалентного модуля упругости

В процессе эксплуатации автомобильных дорог под действием нагрузок и климатических факторов снижаются прочностные характеристики дорожных одежд. Это снижение приводит к изменению коэффициента вариации эквивалентного модуля упругости дорожной одежды. Известно, что применение геоячеек в дорожной одежде приводит к увеличению прочностных характеристик конструкции, а следовательно, влияет на коэффициент вариации эквивалентного модуля упругости. Представлен подход к прогнозированию коэффициента вариации эквивалентного модуля упругости дорожной одежды нежесткого типа, включающей в себя конструктивный слой, армированный геоячейками. Показан расчет значений данного коэффициента с учетом коэффициента армирования различных слоев дорожных одежд с геоячейками. Армирование слоев дорожной одежды геоячейками позволяет снизить коэффициент вариации эквивалентного модуля упругости, т. е. увеличить однородность, а следовательно, и прочность конструкции.

**Ключевые слова:** дорожная одежда, коэффициент вариации, модуль упругости, армирование, геоячейки.

O.Yu MOSKALEV, Engineer, N.E.KOKODEEVA Doctor of Sciences (Engineering) (kokodeewa@mail.ru)  
Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin (77, Polytechnicheskaya Street, Saratov, 410054, Russian Federation)

### Accounting of a "Geocells+Material" Composite Layer when Forecasting the Coefficient of Variation of Equivalent Elastic Modulus

Strength characteristics of the road pavements are reduced in the process of automobile roads operation under the impact of loads and climatic factors. This reduction leads to the change of the coefficient of variation of equivalent elastic modulus of road pavement. It is known that the use of geocells in the road pavement leads to improvement of strength characteristics of the structure and, consequently, influences on the coefficient of variation of equivalent elastic modulus. An approach to the forecasting of the coefficient of variation of equivalent elastic modulus of the road pavement of the non-rigid type which includes the structural layer reinforced with geocells is presented. The calculation of values of this coefficient with due regard for the coefficient of reinforcement of different layers of road pavements with geocells is shown. Reinforcement of road pavement layers with geocells makes it possible to reduce the coefficient of variation of equivalent elastic modulus, i.e. to improve the homogeneity and therefore the durability of construction.

**Keywords:** road pavement, coefficient of variation, elastic modulus, reinforcement, geocells.

В процессе эксплуатации автомобильных дорог наблюдается постепенное снижение прочности дорожных одежд и земляного полотна. В начальный период эксплуатации автомобильной дороги снижение прочности протекает без явных деформаций и разрушений поверхности покрытий. Но в дальнейшем при комплексном воздействии транспортных средств и климатических факторов состояние покрытия резко изменяется в худшую сторону. В большинстве случаев это обнаруживается слишком поздно при проявлении признаков катастрофических разрушений. В связи с этим в процессе эксплуатации автомобильной дороги следует периодически оценивать качество дорожных конструкций.

Под качеством автомобильной дороги в целом следует понимать комплекс ее потребительских свойств, обуславливающих способность удовлетворять определенным требованиям в соответствии с ее назначением [1].

Основой повышения качества автомобильных дорог служит однородность, т.е. степень неизменности физико-механических свойств, геометрических размеров, параметров технологических процессов, условий эксплуатации и производства работ. Как правило, однородность оценивается коэффициентом вариации какого-либо параметра. Для дорожных одежд этим параметром является эквивалентный модуль упругости на поверхности покрытия, и соответственно однородность дорожных одежд должна оцениваться коэффициентом вариации модуля упругости ( $C_{V(t=0)}^{ЭТ}$ ).

В период эксплуатации автомобильной дороги под воздействием импульсов нагрузки и влияния климатических факторов изменяются прочностные и деформативные параметры слоев дорожной конструкции. Возникают микродефекты, которые, постепенно развиваясь, приводят к усилению неоднородности показателей дорожных

**Таблица 1**

$C_{V}^{ЭТ}$	Значения коэффициента $\gamma$ при весенней влажности грунта земляного полотна, в долях от $W_T$							
	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
0,19	0,028	0,029	0,03	0,034	0,043	0,061	0,092	0,185
0,18	0,024	0,024	0,025	0,028	0,036	0,051	0,074	0,158
0,17	0,02	0,02	0,021	0,024	0,029	0,041	0,062	0,13
0,16	0,017	0,0175	0,018	0,02	0,024	0,034	0,051	0,102
0,15	0,014	0,0146	0,0152	0,016	0,02	0,028	0,041	0,083
0,14	0,012	0,0124	0,0128	0,015	0,017	0,023	0,034	0,066
0,13	0,01	0,0104	0,0108	0,011	0,014	0,02	0,028	0,055

Таблица 2

$C_V^{тр}$	Значения коэффициента $\gamma$ при весенней влажности грунта земляного полотна, в долях от $W_T$							
	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
0,15	0,042	0,045	0,05	0,057	0,068	0,098	0,162	0,332
0,14	0,038	0,039	0,042	0,049	0,058	0,082	0,139	0,285
0,13	0,033	0,034	0,035	0,039	0,049	0,071	0,119	0,241
0,12	0,029	0,03	0,031	0,032	0,041	0,058	0,095	0,201
0,11	0,024	0,025	0,027	0,028	0,034	0,051	0,08	0,164
0,10	0,022	0,0225	0,023	0,024	0,029	0,044	0,069	0,136
0,09	0,019	0,0195	0,02	0,021	0,024	0,036	0,058	0,11
0,08	0,017	0,0175	0,018	0,019	0,021	0,03	0,049	0,094
0,07	0,016	0,0165	0,017	0,018	0,019	0,029	0,041	0,083
0,06	0,015	0,0155	0,016	0,017	0,018	0,024	0,028	0,078

Таблица 3

$C_V^{тр}$	Значения коэффициента $\gamma$ при весенней влажности грунта земляного полотна, в долях от $W_T$							
	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
0,09	0,376	0,409	0,47	0,522	0,671	0,94	1,253	1,88
0,08	0,32	0,345	0,382	0,44	0,55	0,733	1	1,466
0,07	0,276	0,29	0,325	0,376	0,473	0,592	0,79	1,104
0,06	0,24	0,252	0,284	0,325	0,41	0,503	0,64	0,866
0,05	0,211	0,221	0,251	0,285	0,361	0,436	0,56	0,705
0,04	0,188	0,199	0,224	0,257	0,321	0,393	0,48	0,615
0,03	0,17	0,181	0,206	0,234	0,234	0,358	0,425	0,523

одежд. В работах проф. В.А.Семенова изменение однородности описывается зависимостью:

$$C_{V(t)}^{ЭТ} = C_{V(t=0)}^{ЭТ} + \gamma \cdot t, \quad (1)$$

где  $C_{V(t=0)}^{ЭТ}$  – коэффициент вариации на момент сдачи автомобильной дороги в эксплуатацию;  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий снижение однородности эквивалентного модуля упругости во времени, 1/гг;  $t$  – период времени, спустя который коэффициент вариации эквивалентного модуля упругости примет значение  $C_{V(t=0)}^{ЭТ}$ , гг.

В работах проф. В.А.Семенова [1] и проф. В.В.Столярова [1–3] коэффициент  $\gamma$  принят равным значению 0,023, что соответствует условиям Западной Сибири. В дальнейшем на основе натуральных наблюдений было установлено, что на коэффициент  $\gamma$  оказывают влияние величина подвижной нагрузки и ее коэффициент вариации, а также влажность рабочего слоя земляного полотна в расчетный (весенний) период года [1–3]. Проведенные исследования влияния влажности грунта на качественное состояние дорожных одежд позволили установить значения коэффициента  $\gamma$  в зависимости от величины коэффициента вариации требуемого модуля упругости ( $C_V^{тп}$ ), капитальности дорожной одежды и влажности рабочего (активного) слоя земляного полотна ( $W_T$ ) в весенний период года (табл. 1–3). В табл. 1 приведены расчетные значения коэффициента  $\gamma$  для капитальных дорожных одежд с усовершенствованным покрытием.

Расчетные значения коэффициента  $\gamma$  для облегченных дорожных одежд с усовершенствованным покрытием приведены в табл. 2.

Расчетные значения коэффициента  $\gamma$  для дорожных одежд переходного типа с щебеночным и гравийным покрытием даны в табл. 3.

К сожалению, данный подход к определению коэффициента вариации модуля упругости по формуле (1) не учитывает наличия в дорожной конструкции слоев, армированных геосинтетическими материалами, в частности геоячейками. Учет в дорожной одежде конструктивного слоя, армированного геоячейками, стал возможен после разработки ОДМ 218.3.032–2013 [4] с учетом коэффициента армирования (усиления), характеризующего увеличение модуля упругости конструктивного слоя дорожной одежды, армированной геоячейками, и представляющего собой отношение:

$$K_a = \frac{E_{m+z/p}}{E_m}, \quad (2)$$

где  $E_m$  – модуль упругости конструктивного слоя, не армированного геоячейками и определяемый по ОДН 218.046-01 [3], МПа;  $E_{m+z/p}$  – модуль упругости конструктивного слоя, армированного геоячейками, определяемый по ОДМ 218.3.032–2013 [1], МПа.

В табл. 4 приведены нормативные модули упругости неармированного слоя по ОДН 218.046-01 [4] и армированного слоя (композита) по ОДМ 218.3.032–2013 [5] для расчета дорожной одежды по допустимому упругому прогибу и сопротивлению монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

Эффект упрочнения конструктивных слоев дорожной одежды при их армировании геоячейками скажется на повышении однородности дорожной одежды за счет снижения коэффициента вариации  $C_{V(t)}^{ЭТ}$  по сравнению с дорожными одедами, не содержащими армированные слои конструкции. Тогда для дорожных одежд нежесткого типа параметр  $C_{V(t)}^{ЭТ}$  будет иметь зависимость:

$$C_{V(t)}^{ЭТ} = C_{V(t=0)}^{ЭТ} + \gamma_a \cdot t, \quad (3)$$

**Таблица 4**

Заполнитель геоячеек из щебеночно-гравийно-песчаных смесей и песков	Максимальный размер зерен, мм	Нормативные значения модуля упругости, МПа, по ОДН 218.046-01	Нормативные значения модуля упругости композита, МПа, в дорожных одеждах облегченного типа по ОДМ 218.3.032-2013	Коэффициент усиления (армирования) $K_a$
Щебень легкоуплотняемый/трудноуплотняемый фракционированный 20-40 мм (ГОСТ 25607) с заклинкой:  фракционированным мелким щебнем известняковой мелкой смесью или активным мелким шлаком мелким высокоактивным шлаком				
		450/350	580 / 460	1,29/1,31
		400/300	520 / 390	1,3/1,3
		450/400	580 / 520	1,29/1,3
Щебеночные/гравийные смеси (ГОСТ 25607):  C1 C2 C5 C6 C7	40	300/280	420 / 390	1,4/1,39
	20	290/265	410 / 370	1,41/1,4
	40	260/220	360 / 310	1,39/1,41
	20	240/200	340 / 280	1,42/1,4
	20	260/180	310 / 250	1,19/1,39
Шлаковая щебеночно-песчаная смесь из неактивных и слабоактивных шлаков (ГОСТ 3344):  C4 C6	40	250	350	1,4
	20	210	300	1,43
Песок:  крупный средней крупности мелкий однородный	-	130	180	1,38
	-	120	170	1,42
	-	100	140	1,4
	-	75	100	1,33

**Таблица 5**

$C_V^{TP}$	Значения коэффициента $\gamma$ при весенней влажности грунта земляного полотна, в долях от $W_T$							
	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
0,19	0,022	0,022	0,023	0,026	0,033	0,047	0,071	0,143
0,18	0,019	0,019	0,019	0,022	0,028	0,04	0,057	0,122
0,17	0,016	0,016	0,016	0,019	0,022	0,032	0,048	0,101
0,16	0,013	0,014	0,014	0,016	0,019	0,026	0,04	0,079
0,15	0,011	0,011	0,012	0,012	0,016	0,022	0,032	0,064
0,14	0,009	0,01	0,01	0,012	0,013	0,018	0,026	0,051
0,13	0,008	0,008	0,008	0,009	0,011	0,016	0,022	0,043

**Таблица 6**

$C_V^{TP}$	Значения коэффициента $\gamma$ при весенней влажности грунта земляного полотна, в долях от $W_T$							
	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
0,15	0,033	0,035	0,039	0,044	0,053	0,076	0,126	0,257
0,14	0,03	0,03	0,033	0,038	0,045	0,064	0,108	0,221
0,13	0,026	0,026	0,027	0,03	0,038	0,055	0,092	0,187
0,12	0,023	0,023	0,024	0,025	0,032	0,045	0,074	0,156
0,11	0,019	0,019	0,021	0,022	0,026	0,04	0,062	0,127
0,1	0,017	0,017	0,018	0,019	0,022	0,034	0,053	0,105
0,09	0,015	0,015	0,016	0,016	0,019	0,028	0,045	0,085
0,08	0,013	0,014	0,014	0,015	0,016	0,023	0,038	0,073
0,07	0,012	0,013	0,013	0,014	0,015	0,022	0,032	0,064
0,06	0,012	0,012	0,012	0,013	0,014	0,019	0,022	0,06

Таблица 7

$C_V^{TP}$	Значения коэффициента $\gamma$ при весенней влажности грунта земляного полотна, в долях от $W_T$							
	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
0,09	0,291	0,317	0,364	0,405	0,52	0,729	0,971	1,457
0,08	0,248	0,267	0,296	0,341	0,426	0,568	0,775	1,136
0,07	0,214	0,225	0,252	0,291	0,367	0,459	0,612	0,856
0,06	0,186	0,195	0,22	0,252	0,318	0,39	0,496	0,671
0,05	0,164	0,171	0,195	0,221	0,28	0,338	0,434	0,547
0,04	0,146	0,154	0,174	0,199	0,249	0,305	0,372	0,477
0,03	0,132	0,14	0,16	0,181	0,181	0,278	0,329	0,405

где  $\gamma_a$  – коэффициент, учитывающий снижение однородности эквивалентного модуля упругости во времени в зависимости от влажности ( $W$ ) активного слоя земляного полотна в весенний период каждого года, точности определения перспективных значений интенсивности и состава движения, выраженных через коэффициент вариации требуемого модуля упругости ( $C_V^{TP}$ ), а также от коэффициента усиления ( $K_a$ ).

В результате проведенных исследований были получены численные значения коэффициента  $\gamma_a$  для различных конструктивных слоев дорожной одежды при их армировании геоячейками. В качестве примера в табл. 5–7 представлены расчетные значения коэффициента  $\gamma_a$  при наличии в дорожной одежде слоя «щебень легкоуплотняемый фракционированный с заклиной фракционированным мелким щебнем + геоячейки», а также при коэффициенте армирования  $K_a = 1,29$ .

Расчетные значения коэффициента  $\gamma_a$ :

- для капитальных дорожных одежд с усовершенствованным покрытием представлены в табл. 5;
- для облегченных дорожных одежд с усовершенствованным покрытием представлены в табл. 6;
- для дорожных одежд переходного типа с щебеночным и гравийным покрытием представлены в табл. 7.

Таким образом, получены значения коэффициента  $\gamma_a$ , которые необходимы для вычисления коэффициента вариации эквивалентного модуля упругости дорожной одежды при армировании геоячейками, а также для вычисления сроков службы дорожных конструкций [6].

#### Список литературы

1. Методические рекомендации по усилению конструктивных элементов автомобильных дорог пространственными георешетками (геосотами) (ОДМ 218.3.032–2013). М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. 77 с.
2. Москалев О.Ю. Существующие методы оценки срока службы дорожных одежд с геосинтетическими материалами // *Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ»*. 2013. № 3. <http://naukovedenie.ru/PDF/12tvn313.pdf>. (Дата обращения: 25.06.2014).
3. Проектирование нежестких дорожных одежд (ОДН 218.046–01) / Гос. служба дор. хоз. Министрства транспорта РФ. М.: Транспорт, 2001. 145с.
4. Семенов В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1989.125с.
5. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска. Ч. 1–2. Саратов: СГТУ, 1994. Ч. 1. 184 с.; Ч. 2. 232 с.
6. Кокодеева Н.Е., Столяров В.В., Васильев Ю.Э. Техническое регулирование в дорожном хозяйстве: монография. Саратов: СГТУ, 2011. 232 с.

#### References

1. Guidelines for strengthening structural elements highways spatial geogrid (geosotami) (ODM 218.3.032–2013).

Moscow: Federal Road Agency (Rosavtodor), 2013. 77 p. (In Russian).

2. Moskaliev O. Yu. Existing methods for estimating the life of pavements with geosynthetics. *Internet Journal «NAUKOVEDENIE»*. 2013. No. 3. <http://naukovedenie.ru/PDF/12tvn313.pdf>. (Date of access: 25.06.2014). (In Russian).
3. Designing non-rigid road clothes (ODN 218.046–01). State Road Service of the Ministry of Transport RF. Moscow: Transport, 2001. 145 p. (In Russian).
4. Semenov V.A. Kachestvo i odnorodnost' avtomobil'nykh dorog [Quality and uniformity of highways]. Moscow: Transport, 1989. 125 p.
5. Stolyarov V.V. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog s uchetom teorii riska [Designing roads considering risk theory]. Part 1–2. Saratov: Saratov State Technical University, 1994. 184 p.; 232 p.
6. Kokodeeva N.E., Stolyarov V.V., Vasiliev Yu.E. Tekhnicheskoe regulirovanie v dorozhnom khozyaistve: monografiya. [Technical regulation in the road sector: monograph]. Saratov: Saratov State Technical University, 2011. 232 p.



#### Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий

Ю.Э. Балакшин, В.А. Терехов

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

Авторы многие годы отдали работе в промышленности строительных материалов и накопили значительный объем знаний и 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](http://www.rifsm.ru)

А.С. ФОМИНА, инженер (fominaaniuta@yandex.ru), Е.Е. ДОЛЖНИКОВА, инженер  
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

## Модули упругости земляного полотна автомобильных дорог

Основное внимание уделено сравнительному анализу физико-механических свойств засоленных и незасоленных грунтов на основе статистической оценки модулей упругости, полученных экспериментальным путем. Уплотнение грунта является не только составной частью технологического процесса устройства земляного полотна, но и служит фактически главной операцией по обеспечению его прочности, устойчивости и долговечности. От качества выполнения процесса уплотнения зависит дальнейшая служба земляного полотна и дорожной одежды. Выполнены экспериментальные исследования по определению модуля упругости земляного полотна на засоленных грунтах и грунтах без солей. Степень уплотнения в значительной мере зависит от влажности грунтов, а наилучшее уплотнение возможно после предварительного снижения его влажности. В сложных природных условиях уплотнение грунта требует особого внимания. В засоленных грунтах содержание солей препятствует уплотнению до оптимальной плотности, соответствующей незасоленному грунту того же гранулометрического состава. Растворение содержащихся кристаллов соли в грунте приводит к образованию новых пор, которые в неблагоприятный период заполняются грунтовой или поверхностной водой, что снижает прочность дорожной одежды и устойчивость откосов земляного полотна. Количество таких участков зависит от коэффициента вариации и значения среднеквадратического отклонения. При воздействии воды на незасоленные грунты изменяется лишь влажность, плотность и пористость грунта, а при воздействии воды на засоленные изменяются практически все физические свойства и даже гранулометрический состав. Установлено качественное и количественное влияние соли на снижение прочности земляного полотна при различной степени увлажнения.

**Ключевые слова:** модуль упругости, засоленный грунт, земляное полотно, прогиб, деформации, расчетные нагрузки.

A.S. FOMINA, Engineer (fominaaniuta@yandex.ru), E.E. DOLZHNIKOVA, Engineer,  
Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin (77, Polytechnicheskaya Street, Saratov, 410054, Russian Federation)

### Elastic Modulus of a Road Bed of Automobile Roads

The main attention is paid to the comparative analysis of physical-mechanical properties of salted and unsalted soils on the basis of the statistic assessment of elastic modulus obtained experimentally. The soil compaction is not only a constituent part of the technological process of road bed construction, but it is a basic operation ensuring its strength, reliability and durability. The further service of road bed and road pavement depends on the quality of execution of compaction process. Experimental studies for determining the elastic modulus of road bed on saline soils and soils without salts were conducted. The compaction level considerably depends on the soil moisture content and the best compaction is possible after preliminary reduction of its moisture content. Under complex natural conditions the soil compaction requires special attention. In saline soils the content of salts prevents the compaction up to optimal density corresponding to the non-salted soil of the same granulometric composition. The solution of salt crystals in soil leads to formation of new pores which in unfavorable periods are filled with ground or surface water that leads to reducing the strength of road pavement and reducing the stability of roadbed slope. The number of such sections depends on the coefficient of variation and the value of mean-square deviation. The impact of water on unsalted soils changes only the moisture content, density and porosity of soil, but the impact of water on saline soils changes practically all physical properties – moisture content, density, porosity and even granulometric composition. Qualitative and quantitative influence of soil on the reduction of road bed strength under different levels of humidity is established.

**Keywords:** elastic modulus, saline soil, road bed, deflection, deformation, calculated loads.

Данные экспериментального исследования выполнены в пределах земляного полотна на строящихся участках автомобильных дорог, сложенных из засоленных и незасоленных грунтов, с целью изучения модуля упругости грунта земляного полотна при наличии и отсутствии засоления.

Проблема использования засоленных грунтов в строительстве автомобильных дорог за последние годы стала особенно актуальной в связи с освоением новых территорий с использованием местных засоленных грунтов [1]. В некоторых случаях доказана целесообразность использования для возведения земляного полотна автомобильных дорог именно засоленных грунтов. В соответствии с классификацией слабозасоленных и средnezасоленных грунтов их можно использовать в насыпях типовых конструкций. Однако при использовании слабо- и средnezасоленных грунтов возникает вероятность того, что в теле земляного полотна появятся участки с сильным засолением. Поэтому оценку применения засоленных грунтов необходимо устанавливать с учетом вероятностного подхода оценки риска разрушения земляного полотна из засоленных грунтов при увеличении влажности [2–5]. В основном на солонцах и слабозасоленных грунтах при благоприятном водно-тепловом режиме не требуется особых мероприятий для

обеспечения устойчивости земляного полотна. Условия, влияющие на его устойчивость весьма разнообразны, а поэтому для каждой проектируемой дороги необходимо тщательное установление и учет их с применением вероятностной сущности степени засоления грунта.

Существующие подходы к изучению засоленных грунтов, проектированию и строительству земляного полотна с их использованием зачастую не отражают механических свойств засоленных грунтов. При строительстве на засоленных грунтах не всегда уделяется должное внимание их специфическим свойствам. Долговечность дорожной одежды обуславливается в наибольшей степени правильной оценкой прочности грунтов. Поэтому назначение характеристик прочности грунтов при расчетах земляного полотна и дорожной одежды имеет большое значение для засоленных грунтов. Возникает необходимость разработки такой математической модели, которая бы учитывала вероятностную сущность процессов засоления земляного полотна и позволяла рассчитать вероятность разрушения дорожной конструкции.

В дорожной практике находит применение несколько вариантов определения модулей упругости грунтов. Модуль упругости может быть измерен в лаборатории с использованием динамических трехосных испытаний

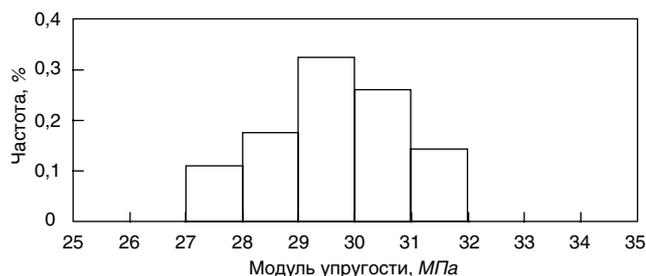


Рис. 1. Модули упругости засоленного грунта на экспериментальном участке (супесь легкая)

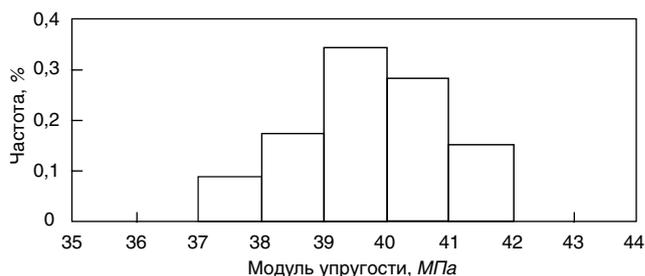


Рис. 2. Модули упругости незасоленного грунта на экспериментальном участке (супесь легкая)

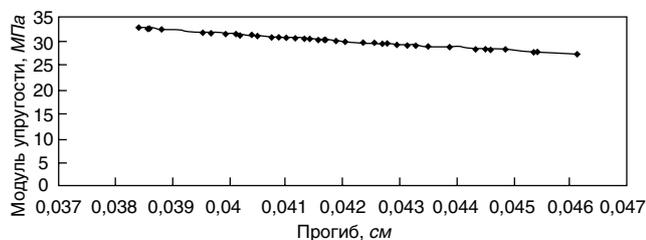


Рис. 3. Изменение модулей упругости засоленного грунта в зависимости от величины прогиба (при влажности грунта в рабочем слое земляного полотна W=3 мас. %)

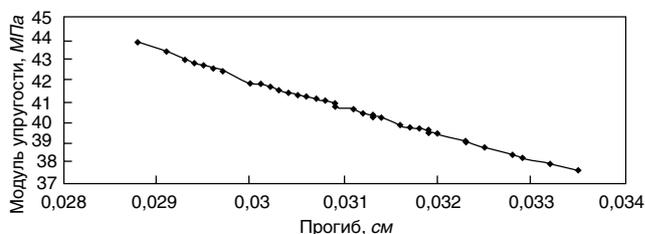


Рис. 4. Изменение модулей упругости незасоленного грунта в зависимости от величины упругого прогиба (при влажности грунта в рабочем слое земляного полотна W=3 мас. %)

или испытаний образцов в условиях одноосного сжатия. Однако данные методы могут иметь ряд погрешностей. Как известно, первая группа погрешностей характерна для любого физического лабораторного опыта, включающего наличие трения между образцом и стенками прибора, отличие температуры массива грунта, несоответствие скоростей нагружения при испытании и строительстве и т. д. Вторая группа включает погрешности, обусловленные отличием свойств извлеченного грунта и свойств грунта непосредственно в массиве. Следовательно, с помощью вероятностных моделей можно учесть все погрешности экспериментальных исследований и рассчитать риск разрушения земляного полотна, как на засоленных грунтах, так и на грунтах без солей.

Известно, что засоление грунта само по себе не оказывает существенного влияния на устойчивость земляного полотна и дорожных одежд. Влияние солей на физико-механические свойства грунтов заметно проявляется лишь в присутствии воды.

Модули деформации и упругости выражают сопротивление грунтов деформированию под действием на-

грузок. Модуль упругости учитывает восстанавливающиеся (упругие) деформации грунта при испытании его нагрузками.

Модуль упругости – более постоянная характеристика деформационных свойств грунтов, чем модуль деформации. Он меньше зависит от степени первоначального уплотнения грунта и мало изменяется при изменении действующих нагрузок.

Полевой метод определения модуля упругости засоленных и незасоленных грунтов основан на величине прогиба под действием расчетной нагрузки. Разница двух отсчетов, взятых по индикатору (с учетом соотношения плеч рычага прогибомера), дает величину прогиба грунта в миллиметрах:

$$l_y = 2(i - i_0), \quad (1)$$

где  $l_y$  – полная упругая деформация;  $i$  – показания индикатора.

Экспериментальные исследования проводили с суглинками пылеватыми при средней степени засоления 5% и супесью легкой при среднем засолении 3%, а так-

Границы разрядов	Середина разряда	Частота, $m_i$	Частичная сумма, $S_m$	Накопленная частота, $T$	Середина условного интервала, $e$	Произведения		
						$e \cdot m_i$	$e^2$	$e^2 \cdot m_i$
28–29	28,5	3	3	3	-2	-6	4	12
29–30	29,5	5	8	11	-1	-5	1	5
30–31	30,5	11	19	30	0	0	0	0
31–32	31,5	7	26	56	1	7	1	7
32–33	32,5	3	29	85	2	6	4	12
$n = \sum m$		29						
$M = S_m + m_{i+1}$			85					
$T = T_i + S_{mi+1}$				185				
$B = \sum e \cdot m_i$						2		
$A = \sum e^2 \cdot m_i$								36

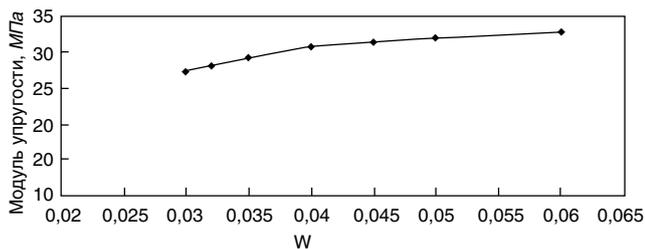


Рис. 5. Изменение модуля упругости засоленного грунта в зависимости от его влажности

же на дороге, возводимой из незасоленного грунта – су-песи легкой.

Для проведения исследований использовали балочный прогибомер типа КП-204.

Иглу прогибомера помещали между задними колесами расчетного автомобиля (типа МА3-500А). Автомобиль выдерживали на точке, до тех пор пока отсчет по индикатору  $i_0$  не изменялся за 10 с более чем на 0,005 мм, после чего снимали по индикатору первый результат. Затем автомобиль отъезжал от прогибомера. Грунт после снятия нагрузки через некоторое время выпрямлялся, что приводило к поднятию иглы и изменению отсчета на индикаторе. По формуле (1) определяли величину прогиба грунта земляного полотна. Затем выполняли статическую обработку эквивалентных модулей упругости грунта. Номинальная статическая нагрузка на колесо расчетного автомобиля составляла 50 кН. Давление в шинах было 0,5–0,55 МПа. Также измеряли влажность в рабочем слое земляного полотна. Для этого закладывали шурф на глубину до 1 м. Влажность грунта определяли в лаборатории весовым методом.

Для вычисления модуля упругости грунта по экспериментальным данным использовали формулу [1]:

$$E_i = K_q p D (1 - \mu^2) / l_i, \quad (2)$$

где  $K_q$  – коэффициент, зависящий от характера передачи нагрузки на покрытие; так, при испытании с помощью жесткого штампа  $K_q = 0,25p$ , а с помощью спаренного колеса и прогибомеров –  $K_q \approx 0,6$ ;  $p$  – давление на грунт земляного полотна, МПа;  $D$  – диаметр круга, эквивалентного следу колеса;  $\mu$  – коэффициент Пуассона ( $\mu = 0,3$ ).

В результате исследований была установлена разница в модулях упругости засоленных и незасоленных грунтов земляного полотна одного гранулометрического состава, что подтверждает негативное влияние соли на физико-механические свойства грунтов.

Результаты измерений модулей упругости представлены на рис. 1, 2.

Рис. 3 и 4 иллюстрируют полученные прогибы и модули упругости для исследуемых засоленных и незасоленных грунтов. На рис. 5 показано влияние влажности на модуль упругости.

В ходе работы также была исследована возможность использования засоленного грунта в строительстве с учетом вероятностной сущности процесса засоления на основе данных, полученных в ходе экспериментальных исследований. Для создания математической модели применяются законы распределения. Основные показатели прочностных свойств грунта по результатам обработки исследований подчиняются нормальному закону распределения [4, 6, 7]. При этом определяли как среднюю величину модуля упругости, так и его среднеквадратическое отклонение. Статистическую обработку результатов измерений выполняли мультипликативным методом и методом суммирования.

В таблице приведены результаты статистической обработки модулей упругости засоленного грунта – су-глинка пылеватого.

Среднее значение определяется по формуле:

$$E_{cp} = \sum E_i \cdot p_i = 30,55, \quad (3)$$

где  $E_i$  – середина  $i$ -го разряда;  $p_i$  – частота появления значений в  $i$ -м разряде.

Дисперсия распределения по формуле:

$$D = \sum [(E_i - E_{cp})^2 \cdot p_i] = 1,28, \quad (4)$$

где  $E_{cp}$  – среднее значение модулей упругости.

Значение среднеквадратического отклонения по зависимости:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{1,28} = 1,13. \quad (5)$$

По методу суммирования:

$$E_{cp} = U_k - d(M/n - 1) = 32,5 - 1(85/29 - 1) = 30,56; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{d^2 / (n-1) \cdot (2 \cdot \sum T - M - M^2 / n)} = \\ &= \sqrt{(1/28) \cdot (2 \cdot 185 - 85 - 85^2 / 29)} = 1,13. \end{aligned}$$

По мультипликативному методу:

$$E_{cp} = x_a + d/n \cdot B = 30,5 + (2/35) \cdot 1 = 30,55; \quad (7)$$

$$\sigma = \sqrt{d^2 / (n-1) \cdot (A - B^2 / n)} = \sqrt{1/28 \cdot (36 - 4/29)} = 1,13.$$

В результате получаем средний модуль упругости исследуемого грунта, который составляет 30,55 МПа при среднеквадратическом отклонении 1,13 МПа, а коэффициент вариации отклонений составляет:

$$C_v^E = \frac{\sigma}{E_{cp}} = \frac{1,13}{30,55} = 0,036.$$

Для незасоленных грунтов получили аналогичные значения:

$$E_{cp} = 40,58; \sigma = 1,52; C_v^E = \frac{\sigma}{E_{cp}} = \frac{1,52}{40,58} = 0,038.$$

Таким образом, по результатам обработки экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При исследовании засоленных грунтов и грунтов без солей по критерию Пирсона действует нормальное распределение.

2. В результате сравнения полученных показателей засоленных и незасоленных грунтов видно негативное влияние засоления на механические свойства грунтов, а именно снижение модуля упругости при одной и той же влажности. На основе проведенных экспериментальных работ видно, что при средней влажности 3% модуль упругости незасоленного грунта находится в пределах 37–44 МПа, а засоленного грунта 25–35 МПа. В результате снижения прочности засоленных грунтов увеличивается риск разрушения и потери устойчивости земляного полотна в отличие от незасоленных грунтов, что должно учитываться в математическом аппарате при проектировании.

3. Полученные результаты являются исходными данными для оценки риска разрушения земляного полотна как засоленных грунтов, так и грунтов без солей.

## Список литературы

1. Овчиников И.Г., Распалов О., Столяров В.В. Соответствует ли дорожная отрасль современному уровню научно-технического развития? // *Транспорт Российской Федерации*. 2006. № 4. С. 17–19.
2. Столяров В.В. Пути реализации Федерального закона «О техническом регулировании» в области дорожного хозяйства // *Транспорт Российской Федерации*. 2006. № 5. С. 78–81.
3. Столяров В.В., Шмагина Э.Ю. Новый подход к гамма-распределению при обосновании расчетных расходов мостовых переходов // *Известия Орловского государственного технического университета. Строительство и транспорт*. 2007. № 3. С. 67–69.
4. Калмыков С.И., Столяров В.В., Глухов А.Т., Лощинин О.В. Теоретические аспекты экологического риска // *Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И.Вавилова*. 2009. № 10. С. 21–27.
5. Столяров В.В., Кокодеева Н.Е. Методологическое обеспечение проектирования дорожных одежд нежесткого типа с применением геоматериалов с учетом принципов технического регулирования (на основе теории риска) // *Строительство и реконструкция*. 2010. № 4. С. 59–66.
6. Кокодеева Н.Е. Обеспечение безопасности автомобильных дорог с учетом теории риска // *Строительные материалы*. 2009. № 11. С. 80–81.
7. Совершенствование методов управления влажностью грунта земляного полотна в весенний период года с целью снижения риска разрушения дорожной одежды нежесткого типа // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2011. Т. 1. № 1. С. 195–202.

## References

1. Ovchinnikov I.G., Raspalov O., Stolyarov V.V. Corresponds to whether the current level of road sector scientific and technological development? *Transport Rossiiskoi Federatsii*. 2006. No. 4, pp. 17–19. (In Russian).
2. Stolyarov V.V. Ways to implement the federal law «On technical regulation» in the field of road infrastructure. *Transport Rossiiskoi Federatsii*. 2006. No. 5, pp. 78–81. (In Russian).
3. Stolyarov V.V., Shmagina E.Yu. A new approach to the gamma distribution in the justification of the estimated cost of bridges. *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i transport*. 2007. No. 3, pp. 67–69. (In Russian).
4. Kalmykov S.I., Stolyarov V.V., Glukhov A.T., Loshchinin O.V. Theoretical aspects of environmental risk. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta imeni N.I.Vavilova*. 2009. No. 10, pp.21–27. (In Russian).
5. Stolyarov V.V., Kokodeeva N.E. Methodological support for designing pavements with non-rigid type prieniemiom geomaterials based on the principles of technical regulation (based on risk theory). *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2010. No. 4, pp. 59–66. (In Russian).
6. Kokodeeva N.E. Provision of safety of auto-roads taking the theory of risk into account. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2009. No. 11, pp. 80–81. (In Russian).
7. Improved management of soil subgrade moisture in the spring of the year in order to reduce the risk of fracture non-rigid pavement type. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. Vol.1. No. 1, pp. 195–202. (In Russian).

Реклама



## Российские сушилки кипящего слоя «Активатор»

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



[www.activator.ru](http://www.activator.ru)

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

**СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО**  
**СКБ СТРОЙПРИБОР**  
**ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**



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

Реклама

**ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА**

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

автоматическая обработка измерений



диапазон 3...100 МПа

**УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С**  
ультразвуковой

поверхностное и сквозное прозвучивание



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

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

отрыв со скалыванием и скалывание ребра



предельное усилие 60 кН  
диапазон 5...100 МПа

**ПОС-2МГ4 П**

испытание прочности ячеистых бетонов



предельное усилие вырыва 2,5 кН

**ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКИЕ**

**ПДУ-МГ4 "Удар"**

и ПДУ-МГ4 "Импульс"

определение динамического модуля упругости грунтов и оснований дорог методом штампа,

диапазон: 5...370 МН/м<sup>2</sup> ("Удар")  
5...300 МН/м<sup>2</sup> ("Импульс")



**Прессы испытательные малогабаритные**

**ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4 / ПГМ-1000МГ4**

с гидравлическим приводом для испытания бетона, асфальтобетона, кирпича

■ предельная нагрузка 100 / 500 / 1000 кН

■ масса 70 / 120 / 180 кг



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

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

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

**ПСО-10МГ4 КЛ**

испытание прочности сцепления в каменной кладке



предельное усилие отрыва 15 кН

**АДГЕЗИМЕТРЫ**

**ПСО-МГ4**

испытание прочности сцепления покрытия с основанием



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

**ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

**ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"**

стационарный и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

**АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ**

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

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



**ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01**  
термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



**ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

**ИТП-МГ4.03 "Поток"**

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



диапазон 10...999 Вт/м<sup>2</sup>  
-40...+70 °С

**ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ**

**ВЛАГОМЕР-МГ4**

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



**ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА**

**ИПА-МГ4**

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



**ТЕРМОМЕТРЫ**

**ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01**

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



**ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ**

**ДО-40 / 60 / 80МГ4**

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых усилий 2...120 кН

диаметр арматуры 3...12 мм



**ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ**

**ЭИН-МГ4**

частотный метод

диаметр арматуры 3...32 мм

диапазон 100...1800 МПа



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

УДК 699.81

Н.И. КОНСТАНТИНОВА<sup>1</sup>, д-р техн. наук, профессор; К. ВЕБЕР<sup>2</sup> (carlo.weber@dupont.com), специалист по техническому маркетингу отдела «Инновации в строительстве»;  
Г.В. АФАНАСЬЕВА<sup>3</sup>, канд. хим. наук (guzel.afanasyeva@dupont.com);  
Ф. НОРБЕРТ<sup>2</sup>, специалист по техническому маркетингу отдела «Инновации в строительстве»

<sup>1</sup> ФГБУ ВНИИПО МЧС (143903, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

<sup>2</sup> DuPont de Nemours (Luxembourg) S.a.r.l. L-2984 Luxembourg

<sup>3</sup> ООО «Дюпон Наука и Технологии» (121614, Москва, ул. Крылатская, 17, корп. 3)

## Исследование пожарной безопасности гидроветрозащитных мембран для ограждающих конструкций

Приведен обзор исследований, связанных с применением гидроветрозащитных мембран в ограждающих конструкциях зданий, представлены результаты сравнительных испытаний по оценке эффективности их применения, выполненные различными исследовательскими группами. Рассмотрена методология испытаний строительных материалов на пожарную опасность в России, показана особенность поведения термически тонких материалов, в том числе полимерных мембран, при тепловом воздействии. Представлены результаты испытаний тонкослойных полимерных материалов по методике ГОСТ Р «Материалы строительные. Метод испытаний на возгораемость под воздействием малого пламени» (аналог EN ISO 11925-2 «Reaction to fire tests – Ignitability of building products, subjected to direct impingement of flame – Part 2. Single flame source test»), указывающие на возможность оценки образования горящего каплепадения и расплава, оценки их огнестойкости, произведен сравнительный анализ полученных результатов исследований с результатами оценки пожарной опасности мембран по европейским методам. Проанализированы основные возможные причины возникновения пожаров в строительной конструкции с использованием полимерных гидроветрозащитных мембран (несоблюдение правил пожарной безопасности при проведении сварочных, кровельных и других работ и технологической дисциплины). Показано, что применение полимерных мембран с дополнительным огнестойким покрытием, в том числе не образующих горящего каплепадения, в составе строительной конструкции при возможном возгорании может в значительной степени уменьшить риск возникновения пожара.

**Ключевые слова:** гидроветрозащитные мембраны, эффективность огнестойкости, навесные фасадные системы с вентилируемым зазором, испытания на возгораемость методом «малой горелки».

N.I. KONSTANTINOVA<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering); Veber KARLO<sup>2</sup> (carlo.weber@dupont.com), Specialist in technical marketing, Department of innovations in construction; G.V. AFANASIEVA<sup>3</sup> (guzel.afanasyeva@dupont.com), Candidate of Sciences (Chemistry); Frey NORBERT<sup>2</sup>, Specialist in technical marketing, Department of innovations in construction

<sup>1</sup> FGBU VNIIPPO of EMERCOM of Russia (Federal State-Financed Establishment «All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters» (12, micro-district VNIIPPO, Balashikha, 143903, Moscow Oblast, Russian Federation)

<sup>2</sup> DuPont de Nemours (Luxembourg) S.a.r.l. L-2984 Luxembourg

<sup>3</sup> ООО DuPont Science and Technology (17, structure 3, Krylatskaya Street, 121614 Moscow, Russian Federation)

### Research in Fire Safety of Hydro-Windproof Membranes for Enclosing Structures

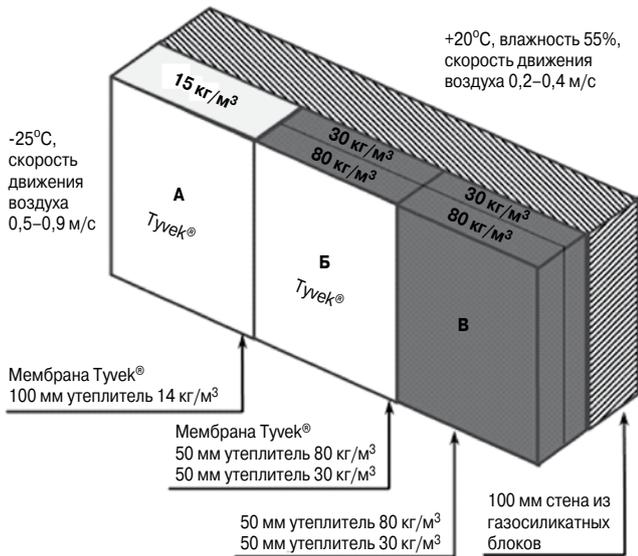
A review of investigations connected with the use of hydro windproof membranes in enclosing structures is presented; results of comparative tests on evaluating the efficiency of their application conducted by different research groups are given. A methodology of tests of building materials on fire safety in Russia is considered; features of the behavior of thermally-slender materials, including polymeric membranes, under heat impact are shown. Results of tests of thin-layer polymeric materials according to the methodology of the final version of draft GOST R «Building Materials. Methods of Tests on Ignitability under the Impact of a Small Flame (an analogue of EN ISO 11925-2 «Reaction to fire tests – Ignitability of building products, subjected to direct impingement of flame – Part 2. Singleflamesourcetest») are presented; they show a possibility to evaluate the formation of falling burning drops and the melt and to assess their fire protection; a comparative analysis of the obtained results with the results of evaluation of fire hazard of membranes according to European methods is made. Basic possible reasons for fire breaking-out in the building structure with polymeric hydro windproof membranes (not following the rules of fire safety in the course of welding, roof and other works and technical discipline) are analyzed. It is shown that the use of polymeric membranes with additional fire protection coatings (including those that don't generate the falling of burning drops) in the composition of the building structure, in case of possible combustion, can significantly reduce the risk of the fire.

**Keywords:** hydro windproof membranes, efficiency of fire protection, suspended façade systems with ventilated gap, tests on combustibility by method of «small-burner» test.

В последние годы все больше внимания уделяется вопросам энергоэффективности и долговечности зданий и сооружений (Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»). Для решения этой задачи в строительстве все чаще применяют современные строительные материалы, которые позволяют в более короткие сроки с меньшими трудозатратами и большей эффективностью решать актуальные задачи в строительстве. Вопросы эффективности и пожарной безопасности применяемых материалов остаются актуальными для профессионалов при выборе того или иного материала, но в некоторых случаях рассматриваются раздельно. Использование материала, отвечающего только требованиям пожарной безопасности, но не обладающего рядом важных характеристик для обеспече-

ния заданных свойств в конструкции, не решает поставленной задачи в строительстве с точки зрения ее эффективной работы. Очевидно, что в данном вопросе необходимо учитывать комплекс требований: физико-технические свойства материалов, эффективность их использования в конструкции, безопасность эксплуатации, в том числе в составе конструкции, соответствие требованиям нормативной базы и законодательства. Таким образом, современные материалы должны в одинаковой степени отвечать как заданным критериям пожарной безопасности, так и обеспечивать эффективную работу конструкции.

В мировой практике строительства энергоэффективных зданий широко применяют гидроветрозащитные мембраны (в зарубежной литературе встречаются термины wind barrier, weather barrier, breathable membrane, house wrap, airinfiltration barrier, underlay, далее «мембрана»), которые достаточно открыты для прохождения во-



**Рис. 1.** Сравнение приведенного сопротивления теплопередаче ( $R$ ) фрагментов ограждающих конструкций с использованием утеплителя различной плотности:  $15 \text{ кг/м}^3$  и  $(80+30) \text{ кг/м}^3$  в присутствии мембраны Tyvek® и без нее

данных паров, но при этом обладают способностью препятствовать проникновению воды. Довольно часто мембраны используют для защиты теплоизоляционного материала, увлажнение которого приводит к значительному снижению сопротивления теплопередаче ( $R$ ) [1]. Такая сепаративная работа мембраны обеспечивает надежную защиту конструкции от переувлажнения и снижает риск образования конденсата. Одно из преимуществ применения такого рода материалов – обеспечение достаточного уровня ветрозащиты. В процессе изучения вопросов повышения энергоэффективности зданий исследовательские группы большое внимание уделяют процессу, известному в зарубежной литературе под названием wind washing (иногда forced convection, anblashing) [2]; в российской литературе для описания подобного процесса используют термин «продольная инфильтрация» или «продольная фильтрация» [3]. Процесс заключается в обмене воздуха между внешним слоем теплоизоляционного материала и вентиляционным зазором за счет разницы давлений на поверхности теплоизоляционного материала (конвективный обмен).

В работах многих зарубежных исследователей доказан вклад мембраны в энергоэффективность конструкции методом математического моделирования или на основе экспериментальных данных [1, 2, 4, 5].

В работе [2] описаны результаты измерения сопротивления теплопередаче ( $R$ ) на примере 12 различных типов конструкций (всего результаты 34 тестов) при заданном давлении ветрового потока в условиях климатической камеры (hot-box). Автор описывает зависимость снижения расчетных значений  $R$  от величины давления ветрового потока на внешнюю облицовку конструкции, в которой была обеспечена полная герметизация пароизоляционного слоя; снижение составило от 9 до 21%. В случае наличия мембраны в составе конструкции значения эффективного сопротивления  $R_{\text{эф}}$  оставались на уровне расчетных независимо от давления ветрового потока на конструкцию. В случае наличия дефектов герметичного пароизоляционного слоя в конструкции автор описывает более значительное снижение эффективного сопротивления теплопередаче конструкции без ветрозащиты по сравнению со значениями для конструкций с установленной мембраной.

Давление ветрового потока может значительно меняться в зависимости от направления (угла воздействия), конструктивных особенностей вентиляцион-

ного зазора и т. д., что, как следствие, увеличивает тепловые потери здания. Экспериментальные данные зависимости коэффициента градиента давления ветра от угла направления его воздействия приведены в работе [5]. Автор также приводит зависимость  $R$  от скорости ветрового потока, указывает на различия в несколько раз между теоретическими и фактическими данными. Кроме того, в работе [4] приведены данные, которые свидетельствуют об улучшении показателей  $R$  при наличии герметизации ветрозащиты.

В работе [5] исследуется достаточный уровень воздухопроницаемости ветрозащиты, включая перехлесты в вентилируемых фасадных конструкциях каркасных домов; верхний уровень воздухопроницаемости ветрозащиты устанавливается на уровне  $0,05 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$  или  $1,4\text{E}-5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$ . Автор приводит данные по изменению сопротивления теплопередаче конструкции в зависимости от скорости ветрового потока и показывает эффект применения ветрозащиты в конструкции. В работе [6] приводятся рекомендации по численным значениям верхних уровней воздухопроницаемости ветрозащиты:  $1\text{E}-5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$  в случае сильной угловой конвекции и  $2,5\text{--}3\text{E}-5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$ , если теплоизоляционный материал выполнен сегментами.

В дополнение к известным зарубежным исследованиям [1, 2, 4, 5] выполнен эксперимент на лабораторной базе «Стройтехнорм» (Республика Беларусь). В ходе опытов были проведены сравнительные испытания в климатической камере трех элементов навесной фасадной системы с вентилируемым зазором при скорости движения воздуха ( $0,5\text{--}0,9 \text{ м/с}$ ) по схеме при разной толщине утеплителя:

А. 100 мм утеплитель плотностью  $\rho=14 \text{ кг/м}^3$  с мембраной;

Б. 50 мм утеплитель  $\rho=30 \text{ кг/м}^3$ , 50 мм утеплитель  $\rho=80 \text{ кг/м}^3$  с мембраной;

В. 50 мм утеплитель  $\rho=30 \text{ кг/м}^3$ , 50 мм утеплитель  $\rho=80 \text{ кг/м}^3$  без мембраны, где  $\rho$  – плотность утеплителя.

Элементы были закреплены на стене, выложенной из газосиликатных блоков толщиной 100 мм (рис. 1).

Определение сопротивления теплопередаче указанных фрагментов ограждающих конструкций производилось в соответствии с требованиями ГОСТ 26254–84 «Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций» после достижения стационарного режима теплопередаче (20 сут) (рис. 1, 2).

В результате проведенных исследований было установлено:

– разница приведенного сопротивления теплопередаче фрагментов с мембраной и без нее составила ~10%, а на верхнем уровне конструкции – до 15%. т. е. фрагмент с мембраной имеет более высокие значения указанного параметра;

– разница приведенного сопротивления теплопередаче между фрагментами с утеплителем  $\rho=14 \text{ кг/м}^3$  с мембраной и утеплителями плотностью  $\rho=30$  и  $80 \text{ кг/м}^3$  соответственно с мембраной оказалась минимальной и находилась в пределах погрешности измерений.

Таким образом, удалось установить, что даже при относительно низкой скорости движения воздуха ( $0,5\text{--}0,9 \text{ м/с}$ ) и соответственно низком давлении на поверхность утеплителя конструкция с различными по плотности утеплителями с применением мембраны обладает лучшими теплотехническими характеристиками по сравнению с конструкциями без мембран.

В российской практике применение мембран с целью защиты утеплителя в вентилируемых фасадах распространено в меньшей степени по сравнению с использованием за рубежом, кроме того, в нормативной базе физико-технические требования к ним установлены не в полной мере. Тем не менее данный вопрос является акту-



Рис. 2. Фрагмент фасада, собранного в климатической камере с установленными датчиками



Рис. 3. Установка для испытаний по методу ГОСТ Р «Материалы строительные. Метод испытаний на возгораемость под воздействием малого пламени» («малая горелка»). Определяемые показатели: воспламенение фильтровальной бумаги горящим расплавом или частицами образца; наличие распространения пламени на расстояние 150 мм от точки его воздействия в течение 20 и 60 с



альным для современного строительства, в котором задача повышения энергоэффективности играет важную роль. Сегодня российский рынок гидро-ветрозащитных материалов представлен различными технологиями и материалами. При этом понятие мембраны используется в отношении материалов, которые не выполняют сепаративной функции мембраны и не обеспечивают достаточной защиты от влаги, особенно под давлением, возникающим при действии ветрового потока или дождя.

В связи с этим представляет интерес дать определение данному классу материалов:

*Ветрогидрозащитная мембрана (ВГЗМ) — это строительный материал, защищающий конструкцию от конвективного (в ряде случаев аэродинамического) теплопереноса, осуществляющий сепарацию влаги по агрегатному состоянию при заданном давлении, т. е. выполняющий экс-фильтрацию пара и сопротивляющийся инфильтрации капельной влаги.*

Мембрана также обеспечивает защиту последующих слоев конструкции от запыления, воздействия животных и насекомых, от эмиссии волокна из утеплителя, увеличивает долговечность и энергоэффективность конструкции в целом.

Согласно требованиям Европейского союза данные материалы должны отвечать EN 13859-1 «Гидроветрозащитные материалы для кровли» и EN 13859-2 «Гидроветрозащитные материалы для стеновых применений».

В табл. 1 показаны сравнительные характеристики материалов, изготовленных по различным технологиям и допущенных к применению в строительстве. Как

видно из приведенных данных, материалы, которые не относятся к классу материалов мембранного типа, не удовлетворяют требованиям по гидроизоляционным свойствам, воздухопроницаемости даже при наличии достаточно высокой паропроницаемой способности.

Основными параметрами материалов для защиты утеплителя и повышения энергоэффективности фасадной конструкции является сочетание высокой паропроницаемости и гидроизоляционных свойств.

Кроме того, важными показателями материалов данного назначения является соответствие верхнему уровню воздухопроницаемости (достаточный уровень ветрозащиты), прочность и долговечность.

Гидроветрозащитные полимерные мембраны по своему функциональному назначению и области применения используются в основном только в составе строительных конструкций или их элементов, поэтому оценку пожарной опасности следует проводить по методам, учитывающим условия проведения огневых испытаний строительных конструкций согласно существующей нормативной документации.

В частности, ГОСТ 31251–2008 «Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности. Стены наружные с внешней стороны» устанавливает метод соответствующих испытаний наружных стен с выполненными на их внешней поверхности системами изоляции, облицовкой и отделкой при тепловом воздействии пожара с внешней стороны здания, а также пожарно-технические и идентификационные характеристики, входящие в системы горючих материалов.

Таблица 1

Параметр	Рекомендуемые значения*	Образец из flash-spunbond ПЭНД толщиной 0,17 мм	Образец спанбонда из полипропилена толщиной 0,44 мм	Образец из минерального волокна с гидрофобизирующей пропиткой толщиной 0,2 мм
Паропроницаемость, $S_d$ , м ГОСТ Р EN 1296–2011	Менее 0,1 м	0,015	0,0025	0,2
Гидроизоляционные свойства (20 см воды в течение 2 ч = W1) согласно EN 13859-2	Соответствует	Соответствует	Не соответствует	Не соответствует
Гидроизоляционные свойства (водяной столб), м, в соответствии с EN ISO 20811	1	2	0,33	Нет возможности зафиксировать из-за малых значений
Ветрозащита	Да	Да	Нет	Нет

\* На основании опыта применения DuPont в течение 20 лет и требований строительной отрасли в различных странах.

**Таблица 2**

Назначение строительных материалов	Перечень групп необходимых показателей в зависимости от назначения строительных материалов				
	Горючесть	Распространение пламени	Воспламеняемость	Дымообразующая способность	Токсичность продуктов горения
Кровельные материалы	+	+	+	–	–
Гидроизоляционные и пароизоляционные материалы толщиной более 0,2 мм	+	–	+	–	–

**Примечания.** Знак «+» обозначает, что показатель необходимо применять, «–» – показатель не применяется. При применении гидроизоляционных материалов для поверхностного слоя кровли показатели их пожарной опасности следует определять по позиции «Кровельные материалы».

Более подробно данный метод на примере навесных фасадных систем с воздушным зазором описан в статье [7].

По анализу имеющейся информации о результатах испытаний навесных фасадных систем (НФС) с воздушным зазором с различными конструктивными решениями согласно ГОСТ 31251–2008 и относящихся к классу пожарной опасности конструкции К0 было установлено, что в некоторых из них использовали полимерные ветровлагозащитные мембраны толщиной менее 0,2 мм. В процессе проведения огневых испытаний материал мембран в составе конструкции не распространял горения.

Известны случаи возгорания конструкций НФС с воздушным зазором, в том числе и с применением полимерных мембран, только при их монтаже в результате несоблюдения правил пожарной безопасности при проведении сварочных, кровельных и других работ, а также при несоблюдении технологической дисциплины.

Использование полимерных мембран с дополнительным огнезащитным покрытием, в том числе не образующих горящего каплепадения и расплава, в составе строительной конструкции при возможном возгорании может в значительной степени уменьшить риск возникновения пожара. Это актуально как на этапе строительства, так и в процессе эксплуатации зданий (особенно для зданий выше 75 м и с функциональной пожарной опасностью Ф1.1 и Ф4.1) при возникновении случайных источников зажигания в результате неосторожного обращения с огнем и нарушения правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ.

Используемые в строительстве на российском рынке НФС с воздушным зазором должны иметь техническое свидетельство, применяться в соответствии с конструктивными решениями, прошедшими огневые испытания по ГОСТ 31251–2008, а входящие в их состав материалы и изделия сопровождаться необходимыми сертификатами с данными идентификационных характеристик (согласно приложениям А и Б ГОСТ 31251–2008).

В указанных приложениях к стандарту приведены процедуры идентификации материалов по ГОСТ Р 53293–2009 (по характерным термогравиметрическим кривым, кривой потери массы, максимумам дифференциальной термогравиметрической кривой) и оценки наименьшей теплоты сгорания по методике окончательной редакции проекта ГОСТ Р «Материалы строительные. Метод определения теплоты сгорания» (аналог EN ISO 1716 «Building materials – Determination of calorific potential»).

В настоящее время прилагаются значительные усилия для устранения технических барьеров в торговле, в особенности в рамках Соглашения ВТО по ТБТ, поэтому процесс гармонизации действующих в России технических регламентов с международными стандартами является весьма актуальным.

В Российской Федерации действует более 230 национальных и межгосударственных стандартов в области пожарной безопасности, из них полностью или частич-

но гармонизировано с международными стандартами около 45% стандартов [8].

Российская практика оценки параметров пожарной опасности строительных материалов отличается от зарубежной. Обзоры методов и обсуждение актуальности задачи гармонизации представлены в работе [9].

Следует отметить, что согласно Европейской классификации строительных материалов [EN 13501] класс пожарной опасности является комплексным показателем, определяемым на основании испытаний различными методами. Для строительных отделочных, облицовочных и теплоизоляционных материалов предусмотрено 7 классов: А1, А2, В, С, D, Е и F. К классу А1 относят материалы по результатам испытаний методами ENISO 1716 и ENISO 1182; к классу А2 – ENISO 1716, ENISO 1182 и ENISO 13823(SBI); к классам В, С, D – методами ENISO 13823(SBI) и ENISO 11925-2; к классу Е – ENISO 11925-2; к классу F требований не предъявляется. Также существуют подклассы в зависимости от каплеобразования и образования дыма.

В соответствии с действующими в РФ нормативными документами при оценке пожарной опасности строительных материалов, определении области их применения и сертификации используют, как правило, методы испытаний на горючесть, воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, дымообразование и токсичность продуктов горения. В зависимости от численных значений определяемых экспериментально стандартных параметров устанавливают класс пожарной опасности того или иного материала. Классификация лежит в основе противопожарного нормирования применения строи-

Тытек® FireCurb™ не относится к группе легковозгораемых материалов

Стандартный гидроизоляционный слой относится к группе легковозгораемых материалов



Время воспламенения 30 с  
Распространение огня ≤150 мм за 60 с

Время воспламенения 15 с  
Распространение огня ≤150 мм за 60 с

**Рис. 4.** Образец мембраны Тытек® FireCub и образец трехслойного материала на основе полиолефина после испытаний на «малой горелке»

тельных материалов в зависимости от функционального назначения помещений. В частности, для строительных материалов, выполняющих функции гидро- и пароизоляции, перечень показателей, необходимых для оценки их пожарной опасности, представлен в табл. 2.

Некоторые особенности поведения тонкослойных материалов при тепловом воздействии в условиях стандартных испытаний уже были рассмотрены в работе [10].

Причинами, нередко приводящими к ошибочным выводам о показателях пожарной опасности, является малая толщина полимерного строительного материала. К таким материалам, например, относят некоторые пленочные материалы, используемые для гидро- и ветрозащиты, натяжных потолков, различных воздухоопорных конструкций, лакокрасочные покрытия и т. п.

Одной из основных стадий в сложном и многостадийном процессе горения, контролируемого массо- и теплообменом, является процесс нагрева материала, приводящий к образованию достаточного для поддержания пламени потока газообразных горючих продуктов.

Толщина материала играет весьма важную роль, так как обуславливает создание прогретого слоя, определяющего процесс газификации при горении. В зависимости от соотношения толщины материала и глубины прогретого слоя различают два случая – горение термически толстым и термически тонким материалами. Первый характерен для условий, при которых толщина материала много больше прогреваемого слоя, а второй – когда глубина прогреваемого слоя сравнима с толщиной материала. В тонкослойных полимерных материалах имеет место второй случай, особенно когда материал наносится в условиях испытаний на несгораемое основание, что в значительной степени может оказывать влияние на создание тепловых условий эксперимента, а значит, и на получаемые результаты.

В табл. 3 представлены данные сравнительных экспериментальных исследований по оценке показателей пожарной опасности образцов некоторых видов полимерных мембран различного состава для кровельного и стенового применения с целью установления возможной степени огнезащиты стандартными методами.

При проведении испытаний по определению групп горючести, воспламеняемости и распространения пламени (соответственно согласно ГОСТ 30244–94 «Материалы строи-

тельные. Методы испытаний на горючесть» (метод 2); ГОСТ 30402 «Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость» и ГОСТ Р 51032 «Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени») пленочные материалы в зависимости от их реального использования, крепили на несгораемое основание, представляющее собой асбестоцементный лист толщиной 10 мм.

Следует отметить, что во всех проведенных опытах по ГОСТ 30402 уже при значении падающего теплового потока  $10 \text{ кВт/м}^2$  все испытанные образцы расплавились и возможность их воспламенения при воздействии пилотного пламени газовой горелки отсутствовала. Таким образом, по результатам всех проведенных испытаний наличия пламенного горения у образцов не отмечалось даже при поверхностной плотности теплового потока  $50 \text{ кВт/м}^2$ ; образцы были отнесены к группе воспламеняемости В1.

По наблюдениям при испытаниях по ГОСТ Р 51032–97, образцы мембран плавятся на всю толщину в первую минуту воздействия поверхностной плотности теплового потока по длине образца и газовой горелки и дальнейшего распространения пламени по поверхности не происходит.

Длина распространения пламени по поверхности не превышала 25 см, величина критической поверхностной плотности теплового потока (КППТП) составляла соответственно более  $11 \text{ кВт/м}^2$ .

Следует отметить, что результаты анализа информации, указанной в действующих сертификатах соответ-

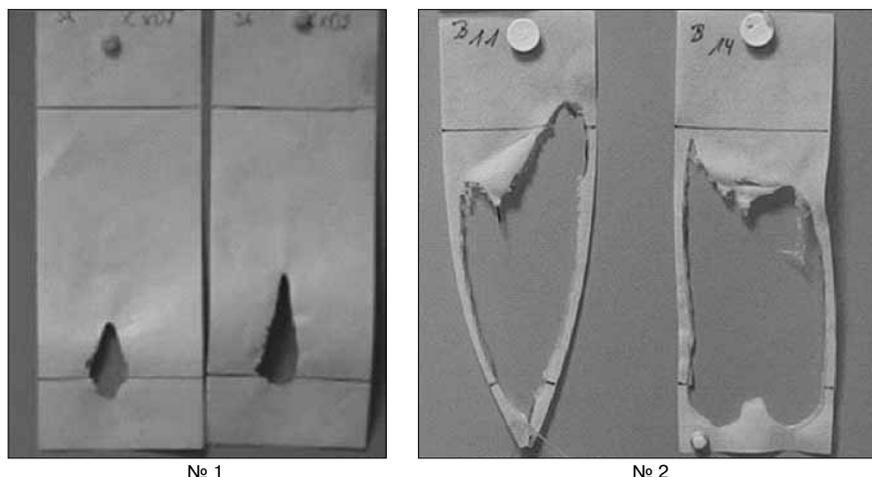


Рис. 5. Образец мембраны Tuvek® FireCub и образец однослойного материала (образец № 2) после испытаний на «малой горелке»

Таблица 3

Наименование материала	Результаты экспериментальных исследований									
	ГОСТ 30244–94 (метод 2)		ГОСТ 30402–95		ГОСТ 51032–96		EN ISO 1716, Q <sub>n</sub> , МДж/кг	КИ [ГОСТ 121044–89 п. 4.14]	EN ISO 11925\ (наличие горящего каплепадения)	Класс пожарной опасности по EN 13501
	Наличие горящего каплепадения	Группа горючести	Q <sub>крит</sub> , кВт/м <sup>2</sup>	Группа воспламеняемости	КППТП, кВт/м <sup>2</sup>	Группа распр. пламени				
Полимерная мембрана без огнезащитного покрытия (0,22 мм)	нет	Г2	50	В1	>11	РП1	49	20,5	Имеется	Е
Полимерный материал без огнезащитного покрытия (0,44 мм)	нет	Г3	50	В1	>11	РП1	48,86	18,3	Имеется	Е
Полимерная мембрана Tuvek® FireCurb™ Housewrap с огнезащитным покрытием	нет	Г1	50	В1	>11	РП1	51,35	23,4	Нет	В-s1,d0.

ствия установленным требованиям показывают для аналогичных материалов достаточно большой разброс представленных данных по группе воспламеняемости В1–В3 и по группе горючести Г1–Г4.

На основании проведенного анализа результатов испытаний по ГОСТ 30244–94 (метод 2) образцов материалов мембран, следует отметить, что при условии отнесения к группам горючести от Г1 до Г3 в процессе экспериментов не было зарегистрировано каплепадения, в том числе горящего.

Результаты, полученные в рамках данных исследований, проведенных по методу «малая горелка» (ENISO 11925), оценивающим наличие капель горящего расплава материала, свидетельствуют об отличии поведения испытанных образцов полимерных мембран под воздействием пламени горелки. Так, полимерная мембрана с дополнительным огнезащитным покрытием Tyvek® FireCurb™ Housewrap (образец № 3) не образует горящего каплепадения. Следует отметить, что классифицированные как умеренно горючий (группа Г2) и нормально горючий (группа Г3) образцы материалов № 1 и 2 соответственно по методу ГОСТ 30244–94 имели горящее каплепадение в результате испытаний по методу «малая горелка» (стандарт ENISO 11925) (рис. 3, 4, 5).

Проведенные сравнительные исследования на пожарную опасность образцов полимерных мембран толщиной 0,2–0,44 мм для кровельного и стенового применения без дополнительного огнезащитного покрытия показали, что они имеют горящее каплепадение и относятся к группе горючих легковозгораемых материалов по методике проекта ГОСТ Р «Материалы строительные. Метод испытаний на возгораемость под воздействием малого пламени» (аналог EN ISO 11925-2 «Reaction to fire tests – Ignitability of building products, subjected to direct impingement of flame, Part 2. Single flame source test»).

Согласно Европейской классификации строительных материалов в соответствии со стандартом EN 13501-1 испытываемые материалы относятся к классу E.

Образец полимерной мембраны с дополнительным огнезащитным покрытием Tyvek® FireCurb™ Housewrap при испытании согласно проекту ГОСТ Р «Материалы строительные. Метод испытаний на возгораемость под воздействием малого пламени» (аналог ENISO 11925-2 «Reaction to fire tests – Ignitability of building products, subjected to direct impingement of flame, Part 2. Single flame source test») не образует горящего каплепадения и не относится к группе горючих легковозгораемых материалов. По Европейской классификации строительных материалов согласно стандарту EN 13501-1 (аналог окончательной редакции проекта стандарта ГОСТ Р «Материалы строительные. Метод испытания на пожарную опасность при тепловом воздействии с помощью единичной горелки») материал относится к классу B-s1,d0.

Таким образом, проведенные результаты комплексных исследований параметров пожарной опасности свидетельствуют о наличии эффекта огнезащиты у образцов мембраны с дополнительным огнезащитным покрытием Tyvek® FireCurb™ Housewrap, что приводит к повышенному коксообразованию и отсутствию образования капель горящего расплава в отличие от образцов гидроизоляционных ветрозащитных паропроницаемых мембран № 1 и 2. При этом образцы мембраны с дополнительным огнезащитным покрытием Tyvek® FireCurb™ Housewrap относятся к менее пожароопасному классу строительных материалов, чем образцы полимерных мембран № 1 и 2.

#### **Выводы**

На основе представленных данных о роли влияния гидроветрозащитной мембраны в ограждающей конструкции можно сделать вывод о значительном вкладе этого класса материалов как компонента системы для повышения энергоэффективности конструкции и зда-

ния в целом. При этом выбор материала и его характеристик является ответственным решением проектировщика, так как несоответствие материала ряду параметров, таких как паропроницаемость, водонепроницаемость, прочность, ветрозащита, долговечность и др., может значительно снизить эффект от применяемого материала, а иногда и ухудшить основные свойства конструкции. В связи с тенденциями в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений в России и принятием федерального закона по энергоэффективности становится актуальным вопрос выбора конструктивных решений и материалов, которые учитывали бы все существующие требования. Научно-исследовательские работы, направленные на решение этой задачи, являются ценным вкладом в достижение поставленных целей.

Как показали результаты испытаний по определению пожарной опасности различных полимерных материалов, существующие методы не отражают в полной мере всех свойств материалов.

Таким образом, можно прийти к однозначному выводу о необходимости некоторой корректировки существующей системы оценки пожарной опасности тонких полимерных материалов.

В частности, в нормативную практику РФ введен национальный стандарт, устанавливающий классификацию по группе горючих легковозгораемых материалов, который позволит выделить группу наиболее пожароопасных материалов, в том числе способных образовывать расплав и падение горящих капель. Стандарт может быть использован на предприятиях-изготовителях для контроля качества производимой строительной продукции. Кроме того, установление факта возможности горящего каплепадения строительных материалов указанным методом исключит необходимость проведения испытаний по оценке горючести термопластичных материалов согласно ГОСТ 30244–94 «Материалы строительные. Методы испытаний на пожарную опасность», что значительно сократит затраты не только по трудоемкости экспериментальных работ, но и по обслуживанию испытательного и измерительного оборудования. Данный метод входит в Систему европейской классификации для оценки строительных материалов, образующих горящие капли расплава (классы C, D, E).

*Авторы выражают благодарность руководителя по развитию бизнеса Тура®, канд. техн. наук А.Ю. Спицына, технического специалиста Евгения Давыдова за постановку эксперимента в «Стройтехнорм» (Минск, Белоруссия), предоставление и интерпретацию результатов исследования в климатической камере, а также С.И. Федотова, руководителя отдела Инновации в строительстве ДюПон за ценные комментарии в процессе подготовки статьи.*

#### **Список литературы**

1. Swinton M.C., Brown W.C., Chown G.A. Controlling the transfer of heat, air and moisture through the building envelope, small buildings: technology in transition. *Proceedings for the Building Science Insight*. 1990. Vol. 17, pp. 17–31.
2. David C. Jones, P.E., Member ASHRAE Impact of Air flow on the Thermal Performance of Various Residential Wall Systems Utilizing a Calibrated Hot Box. *Thermal Envelopes VI/Heat Transfer in Walls II – Principles*. 1996, pp. 247–260.
3. Брилинг Р.Е. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций и материалов. М.: Госстройиздат, 1949.
4. Uvslökk S. The importance of the wind barriers for wood frame constructions. *8th AIVC Conference Uberlingen*. Federal Republic in Germany 21–24 September 1987. Poster P11, pp. 25.1–25.7.

5. Uvslokk S. The importance of wind barriers for insulated timber frame constructions. *Thermal Insulation And Building Envelopes*. 1996. Vol. 20, pp. 40–62.
6. Ojanen T., Criteria for the Hydrothermal Performance of Wind Barrier Structures, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Symposium Building Physics in the Nordic Countries*. 1993. pp. 643–652.
7. Хасанов И.Р., Косачев А.А., Гольцов К.Н. Особенности пожарной опасности навесных фасадных систем с воздушным зазором // *СтройПРОФИль*. 2010. № 3 (81). С. 16–24.
8. Гилетич А., Макеев А., Стрекалев А. Техническое регулирование в области пожарной безопасности. Гармонизация с европейскими нормами // *Пожарное дело*. 2011. № 5. С. 40–42.
9. Доклад Министерства регионального развития Российской Федерации по вопросу «Гармонизация российской и европейской систем нормативных документов в строительстве» (<http://www.minregion.ru/uploads/attachment/documents/2010/12/doklad-mrr-kollegiya.doc> дата обращения 05.11.2014).
10. Константинова Н.И., Молчадский О.И., Меркулов А.А. Особенности оценки пожарной опасности полимерных отделочных материалов // *Пожарная безопасность*. 2011. № 1. С. 84–89.

**References**

1. Swinton M.C., Brown W.C., Chown G.A. Controlling the transfer of heat, air and moisture through the building envelope, small buildings: technology in transition. *Proceedings for the Building Science Insight*. 1990. Vol. 17, pp. 17–31.
2. David C. Jones, P.E., Member ASHRAE Impact of Air flow on the Thermal Performance of Various Residential

- Wall Systems Utilizing a Calibrated Hot Box. *Thermal Envelopes VI/Heat Transfer in Walls II – Principles*. 1996, pp. 247–260.
3. Briling R.E. Vozdukhopronitsaemost' ograzhdayushchikh konstruksii i materialov [Air permeability of building envelopes and materials]. Moscow: Gosstroizdat, 1949.
4. Uvslokk S. The importance of the wind barriers for wood frame constructions. *8th AIVC Conference Ueberlingen*. Federal Republic in Germany 21–24 September 1987. Poster P11, pp. 25.1–25.7.
5. Uvslokk S. The importance of wind barriers for insulated timber frame constructions. *Thermal Insulation And Building Envelopes*. 1996. Vol. 20, pp. 40–62.
6. Ojanen T., Criteria for the Hydrothermal Performance of Wind Barrier Structures, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Symposium Building Physics in the Nordic Countries*. 1993. pp. 643–652.
7. Khasanov I.R., Kosachev A.A., Gol'tsov K.N. Features of fire risk of curtain façade system with air cavity. *StroiPROFII'*. 2010. No. 3 (81), pp. 16–24 (In Russian).
8. Giletich A., Makeev A., Strekaev A. Technical regulations in the field of fire safety. harmonization with European Standards. *Pozharnoe Delo*. 2011. No. 5, pp. 40–42. (In Russian).
9. Report of Ministry of Regional Development of Russian Federation concerning question of «Harmonization of Russian and European systems of normative documents in construction». (<http://www.minregion.ru/uploads/attachment/documents/2010/12/doklad-mrr-kollegiya.doc> date of access 05.11.2014). (In Russian).
10. Konstantinova N.I., Molchadskii O.I., Merkulov A.A. Specificity of fire risk evaluation of polymeric finishing materials. *Pozharnaya bezopasnost'*. 2011. No. 1, pp. 84–89. (In Russian).

Реклама



## Российские промышленные помолно - классификационные комплексы «Активатор»

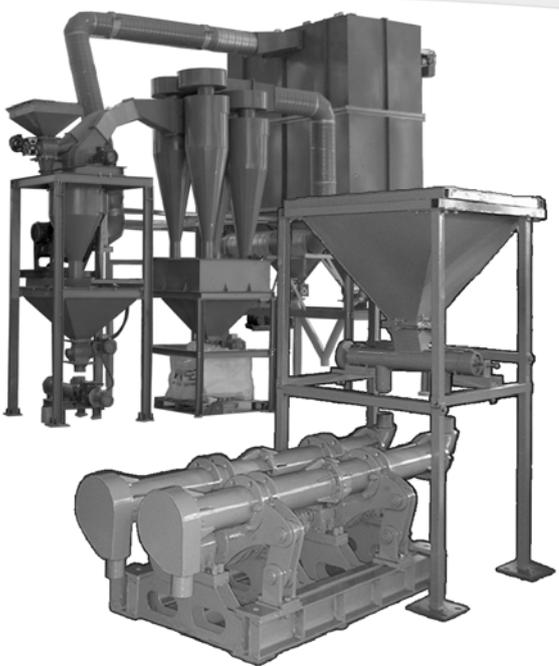
	АПК 100	АПК 500	АПК 1000	АПК 5000
производительность	100 кг/ч	500 кг/ч	1000 кг/ч	5000 кг/ч
граница разделения	1-10 мкм	3-20 мкм	5-50 мкм	5-70 мкм
потребляемая мощность	11 кВт/ч	22 кВт/ч	45 кВт/ч	130 кВт/ч

Общий вид кривых распределения частиц по размерам после помола и классификации.



**www.activator.ru**

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



УДК 614.841.4:691.17

В.А. УШКОВ, канд. техн. наук (VA.uschkov@yandex.ru), Е.В. СОКОРЕВА, инженер,  
А.М. СЛАВИН, канд. техн. наук, А.М. ОРЛОВА, канд. техн. наук

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

## Термостойкость и пожарная опасность строительных пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров\*

Рассмотрены термостойкость, горючесть, дымообразующая способность и состав летучих продуктов пиролиза промышленных марок резольных пенофенопластов (ПФП), жестких пенополиуретанов (ППУ) и карбамидных пенопластов (КФП). Показано, что горючесть пенопластов зависит от их кажущейся плотности, химической природы и соотношения исходных компонентов, а состав продуктов пиролиза – от температуры разложения и условий проведения эксперимента. Установлено влияние фосфорсодержащих антипиренов на термостойкость, пожарную опасность и эксплуатационные свойства строительных пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров. Выявлена оптимальная концентрация фосфора в материале для получения умеренно- и слабогорючих пенопластов. Показано, что снижение токсичности продуктов пиролиза и горения умеренно- и слабогорючих пенопластов достигается дополнительным введением в исходную композицию  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  или шпинелей хрома. Сочетание антипиренов с указанными соединениями позволяет получать резольные ПФП, жесткие ППУ и КФП с пониженной пожарной опасностью и высокими эксплуатационными показателями.

**Ключевые слова:** антипирен, горючесть, пиролиз, термостойкость, токсичность.

V.A. USHKOV, Candidate of Sciences (Engineering) (VA.uschkov@yandex.ru), E.V. SOKOREVA, Engineer,  
A.M. SLAVIN, Candidate of Sciences (Engineering), A.M. ORLOVA, Candidate of Sciences (Engineering)  
Moscow State University of Civil Engineering 926, Yaroslavskoye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

### Thermal Resistance and Fire Hazard of Building Foam Plastics on the Basis of Reactive Oligomers

Thermal resistance, ignitability, smoke generation ability, and composition of volatile products of pyrolysis of industrial brands of resole phenoplast foams, rigid polyurethane foams, and carbamide foam plastics are considered. It is shown that the ignitability of foam plastics depends on their apparent density, chemical nature, and primary components ratio, and the composition of pyrolysis products – on the decomposition temperature and conditions of experiment conducting. The influence of phosphorus-containing fire retardants on the thermal resistance, fire hazard, and operation properties of building foam plastics on the basis of reactive oligomers has been established. An optimal concentration of phosphorus in the material for manufacturing medium-combustible and weakly combustible foam plastics is revealed. It is shown that reducing toxicity of pyrolysis products and combustion of medium- and weakly combustible foam plastics can be reached by additional introduction of  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  or chrome spinel into the initial composition. The combination of fire retardants with compounds mentioned above makes it possible to manufacture resole phenoplast foams, rigid polyurethane foams, and carbamide foam plastics with reduced fire hazard and high operational characteristics.

**Keywords:** fire retardant, pyrolysis, thermal resistance, toxicity.

В настоящее время повышение термического сопротивления строительных конструкций и снижение тепловых потерь при транспортировке теплоносителя от производителя к потребителю весьма актуальны. В условиях РФ тепловые потери приближаются к 370 млн т условного топлива в год [1]. С учетом изношенности действующих тепловых сетей, составляющих более 90%, и введения более жестких нормативов к тепловой изоляции возникла потребность в более эффективных теплоизоляционных материалах при прокладке новых и ремонте существующих теплосетей. В качестве таких материалов широкое применение получили заливочные пенопласты на основе реакционноспособных олигомеров – жесткие ППУ, резольные ПФП и КФП. При кажущейся плотности 30–150 кг/м<sup>3</sup> они имеют низкий коэффициент теплопроводности 0,032–0,045 Вт/(м·К), высокую термостойкость 100–140°C, хорошее соотношение прочности и кажущейся плотности [2–4]. В строительстве для изоляции промышленного оборудования и трубопроводов чаще всего применяют теплоизоляционные изделия из резольных ПФП марок ФРП-1, Резопен, Виларес-400, Виларес РНП; жестких ППУ марок ППУ-3с, ППУ-307, ППУ-309М, ППУ-317, ППУ-331 и КФП марок МФП-1, МФП-2, МФП-3, пеноизол и др.

Особенности ячеистой структуры пенопластов, зависящие от химической природы полимерной матрицы и дисперсной фазы, определяют не только прочностные и теплофизические характеристики теплоизоляцион-

ных изделий [5, 6], но и влияют на их термостойкость и пожарную опасность [7]. Подавляющее большинство строительных пенопластов относится к горючим материалам с высокой дымообразующей способностью. Поэтому снижение пожарной опасности пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров является важной научно-технической задачей. С этой целью в работе исследовали влияние фосфорсодержащих антипиренов и дымоподавителей на основные физико-механические свойства, термостойкость и пожарную опасность газонаполненных полимеров.

Жесткие ППУ получали на основе простых оксипропилированных полиолов – Лапрол-503, Лапрол-805 (ТУ 226-009-10488057-94) и полиизоцианата (ТУ 2472-002-72311668-2004). Катализаторами вспенивания и отверждения ППУ являлась смесь азотсодержащего полиола Лапромол-294 (ТУ 226-010-10488057-94) с диметилэтаноламином (ТУ 2423-004-78722668-2010), а вспенивающим агентом – смесь хладона-11 (ТУ 6-02-727-78) и воды. Резольные ПФП получали на основе смолы марки ФРВ-1А (ТУ 6-05-1104-78) и вспенивающего отверждающего агента ВАГ-3 (ТУ 2257-008-58948815-2003), а КФП – на основе смолы марки КФ-МТ (ГОСТ 14231-88), ПАВ (ОП-10), вспенивающего (хладон-11 или и-пентан) и отверждающего (водный раствор ортофосфорной кислоты) агентов.

Фосфорсодержащим компонентом при получении умеренно горючих жестких ППУ являлся оксиэтилированный тетраалкилфосфонат пентаэритрита (фосфе-

\* Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (задание № 7.2200.2014/К).

Таблица 1

Компонент	Содержание, мас. % в антипирене		
	Фосдиол	Фостетрол-1	ФЭМ
Фосфор	15,5	14,7	14,3
Гидроксильные группы	10,3	9,4	–
Хлор общий	2,2	0,17	0,4
Летучие	3,6	1,4	8,1

трол-1, ТУ 2226-009-10488057-94). Для снижения горючести КФП и резольных ПФП использовали неорганические фосфаты ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  и микрокапсулированный полифосфат аммония), фосфатные пластификаторы, диамид метилфосфоновой кислоты (ТУ 6-02-3-213-84), а также реакционноспособные фосфорорганические соединения (ФОС), содержащие гидроксильные (фосдиол, фостетрол-1) или метакрилатные (2-фосфоноксиэтилметакрилат – ФЭМ) группы, свойства которых приведены в табл. 1. В качестве оболочки микрокапсул полифосфата аммония использовали сополимер стирола с N-трибромфенил-малеинимидом.

Термический анализ пенопластов проводили с помощью термоаналитического комплекса DuPONT-9900 при нагревании на воздухе со скоростью 10 и 20°С/мин с учетом требований ГОСТ Р 53293-2009. Критериями термостойкости пенопластов являлась температура начала интенсивного разложения ( $T_{\text{нр}}$ ) и максимальной скорости разложения ( $T_{\text{макс}}$ ). Кислородный индекс (КИ), температуры тления ( $T_{\text{тл}}$ ), воспламенения ( $T_{\text{в}}$ ) и самовоспламенения ( $T_{\text{св}}$ ), критическую плотность теплового потока воспламенения пенопластов определяли по ГОСТ 12.1.044-89\*. Предельную концентрацию кислорода при распространении пламени по горизонтальной поверхности ( $c_{\text{пр}}$ ) определяли по методике, приведенной в [7]. Пиролиз пенопластов в изотермических условиях нагрева при 300–800°С осуществляли в пиролитической ячейке, соединенной с хроматографом Цвет-100. Состав летучих продуктов пиролиза и горения определяли также с помощью хромато-масс-спектрометра ЛКВ и химических газоопределителей ГХ-4СО-0,2 и ГХ-СО<sub>2</sub>-2. Эксплуатационные свойства исследованных пенопластов определяли в соответствии с действующими ГОСТами.

В результате проведенных исследований установлено, что термостойкость и горючесть исследованных теплоизоляционных изделий зависят от химической природы и соотношения исходных компонентов, кажущейся плотности пенопластов, температуры и продолжи-

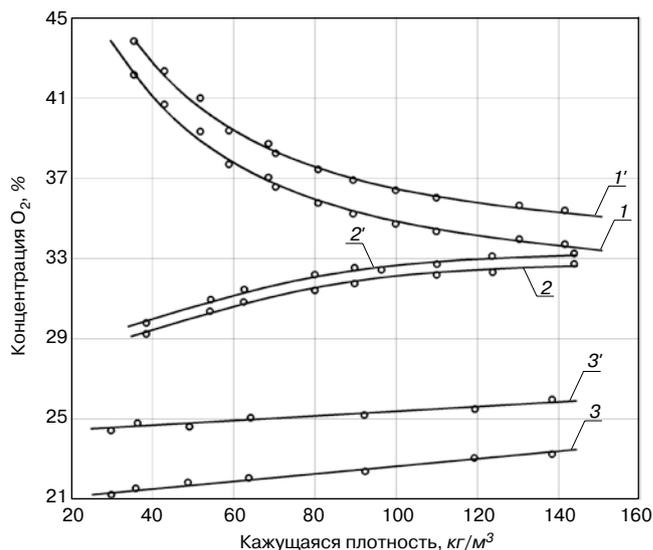


Рис. 1. Зависимость горючести заливочных пенопластов от их кажущейся плотности: 1, 1' – ПФП; 2, 2' – КФП; 3, 3' – ППУ. 1, 2, 3 – КИ; 1', 2', 3' –  $c_{\text{пр}}$

тельности их теплового старения. При этом значения  $c_{\text{пр}}$  пенопластов мало отличаются от значений КИ (рис. 1). Для пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров  $c_{\text{пр}}$  превышает КИ на 1–3 единицы в отличие от монолитных полимеров, где эта разница составляет 7–12 единиц [7]. Термостойкость ПФП зависит от физико-химических свойств и соотношения ФРВ-1А и ВАГ-3, скорости нагрева образцов и условий проведения термогравиметрического анализа. Так, например, с ростом содержания продукта ВАГ-3 в исходной композиции с 16,6 до 20 мас. %  $T_{\text{нр}}$  пенопласта марки ФРП-1 при нагревании со скоростью 10°С/мин возрастает с 249 до 258°С, а  $T_{\text{макс}}$  снижается с 508 до 489°С. У исследованных жестких ППУ  $T_{\text{нр}}$ , как правило, не превышает 210°С, а  $T_{\text{макс}}$  на первой стадии – 360°С (табл. 2). Термостойкость КФП практически не зависит от метода синтеза карбамидных олигомеров, химической природы вспенивающего агента и способа получения пенопласта: у пенопласта марки МФП-3 (воздушно-механическое вспенивание), КФП на основе сухих карбамидных смол и смолы КФ-МТ (физическое вспенивание)  $T_{\text{нр}}$  составляет 185, 195 и 175°С соответственно, а  $T_{\text{макс}}$  для всех видов пенопластов равна 260°С. С ростом скорости нагрева  $T_{\text{нр}}$  и  $T_{\text{макс}}$  сдвигается в область более высоких значений температуры. В табл. 2 приведены термостойкость и горючесть промышленных марок заливочных пенопластов.

Таблица 2

Показатели	Марка пенопласта			
	ФРП-1	Виларес	ППУ	КФП
Температура, °С				
– $T_{\text{нр}}$	249–361	305–371	190–210	175–195
– $T_{\text{тл}}$	330–360	265–285	–	–
– $T_{\text{в}}$	470–500	480–500	235–255	240–260
– $T_{\text{макс}}$	485–508	500–507	240–360	258–274
– $T_{\text{св}}$	540–600	570–600	435–515	440–470
Максимальная скорость разложения, %/мин	8,9–11,9	6,97–11,63	9,8–13,2	14,2–14,8
Кислородный индекс, %	33,4–44,1	33,4–43,2	20,8–24,6	29,3–32,8
Показатель горючести при испытании методом КТ по ГОСТ 12.1.044-84	0,4–2,2	0,4–2,1	0,83–более 2,1	0,71–1,62
Критическая плотность теплового потока воспламенения, кВт/м <sup>2</sup>	30,4–41,6	29,5–40,4	14,7–29,5	21,1–35,6
Предельная концентрация кислорода, %	35,2–47,1	35,1–46,5	24,8–26	29,8–33,2

Жесткие ППУ относят к горючим материалам с высокой дымообразующей способностью. Причем максимальная скорость дымообразования в режиме горения значительно выше, чем в режиме пиролиза. По сравнению с другими промышленными пенопластами резольные пенофенопласты марки ФРП-1 имеют низкую дымообразующую способность (максимальная удельная оптическая плотность дыма  $D_{max}$  при испытании по ГОСТ 24632–81 не превышает 35) и относятся к умеренно- или слабогорючим материалами, склонным к тлению:  $T_{тл}$  пенофенопластов не превышает 265–360°C. Причем пенопласты серии Виларес больше склонны к тлению, чем ПФП марки ФРП-1 [8]. При изменении кажущейся плотности ПФП марки ФРП-1 со 120 до 40 кг/м<sup>3</sup> и соотношения ФРВ-1А: ВАГ-3 от 7:1 до 3:1 КИ температура  $T_{тл}$ ,  $T_{в}$ ,  $T_{св}$  и показатель горючести при испытании методом КТ по ГОСТ 12.1.044–84 повышаются с 33,7%, 265, 470 и 540°C и 0,6 до 44%, 300, 500 и 600°C и 2, 1 соответственно.

Резольные ПФП, КФП и жесткие ППУ при пиролизе и горении выделяют большое количество разнообразных токсичных продуктов. В летучих продуктах пиролиза и горения жестких ППУ масс-спектрометрически обнаружены метан, этан, пропан, этилен, пропилен, оксид этилена, трихлорфторметан, бензол, толуол, СО, СО<sub>2</sub>, HCN и другие соединения. Причем максимальное выделение СО<sub>2</sub> наблюдается при 700°C, а образование СО – при 800°C (рис. 2). Высокая токсичность продуктов высокотемпературного пиролиза ППУ обусловлена большой концентрацией HCN.

Основными продуктами высокотемпературного пиролиза ПФП являются оксиды углерода и азота, HCN, H<sub>2</sub>O, формальдегид, бензол, толуол, фенол и другие углеродсодержащие соединения. Ярко выраженная

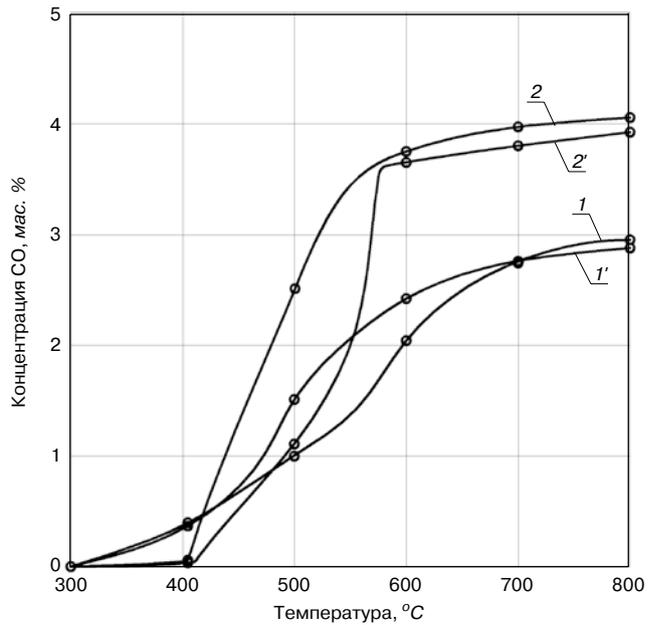
**Таблица 3**

Показатели	Резольные ПФП	ППУ	КФП
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	65–75	43–50	130–150
Разрушающее напряжение, кПа, при – сжатии – изгибе	100–120 100–110	260–280 210–230	700–1300 800–1400
$T_{нр}$ , °C	290–295	182–185	170–175
$T_{в}$ , °C	540–560	460–470	295–310
$T_{св}$ , °C	>600	580–590	465–500
$T_{тл}$ , °C	365–375	–	–
Кислородный индекс, %	44,7–45,3	27,8–28,6	39,5–41,5
Группа горючести по ГОСТ 30244–94	Г-1	Г-2	Г-1
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,035–0,038	0,030–0,032	0,041–0,045

**Таблица 4**

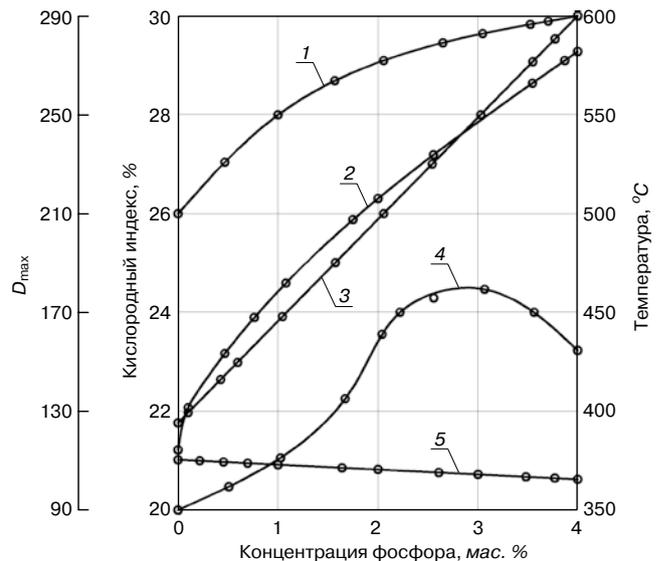
Антипирен	$T_{в}$ , °C	$T_{св}$ , °C	КИ, %
Диаммоний фосфат	285	460	39,3
Микрокапсулированный полифосфат аммония	290	490	39,8
Трикрезилфосфат	300	470	40,5
Дифенил(изобутилфенил)фосфат	305	465	41,2
Диамид метилфосфоновой кислоты	305	465	40

**Примечание.** Содержание антипирена – 1 мас. %.



**Рис. 2.** Зависимость концентрации СО в продуктах пиролиза жестких ППУ (1, 1') и резольных ПФП (2, 2') от температуры разложения пенопластов: 1 – ППУ-309М; 1' – ППУ, содержащий 2,5% фосфора; 2 – пенофенопласт ФРП-1; 2' – ПФП, содержащий 1,34% фосфора

опасность летучих продуктов пиролиза ПФП обусловлена в первую очередь высоким уровнем выделения СО (338–700 мг/г), вклад которого в общетоксический эффект является преобладающим. Максимальный выход СО (670–700 мг/г) в продуктах термоокислительной деструкции ПФП в изотермических условиях нагрева в пиролизе замкнутого типа наблюдается при 525°C, а СО<sub>2</sub> (392–520 мг/г) при 750°C. При этом соотношение ФРВ-1А и ВАГ-3 практически не влияет на содержание СО и СО<sub>2</sub> в продуктах пиролиза ПФП, а суммарный выход оксидов углерода при разложении пенофенопласта ФРП-1 в 1,5–2 раза выше, чем для жесткого ППУ. В динамических условиях нагрева (60°C/мин) на воздухе при 600°C концентрация HCN в продуктах пиролиза составляет 71, 72 мг/г. При этом по токсичности продуктов пиролиза и горения пенопласт марки ФРП-1 относится к высокоопасным материалам.



**Рис. 3.** Зависимость  $D_{max}$  в режиме пиролиза (5) и горения (2), КИ (3),  $T_v$  (4) и  $T_{св}$  (1) жестких ППУ от концентрации фосфора в пенопласте

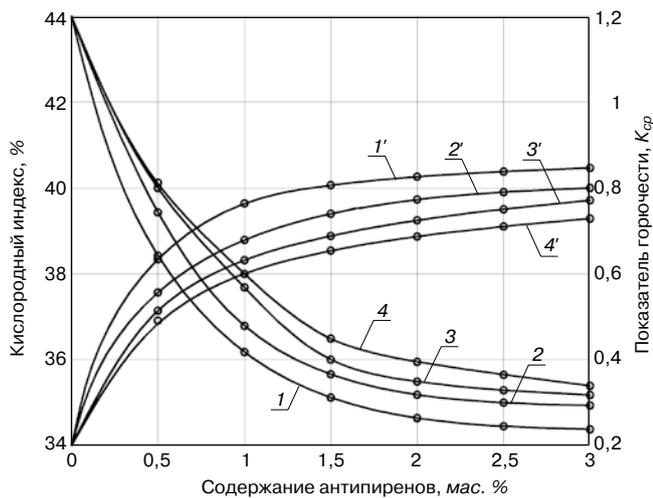


Рис. 4. Зависимость горючести КФП от содержания антипиренов: 1, 2, 3, 4 – показатель горючести  $K_{cp}$ ; 1', 2', 3', 4' – КИ; 1, 1' – микрокапсулированный полифосфат аммония; 2, 2' – диаммоний фосфат; 3, 3' – ФЭМ; 4, 4' – трикрезилфосфат

Снизить горючесть жестких ППУ можно за счет применения для их получения оксиэтилированного фосфорсодержащего полиола (фостетрол-1). Умеренно горючие ППУ получены при концентрации фосфора в материале 2,5–3 мас. % (содержание фостетрол-1 в полиэфирной смеси не превышает 70% от массы гидроксилированных полиолов). При этом КИ ППУ возрастает до 27,4–28,3%;  $T_{HP}$  снижается до 182°C;  $T_B$  и  $T_{CB}$  повышаются на 100–105 и 75–80°C соответственно (рис. 3). Одновременно снижается концентрация  $CO_2$  и метана в продуктах пиролиза ППУ при 700°C до 3,52–4,03 и 0,45–0,6 мас. %; возрастает концентрация

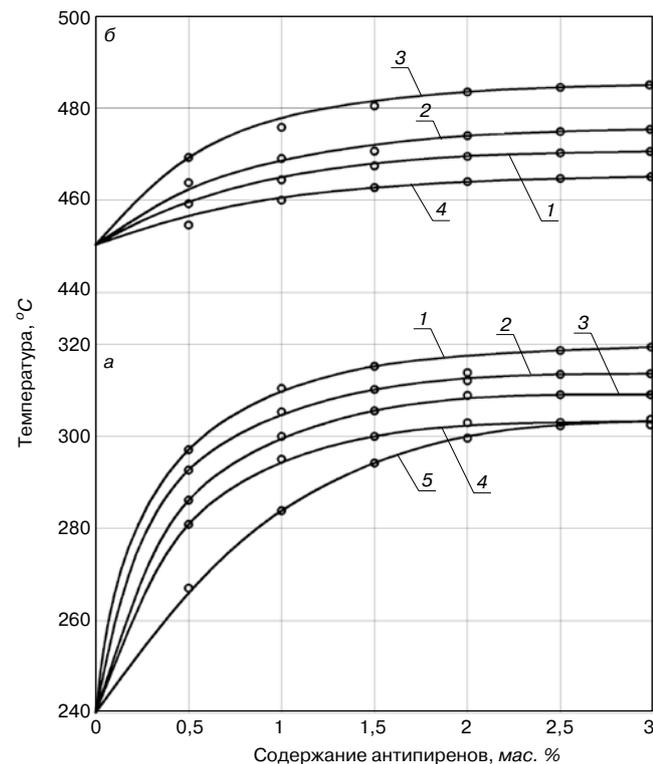


Рис. 5. Зависимость  $T_B$  (а) и  $T_{CB}$  (б) КФП от содержания антипиренов: 1 – дифенил(изобутилфенил)фосфат; 2 – трикрезилфосфат; 3 – трианилидофосфат; 4 – ФЭМ; 5 – микрокапсулированный полифосфат аммония

СО и HCN до 7,91–2,03 и 0,028–0,035 мас. % соответственно. Для исходного ППУ  $D_{max}$  в режиме пиролиза и горения близки. С ростом концентрации фосфора в ППУ  $D_{max}$  в режиме пламенного горения возрастает до 230–245, а в режиме пиролиза практически не зависит от его концентрации (рис. 3). Коэффициент дымообразования в режиме пиролиза и горения умеренно горючих ППУ при испытании по ГОСТ 12.1.044–89\* равен 870–950 и 580–650 м<sup>2</sup>/кг соответственно.

Существенное уменьшение  $D_{max}$  и токсичности продуктов пиролиза и горения фосфорсодержащих ППУ происходит при введении в исходную композицию  $Si_2O_5$ ,  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$  или шпинелей хрома. Так, например, с ростом содержания  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$  до 4,7 мас. % концентрация оксидов углерода в продуктах пиролиза ППУ и  $D_{max}$  в режиме пиролиза и горения снижаются на 25–30%. При этом указанные соединения практически не влияют на термостойкость, технологические и эксплуатационные свойства жестких ППУ, снижают скорость разложения и повышают выход кокса. Оптимальное сочетание указанных соединений позволило разработать умеренно горючие жесткие ППУ, обладающие высокими эксплуатационными показателями. Эксплуатационные свойства и горючесть разработанных заливочных строительных пенопластов приведены в табл. 3.

Химическая природа фосфорсодержащих антипиренов практически не влияет на горючесть КФП: КИ=39,3–41,2;  $T_B=285–305^\circ C$ ;  $T_{CB}=460–470^\circ C$  (табл. 4), но влияет на образование токсичных продуктов пиролиза КФП.

Для получения КФП с пониженной токсичностью продуктов пиролиза и горения целесообразно использовать  $(NH_4)_2HPO_4$ , с ростом содержания которого концентрация СО и  $CO_2$  при разложении пенопласта уменьшается. С повышением содержания указанных антипиренов снижается термостойкость и горючесть КФП. Так, например, при увеличении содержания  $(NH_4)_2PO_4$  до 3 мас. %  $T_{HP}$  и  $T_{max}$  КФП, вспененного хладоном-11, снижаются до 165 и 250°C соответственно. КИ КФП возрастает до 39,3–40,5%,  $K_{cp}$  уменьшается до 0,28–0,35 (рис. 4), а  $T_B$  и  $T_{CB}$  повышаются на 65–80 и 15–55°C соответственно (рис. 5). Для получения сла-

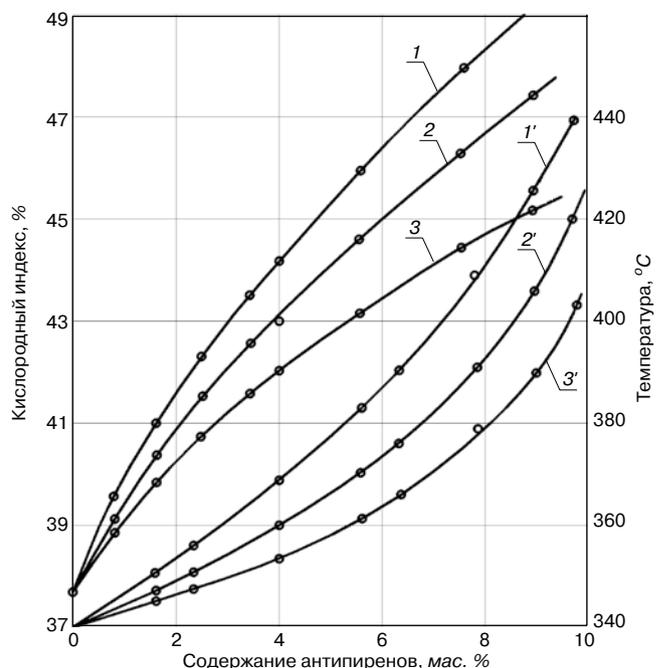


Рис. 6. Зависимость КИ (1, 2, 3) и  $T_{tr}$  (1', 2', 3') резольных ПФП от содержания антипиренов: 1, 1' – фосдиол; 2, 2' – фостетрол-1; 3, 3' – ФЭМ

богорючих заливочных КФП, обладающих хорошими технологическими и физико-механическими свойствами, концентрация фосфорсодержащих антипиренов не должна превышать 1,5 мас. % (табл. 3). При их более высоком содержании резко увеличивается индукционный период и продолжительность вспенивания КФП, возрастает их кажущаяся плотность. Причем диаммонийфосфат в большей степени ингибирует вспенивание и отверждение КФП. Содержание СО и СО<sub>2</sub> в продуктах пиролиза слабогорючих КФП при 450°C не превышает 13 и 224 мг/г, а при 600°C – 32,7 и 391 мг/г соответственно.

Эффективным методом снижения горючести и склонности пенофенопластов к тлению является применение неорганических фосфатов. Так, например, при введении 3,85 мас. % NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> или (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> КИ пенопласта марки ФРП-1 повышается до 44,3 и 46,5 соответственно [8]. Однако неорганические фосфаты значительно замедляют процесс вспенивания и отверждения ПФП. Для производства нетлеющих слабогорючих ПФП, обладающих высокими эксплуатационными показателями, следует использовать реакционноспособные фосфорорганические соединения (ФОС) (табл. 1), взаимодействующие с фенолформальдегидными олигомерами при их отверждении или образующие с ними взаимопроникающие трехмерные структуры в результате полимеризации. ФОС, содержащие метакрилатные или гидроксильные группы, хорошо совмещаются с форполимером ФРВ-1А, незначительно увеличивают

время подъема пены и продолжительность вспенивания; повышается прочность резольных ПФП и качество теплоизоляционных изделий на их основе за счет более равномерного распределения температуры по объему вспениваемой массы. ФОС позволяют получать слабогорючие, нетлеющие после удаления пламени мелкоячеистые ПФП при содержании 6–8 мас. %: КИ изменяется в пределах 43,4–48,2%, а T<sub>тл</sub> составляет 365–390°C (рис. 6). Подавление процесса тления пенофенопластов при использовании ФОС происходит за счет резкого снижения тепловыделения в результате уменьшения скорости и теплоты реакции окисления карбонизованного остатка. Так, например, ФЭМ, содержащий метакрилатные группы, повышает на 30°C теплоустойчивость ПФП и практически не влияет на их термостойкость: T<sub>нр</sub> составляет 290–297°C, а T<sub>макс</sub> равна 485–492°C. Фосдиол и фостетрол-1, содержащие концевые реакционноспособные ОН-группы, включаются в пространственную сетку резита в результате реакций сополиконденсации с участием метилольных ОН-групп, увеличивают выход карбонизованного остатка при пиролизе. Существенное уменьшение токсичности продуктов пиролиза ПФП происходит при дополнительном введении в ФРВ-1А до 4 мас. % Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O.

Таким образом, рациональное использование ФОС и дымоподавителей позволило разработать жесткие ППУ, КФП и резольные ПФП, обладающие пониженной пожарной опасностью и высокими эксплуатационными свойствами.

#### Список литературы

1. Валгин В.Д. Отечественная энергосберегающая технология теплоизоляции строительных конструкций с использованием пенопласта нового поколения // *Пластические массы*. 2007. № 10. С. 44–48.
2. Клемпнер Д. Полимерные пены и технологии вспенивания / Пер. с англ. / Под ред. А.М. Чеботаря. СПб.: Профессия, 2009. 600 с.
3. Абдрахманова Л.А., Мубаракшина Л.Ф. Оценка эксплуатационной стойкости усиленных карбамидных пенопластов // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 38–39.
4. Денисов А.В. Жесткие пенополиуретаны теплоизоляционного назначения // *Строительные материалы*. 2005. № 6. С. 21–22.
5. Гурьев В.В. Влияние структурных особенностей теплоизоляционных материалов из газонаполненных пластмасс на их механические свойства // *Промышленное и гражданское строительство*. 2010. № 12. С. 19–23.
6. Киселев И.Я. Теплофизические свойства пенопластов // *Пластические массы*. 2003. № 6. С. 10–12.
7. Ушков В.А., Лалаян В.М., Сокорева Е.В. Распространение пламени по поверхности строительных пенопластов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. № 2. С. 23–27.
8. Ушков В.А., Бруяко М.Г., Сокорева Е.В., Лалаян В.М. Горючесть фосфорсодержащих резольных пенофенопластов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2012. № 11. С. 35–39.

#### References

1. Valgin V.D. Domestic energy saving technology of thermal insulation of construction designs with use of polyfoam of new generation. *Plasticheskie massy*. 2007. No. 10, pp. 44–48. (In Russian).
2. Klempler D. Polimernye peny i tehnologii vspenivaniya [Polymeric foams and technologies of foaming]. Per. s angl. Pod red. A.M. Chebotarja. SPb. : Professija. 2009. 600 p.
3. Abdrakhmanova L.A., Mubarakshina L. F. Assessment of operational resistance of reinforced urea foams. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 8, pp. 38–39.
4. Denisov A.V. Rigid polyurethane foam insulation destination. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 6, pp. 21–22.
5. Gur'ev V.V. Influence of structural features of heat-insulating materials from gas-filled plastic on their mechanical properties. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2010. No. 12, pp. 19–23. (In Russian).
6. Kiselev I.Ja. Heatphysical properties of polyfoams. *Plasticheskie massy*. 2003. No. 6. pp. 10–12. (In Russian).
7. Ushkov V.A., Lalajan V.M., Sokoreva E.V. Flame distribution on a surface of construction polyfoams. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2013. No. 2, pp. 23–27. (In Russian).
8. Ushkov V.A., Brujako M.G., Sokoreva E.V., Lalajan V.M. Combustibility phosphorus-containing cutting polyfoams. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2012. No. 11, pp. 35–39. (In Russian).

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА

<http://ejournal.rifsm.ru/>

# KELLER H.C.W.

## 55 лет работы под лозунгом: «Качество глины превыше всего!»

**В 1959 г. начала свою работу керамическая лаборатория компании КЕЛЛЕР ХЦВ (Германия)**

Свойства и качество глинистого материала напрямую влияют на технологию производства и производительность кирпичного завода. Чтобы оптимально и в полном объеме удовлетворить требования заказчиков, производитель станков и оборудования компания КЕЛЛЕР ХЦВ из г. Иббенбюрен-Лаггенбек (Германия) 55 лет назад открыла собственную лабораторию, компетентные сотрудники которой были вовлечены в процесс обслуживания клиентов, начиная с разработки предложения и заканчивая приемкой завода.



В ноябре 1959 г. керамическая лаборатория компании КЕЛЛЕР ХЦВ начала свою работу. С тех пор требования к качеству анализа материала значительно возросли, увеличился и объем испытываемого материала. Если ранее на заводах заказчиков производился обжиг 200 т в день продукции, то в настоящее время он в среднем составляет 1700 т в день. Кроме того, оборудование стало более комплексным, в этой связи значительно повысились требования к анализу глинистого материала. Помимо анализа свойств глины при сушке, обжиге и формовании, сотрудники керамической лаборатории КЕЛЛЕР ХЦВ определяют и устанавливают требования к качеству продукции, производимой из глины. Керамическая лаборатория КЕЛЛЕР ХЦВ оказывает широкий спектр услуг – от разведочного бурения и взятия проб в новом осваиваемом карьере до составления точного плана разработки месторождения. На основании собранных данных определяется состав рабочей смеси из глины или оптимизируется состав существующей рабочей смеси с учетом производственных затрат и улучшения качества продукции (водопоглощение, предел прочности при сжатии). Инженеры КЕЛЛЕР ХЦВ используют результаты исследований,



полученные сотрудниками лаборатории с целью оптимизации оборудования для работы с имеющимся сырьем. Таким образом, полученные в лаборатории результаты являются важной составляющей при заключении контракта на поставку оборудования и при проектировании всего завода. Работа керамической лаборатории в рамках проекта заканчивается сопровождением испытаний производительности и замером различных производственных показателей (распределение температуры в печи, температура воздуха, относительная влажность и усадка при сушке), а также содержания вредных веществ в трубопроводах для отходящих газов и горячего воздуха.

Компания КЕЛЛЕР ХЦВ по праву гордится успешным развитием своей керамической лаборатории в течение последних десятилетий. Собственная лаборатория является важной и неотъемлемой частью стратегии компании КЕЛЛЕР ХЦВ из г. Иббенбюрен-Лаггенбек, укрепляющей позиции компании как производителя оборудования для грубокерамической промышленности, предлагающей во всем мире укомплектованные производственные линии «из одних рук».

[www.keller-hcw.ru](http://www.keller-hcw.ru)

# Вадиму Григорьевичу Хозину,

# 75 лет

д-ру техн. наук, заведующему кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций (ТСМИК) Казанского государственного архитектурно-строительного университета, заслуженному деятелю науки Российской Федерации и Республики Татарстан, почетному работнику высшего профессионального образования РФ.

Вадим Григорьевич Хозин родился в г. Альметьевск ТАССР 18 сентября 1939 г. По окончании средней школы он успешно закончил в 1962 г. технологический факультет Казанского инженерно-строительного института (КИСИ). По распределению уехал в г. Бийск, где начал работать мастером в строительном тресте, откуда был призван в ряды Советской Армии. После службы Вадим Григорьевич продолжил работу на производстве – заводе ячеистых бетонов в г. Набережные Челны, где прошел путь до главного технолога.

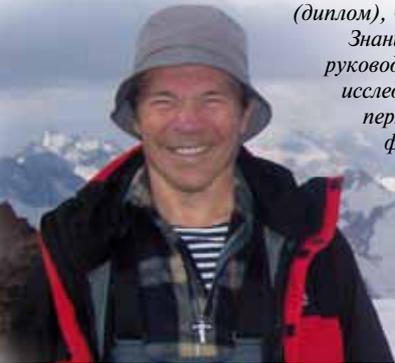
В 1965 г. В.Г. Хозин поступил в аспирантуру КИСИ и с тех пор его жизнь неразрывно связана с родным институтом. После защиты кандидатской диссертации он остался работать на кафедре, в 1981 г. с блеском защитил докторскую диссертацию в Ленинграде. С 1982 г. заведовал кафедрой пластмасс, а после реорганизации в 1985 г. – кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций (ТСМИК) КГАСУ. Заслуженный профессор Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

В.Г. Хозиным создана научная школа, занимающаяся структурой и физико-химической модификацией полимеров, цементных бетонов и битумных вяжущих. Он автор более 60 патентов и авторских свидетельств, 600 научных работ, в том числе монографии «Усиление эпоксидных полимеров». Результатом научно-педагогической деятельности Вадима Григорьевича стала подготовка 37 кандидатов и одного доктора наук. Он являлся научным руководителем проектов, неоднократно побеждавших в открытых конкурсах ФЦП. Владелец наград престижных международных выставок изобретений в Брюсселе (золотая медаль), Питтсбурге (диплом), Софии (золотая медаль), на Филиппинах (диплом).

Знания, опыт и организаторские способности Вадима Григорьевича востребованы в строительном комплексе, он руководит испытательным центром по сертификации строительной продукции «Татстройтест», научно-исследовательским инновационным центром «НИЦ Нанотех-СМ» при КазГАСУ, является аккредитованным экспертом РОСНАНО, членом научно-технического совета по строительству объектов метро и транспортной инфраструктуры Департамента строительства Москвы, членом НТС Министерства строительства и ЖКХ РФ, а также членом НТС ОАО «Татнефтехиминвест-холдинг».

Многолетнее увлечение Вадима Григорьевича Хозина – альпинизм, во многом благодаря которому он сохраняет потрясающую физическую форму и буквально излучает энергию. Ему покорились многие вершины, в том числе пик Ленина, Эльбрус, Монблан и другие. 10 августа 2014 г. Вадим Григорьевич с друзьями совершил очередное восхождение на высшую точку Горного Алтая и Сибири – гору Белуха по скально-ледовому маршруту.

**Желаем юбиляру, нашему другу, постоянному автору и рецензенту, члену редакционного совета журнала «Строительные материалы»® Вадиму Григорьевичу Хозину здоровья и оптимизма, покорения еще многих научных и горных вершин.**



## Моногорода нуждаются в господдержке,

считают участники конференции «Индустриальная диверсификация градообразующих предприятий монопрофильных городов как инструмент развития реального сектора экономики России», состоявшейся в г. Ясный Оренбургской области

4 ноября исполнилось 35 лет со дня основания комбината ООО «Оренбургские минералы» (ранее «Оренбургасбест») – в этот день в 1979 г. на предприятии была запущена первая очередь обогатительной фабрики. В 1988 г. после ряда мероприятий по модернизации оборудования была достигнута максимальная производительность – 560 тыс. т асбеста в год. Предприятию удалось выжить в период кризиса 1990-х гг. и продолжить успешно развиваться. А в 2005 г. ОАО «Оренбургские минералы» вошло в десятку лучших предприятий области. 8 октября 2014 г. в городе Ясный Оренбургской области прошла конференция «Индустриальная диверсификация градообразующих предприятий монопрофильных городов как инструмент развития реального сектора экономики России», приуроченная к юбилею комбината ООО «Оренбургские минералы», организатора данного мероприятия.

На конференции были рассмотрены вопросы, связанные с развитием промышленности стройматериалов на базе градообразующих предприятий монопрофильных городов и возможностями государственной поддержки моногородов на примере г. Ясный в новых экономических условиях: внедрение инновационных разработок в производстве хризотиласбеста и дальнейшая диверсификация производства; применение хризотилсодержащих материалов в жилищном и дорожном строительстве; возможность государственной поддержки моногородов в новых политических условиях. Гостям представили последние разработки предприятия: мягкую кровлю и термочехлы, огнеупорные краски и лакокрасочную продукцию, армирующие добавки для дорожного покрытия и др.

На протяжении последних лет комбинат активно диверсифицирует производство. Улучшена технология выпуска минерального волокна, увеличена мощность предприятия. Развивается производство мешкотары и мягких контейнеров, строительный, вагоноремонтный и буровзрывной бизнес, транспортные услуги, швейное производство, автомобильные и

железнодорожные перевозки, изготовление стройматериалов и др. Комбинат регулярно реализует проекты, направленные на развитие г. Ясный, ведет жилищное строительство, организует быт и досуг работников и их семей, также является социальным партнером нового горно-технологического техникума.

По мнению организаторов конференции, в складывающейся экономической ситуации реализовать задачи по созданию инфраструктуры, дальнейшего развития коммунального комплекса моногородов и поддержания уровня жизни их населения возможно только при участии государства: необходима помощь с продвижением продукции на рынок, с кредитованием в банках, предоставление преференций для участия в федеральных и других программах.

По мнению замглавы Министерства строительства и ЖКХ России Н.Н. Антипиной, необходимо детально рассмотреть всю систему вывода на рынок инновационной продукции предприятий стройиндустрии. Процесс будет изучен на примере продукции ОАО «Оренбургские минералы», после чего возможна оптимизация перечня процедур. Предусматривается внедрение долгосрочных тарифов на услуги ЖКХ с установлением ответственности за изменение их параметров и закрепление в них предпринимательской прибыли; передача бизнесу прав управления предприятий в сфере ЖКХ на долгосрочной основе. В настоящее время уже подготовлен проект распоряжения Правительства РФ об утверждении плана по привлечению в ЖКХ частных инвестиций и перечень пилотных проектов с привлечением частных инвестиций в развитие объектов энергетики и ЖКХ.





**В.И. Корнеев, П.В. Зозуля**

## СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ СОСТАВ, СВОЙСТВА

М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2010. 320 с.

Изложены основы современных представлений о сухих строительных смесях и растворах.

Приведены основные определения и классификации сухих смесей. Охарактеризованы составляющие: вяжущие, заполнители, наполнители, функциональные добавки. Показана методика проектирования составов. Описаны основные группы ССС, их состав и свойства. В приложении даны основные применяемые термины и определения, наиболее употребляемые единицы измерения, перечень российских и зарубежных стандартов и др.

Допущено учебно-методическим объединением в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов».

**Стоимость одного экземпляра 900 р. без учета доставки**

**По вопросам приобретения книги обращаться  
по тел./факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36  
E-mail: mail@rifsm.ru**



## Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента

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

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

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

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

Установлены закономерности зависимости белизны, цвета и особенности окрашивания как пигментов, так и твердых растворов бесцветных фаз ионами-хромофорами от структуры, изовалентного или 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**

Реклама

# Есть Такая Система



Группа компаний  
«Единая Торговая Система»

## 20 ЛЕТ НА РЫНКЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

[WWW.UTSRUS.COM](http://WWW.UTSRUS.COM)

УДК

Е.И. ЮМАШЕВА, инженер-химик-технолог (mail@rifsm.ru),  
ООО РИФ «Стройматериалы» (127434, Москва, Дмитровское ш., 9, стр. 3)



## Российская гипсовая отрасль вышла на европейский уровень технологии и качества

В начале 90-х гг. прошлого века гипсовая отрасль промышленности строительных материалов находилась в состоянии упадка. На устаревшем оборудовании выпускался скудный ассортимент гипсовых материалов относительно невысокого качества (сухая штукатурка, перегородочные плиты, строительный гипс). За прошедшие 20 лет в отрасли произошли коренные преобразования: обновлено карьерное оборудование, построены новые заводы, расширен ассортимент продукции за счет выпуска высококачественных материалов, многие из которых ранее в России не выпускались. Объединению гипсовой отрасли в немалой степени способствовало создание в 2005 г. Российской гипсовой ассоциации (РГА), в которую в настоящее время входит более 60 гипсовых предприятий, производителей оборудования, научных организаций. Важным направлением деятельности РГА является систематическое проведение Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий». Очередная седьмая конференция состоялась 10–12 сентября 2014 г. в Нижнем Новгороде. В ее работе приняли участие около 250 руководителей и ведущих специалистов гипсовых предприятий, машиностроительных компаний, ученых из отраслевых НИИ и вузов из России и 15 стран ближнего и дальнего зарубежья. Золотым спонсором конференции выступила компания КНАУФ, генеральным спонсором – турецкая машиностроительная фирма ERISIM makina. Выездная сессия конференции состоялась на ООО «КНАУФ Дзержинск» и Пешеланском гипсовом заводе «Декор-1».

**Ключевые слова:** Российская гипсовая ассоциация, гипсовая конференция, гипсовые материалы, гипсокартон, пазогребневые плиты, сухие строительные смеси, гипсовое вяжущее

E.I. YUMASHEVA, Engineer Technologist (mail@rifsm.ru), ООО RIF "Stroymaterialy" (9, building 3, Dmitrovskoe Highway, 127434, Moscow, Russian Federation)

### The Russian gypsum branch has reached the European technological and quality level

At the beginning of the 90th of the last century the gypsum industry was on the decline. For last years in branch there were radical restructurings: the career equipment is updated, new plants are constructed, the product range due to production of high-quality materials is expanded. Many of materials weren't issued earlier in Russia. Gypsum industry consolidation greatly contributed the establishment in 2005 the Russian gypsum Association (RGA), which now includes more than 60 gypsum companies, equipment manufacturers, research organizations. The important activity of RGA is systematic carrying out the International scientific and practical conference "Increase of Production Efficiency and Use of Gypsum Materials and Products". The seventh conference took place on September 10–12, 2014 in Nizhny Novgorod. About 250 heads and leading experts of the gypsum enterprises, the engineering companies, scientists and higher education institutes from 15 countries of the near and far abroad took part in its work.

**Keywords:** Russian gypsum association, conference, gypsum materials, gypsum cardboard, tongue-and-groove slabs, dry construction mixes, gypsum binder

Международная научно-практическая конференция «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий» проводится один раз в два года и является самой популярной и эффективной площадкой для диалога между представителями промышленности и научного сообщества по вопросам развития гипсовой отрасли, для обмена научно-технической и коммерческой информацией в области производства и применения гипсовых материалов в гражданском и жилищном строительстве. Формат конференции ценят и стремятся максимально использовать машиностроительные компании, среди которых, к сожалению, преобладают зарубежные.

Традиционно на конференции обсуждаются вопросы технического прогресса в области гипсовых материалов и изделий, производства и особенности применения ангитритового вяжущего, гипсовых материалов в малоэтажном строительстве, механизмы инноваций в гипсовой отрасли, современное оборудование для



В президиуме конференции (слева направо): управляющий группы КНАУФ СНГ Я. Краулис, президент Российской гипсовой ассоциации Ю.А. Гончаров, исполнительный директор Российской гипсовой ассоциации, д-р техн. наук А.Ф. Бурьянов



И.Д. Шутак, д-р юр. наук, ООО «ПАМИБРО» (Украина)

О том, какую большую работу постоянно проводит фирма КНАУФ развития своей сырьевой базы рассказал руководитель управления по горному делу группы «КНАУФ СНГ» Э.Э. Добмайер. Он отметил, что в 2013 г. добыча гипсового камня на карьерах, принадлежащих компании, составила 8,6 млн т. Карьеры расположены в 12 регионах на 31 месторождении гипса. С 2000 по 2013 гг. компания вложила в развитие месторождений больше 200 млн евро инвестиций. Развитие сырьевой базы предприятий компании в России и СНГ докладчик условно разделил на три этапа.

На первом 1-м этапе (1993–1998 гг.) фирма КНАУФ принимала участие в приватизации месторождений и гипсовых комбинатов на конкурсной основе. Данные месторождения имели хорошее стратегическое расположение, большие запасы сырья, развитую инфраструктуру, необходимую разрешительную документацию. Поскольку месторождения уже эксплуатировались, то выпуск товарной продукции можно было продолжать без остановки производства. Однако, предприятия, как правило, имели большие бюджетные задолженности и работали на технически устаревшем оборудовании, что требовало больших финансовых вложений и инвестиции в модернизацию технологий. Например, с 2000 по 2013 гг. инвестиции только в новомосковскую шахту составили порядка 60 млн евро.

2-й этап (1999–2003 гг.) характеризовался фактически приобретением «готовых» месторождений путем покупки полностью разрушенных предприятий. Эксплуатация таких месторождений была невозможна без крупных капитальных вложений в строительство новых предприятий.

На 3-м этапе (2003–2013 гг.) развития сырьевой базы группы «КНАУФ СНГ» специалистам компании пришлось вести работу по поиску и открытию новых месторождений, запасы которых относительно невелики. В настоящее время в активе компании несколько таких месторождений в Архангельской и Иркутской областях, Пермском крае, в Украине и Казахстане. Они находятся на значительной удаленности от производственных предприятий или от рынка потребления, требуют больших затрат на разведку и разработку. Ежегодно компания тратит на изучение геологического строения недр порядка 100 млн р, а средний срок для открытия месторождения составляет 7 лет.

Например, инвестиции только в месторождение Глубокое Архангельской области составили порядка 600 млн р: вырублено 50 га леса, построено 7 км автомобильной дороги по тайге, 2 км железнодорожной ветки с четырьмя стрелками, приобретено большое количество новой карьерной техники, дробильная установка и др.



Э.Э. Добмайер



Е.С. Щиголева, заместитель директора представительства компании «ЭРИШИМ ЭНДЮСТРИЕЛЬ» (Турция)

Е.С. Щиголева, зам. директора представительства компании «ЭРИШИМ ЭНДЮСТРИЕЛЬ». Турецкая компания «ЭРИШИМ макина» хорошо знакома российским производителям гипсового вяжущего, сухих строительных смесей, гипсокартона. За 20 лет компанией построено под ключ более 50 различных производственных линий в 20 странах мира. Компания ведет активную научно-исследовательскую деятельность, бюджет которой составляет порядка 1,5 млн евро. Например, в настоящее время ведется разработка технологии производства гипса с использованием нетрадиционных источников энергии.



В.П. Сучков, д-р техн. наук, зав. кафедрой строительных материалов ННГАСУ (Нижегород), отметил влияние различных приемов обработки сырья до термообработки на структуру гипсового вяжущего [1]



А.И. Ряшко, НИИ по удобрениям и инсектицидам им. Я.В. Смойлова (Москва), посвятил доклад важнейшей теме – переработке отхода производства серной кислоты в гипсовое вяжущее [2]

производства гипсовых материалов и изделий, лаборатории, менеджмент качества, экологический менеджмент и их роль в обеспечении качества и долговечности гипсовых материалов и изделий, нормативно-техническая документация в соответствии с современными требованиями, обучение и переподготовка специалистов всех уровней в области производства и применения гипсовых материалов и изделий

В начале каждой конференции участники с нетерпением ждут доклад, посвященный отраслевой статистике. Его представил ген. директор компании «Строительная информация» Е.Н. Ботка.

Он отметил, что разные группы гипсовых строительных материалов имеют неодинаковую динамику развития и разных лидеров. Гипсокартонные листы (ГКЛ) в стране выпускают 20 заводов, принадлежащих 12

компаниям. Их совокупная мощность на начало 2014 г. составляла 515 млн м<sup>2</sup> в год. Загрузка мощностей предприятий в среднем по 2013 г. достаточно высокая – порядка 60 %.

Бесспорный недостижимый лидер в этом сегменте гипсовых материалов компания КНАУФ, которая занимает 59% рынка. Вторым крупным производителем ГКЛ является Корпорация «Волма», ее доля рынка 14 %.

Пазогребневые гипсовые плиты (ПГП) производят не менее 27 заводов, принадлежащих 22 компаниям. Совокупная мощность заводов – 18 млн м<sup>2</sup> в год (на начало 2014 г.). Загрузка мощностей в среднем по 2013 г. составила 70 %. Структура этого рыночного сегмента отличается от рынка ГКЛ. Тройку лидеров здесь возглавляет Корпорация «Волма» с рыночной долей 33%, компания КНАУФ выпускает 16 % ПГП, а Пешеланский гипсовый завод «Декор-1» – 12 %.

Сухие строительные смеси на гипсовой основе (ССС) производят не менее 90 заводов. Тем не менее до 9 % общего объема СССР завозится из-за рубежа. Лидером этого сегмента также является



Г.В. Сыдук, технический менеджер компании «Вакер Хеми РУС» (Москва) сопровождает свой доклад физическими опытами



Конференция – место для обсуждения новых планов. О.Ю. Тарарыков (компания «Росизвесть», Воронеж) (слева) и В. Телле, глава представительства компании «Клаудиус Петерс» (Германия)



Постоянный участник дискуссий Ю.Г. Мещеряков, д-р техн. наук, зав. кафедрой строительных материалов ЦИПК госкорпорации «Росатом» (Санкт-Петербург)



На импровизированной выставке представители компании «Фаррус» (Испания) – производителя оборудования для гипсовой промышленности - проводят переговоры с потенциальными заказчиками

компания КНАУФ, на долю которой приходится 34 % рынка. Корпорация «Волма» выпускает 12 % ССС.

Развитие сырьевой базы – одна из основных задач любой отрасли ПСМ. И хотя гипс относится к общераспространенным полезным ископаемым, обеспечить предприятия высококачественным сырьем становится все труднее.

Отдельная группа вопросов для обсуждения на конференции – создание и актуализация нормативно-технических документов, гармонизированных с европейскими и мировыми стандартами. Примером такой успешной работы является введенный в действие с 1 октября 2014 г. СП 00.13330.2012 «Конструкции с применением гипсокартонных и гипсоволокнистых листов. Актуализированная редакция СП 55-101-2000 и СП 55-102-2001».

Активное обсуждение на конференции вызывают доклады, посвященные технологии производства гипсового вяжущего, совершенствованию технологии выпуска изделий. В последнее время все чаще руководители и ведущие специалисты предприятий поднимают вопрос целенаправленной подготовки кадров всех уровней для гипсовой промышленности. Большую работу в этом направлении начала компания КНАУФ практически с первых лет работы в России. Однако, затрачивая значительные средства на создание собственных учебных подразделений, сотрудничество с колледжами и вузами, социально активные фирмы оказываются в невыгодных условиях – все расходы несут из чистой прибыли. На конференции было предложено добиваться полного вычета расходов на налогоплательщика на социальное партнерство с учреждениями профессионального образования для целей налогообложения прибыли.

Следующая конференция состоится через два года. Расставаясь, коллеги увозили с собой не только много полезной информации, новые деловые контакты и идеи для развития своего бизнеса, но и радость от общения с единомышленниками и друзьями.



Наглядная иллюстрация доклада Д. Дрыжакова о машинах KNAUF PFT для механизации строительных работ [3]



## Список литературы

1. Сучков В.П., Коршунов А.Е., Мольков А.А. Минимизация удельной поверхности гипсового вяжущего. Материалы VII Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий». 10–12 сентября 2014 г., Нижний Новгород: РГА, 2014. С. 166–169.
2. Гриневич А.В., Киселев А.А., Кузнецов Е.М., Бурьянов А.Ф. Гипсовое вяжущее из  $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  – отхода производства экстракционной серной кислоты // Строительные материалы. 2014. №7. С. 4–8.
3. Дрыжаков Д. Кнауф PFT. Техника механизации строительных работ. Материалы VII Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий». 10–12 сентября 2014 г., Нижний Новгород: РГА, 2014. С. 99-105.



Выездная сессия конференции состоялась на Пешеланском гипсовом заводе «Декор-1». К сожалению, служба безопасности не приветствовала фотосъемку, но работники предприятия приняли коллег радушно, все показали, ответили на вопросы. А уникальное путешествие в подземный мир гипсового рудника не оставил равнодушными даже самых бывалых производственников

# SibBuild

место проведения МВК «Новосибирск Экспоцентр»



## МЕЖДУНАРОДНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ И ИНТЕРЬЕРНАЯ ВЫСТАВКА

### Неделя архитектуры и строительства

- Оконные технологии
- Ворота и автоматика
- Инструменты и крепеж
- Строительные материалы и оборудование. Строительство
- Кровли и фасады

### Неделя отделочных материалов и интерьерных решений

- Отделочные материалы
- Двери и замки
- Краски. Сухие строительные смеси
- Керамика. Сантехника
- Декоративный свет. Электрика
- Ткани в интерьере
- Натуральный и искусственный камень



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

[www.SibBuild.com](http://www.SibBuild.com)

## Build Ural

# Международная строительная и интерьерная выставка

**17-20 февраля 2015**

Россия, Екатеринбург  
МВЦ «Екатеринбург – Экспо»

Подробнее на сайте  
[www.build-ural.ru](http://www.build-ural.ru)

ITE Урал  
Тел.: +7 (343) 380-22-60  
E-mail: [build-ural@ite-ural.ru](mailto:build-ural@ite-ural.ru)  
[www.ite-ural.ru](http://www.ite-ural.ru)





Третья международная специализированная выставка

# КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ

25 – 27 февраля 2015

Москва, МВЦ Крокус Экспо, павильон 2, зал 6

## ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- сырье и компоненты для производства клеев и герметиков
- технологии производства адгезивных материалов
- герметизирующие и клеящие составы: клеи-расплавы, полиуретановые клеи, гибридные герметики, эпоксидные клеи, конструкционные адгезивы и др.
- упаковка и хранение
- оборудование, применяемое при склеивании и герметизации
- технологии склеивания и герметизации
- подготовка поверхностей для склеивания
- сертификация и контроль качества

### Оргкомитет:

115533, Россия, Москва, пр. Андропова, 22  
Тел./факс: 8 499 618 05 65, 8 499 618 36 83, 8 499 618 3688  
E-mail: sealant@mirexpo.ru | Сайт: www.mirexpo.ru  
YouTube: www.youtube.com/user/sealantexpo

## ОРГАНИЗАТОР:

Выставочная компания  Мир-Экспо

## ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

В рамках выставки проводится научно-практическая конференция: "Современные технологии производства и применения клеевых и герметизирующих материалов".

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ:

Журнал «Клеи, Герметики, Технологии»

ВСЁ ДЛЯ МЕБЕЛИ

КРЕБЕЖ, КЛЕИ, ИНСТРУМЕНТ И...



Выставка проводится одновременно со специализированными выставками:



КОМПЗИТ-ЭКСПО



ПОЛИУРЕТАНЭКС



ИМТЕХ

InterStroy  
Expo 

Крупнейшая  
международная  
строительная выставка  
Северо-Запада России

18–21 марта 2015

Место проведения:  
Санкт-Петербург,  
КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

Подробнее на сайте:  
[www.interstroyexpo.com](http://www.interstroyexpo.com)

В рамках выставки



Международный  
конгресс  
по строительству

Организаторы:



При поддержке:



Генеральный  
информационный партнер:

СТРОИТЕЛЬНЫЙ

АСИ ИНФО

Тел. +7 (812) 380 60 14  
E-mail: build@primexpo.ru



С.В. ВАВРЕНЮК<sup>1</sup>, д-р техн. наук, член-корр. РААСН (dalniis2013@mail.ru); А.В. ОГНЕВ<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, А.С. САМАРДАК<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, В.Г. ВАВРЕНЮК<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству Российской академии архитектуры и строительных наук (ДальНИИС РААСН) (690033, г. Владивосток, ул. Бородинская, 14)

<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет (ДФУ) (690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8)

## Возможность получения металлических покрытий по бетону

Исследована возможность получения и изучены процессы формирования тонких металлических пленок на бетонной подложке, получаемых методом термического испарения в высоком вакууме. Установлено, что формирование металлических пленок на поверхности цементного камня происходит конгломератами округлой формы размером от 0,5 до 5 мкм, состоящими из кристаллитов размером 1–20 нм. Топография металлических пленок повторяет рельеф (морфологию) подложек, а характер распределения пленок на поверхности цементных образцов зависит от толщины. Выявлено, что под металлическими пленками образуется «рыхлая масса» из гидросиликатов кальция, препятствующая прочной адгезионной связи металлов с цементным камнем. Причем это касается пленок, получаемых любыми другими методами. На основании проведенных исследований сделан вывод, что без решения проблемы нейтрализации щелочесодержащих фаз (например, создание на поверхности цементной матрицы промежуточного слоя из прекурсора поверхностного силиката, способного взаимодействовать со щелочесодержащими компонентами цементного камня с образованием нейтральных силикатов кальция, устойчивых к гидролизу) исследования в направлении получения металлических покрытий по бетону бесперспективны.

**Ключевые слова:** защитные покрытия, газотермическое напыление, термическое испарение в вакууме, металлические пленки, бетонная подложка, топография поверхности, растровая микроскопия, толщина пленки, адгезионная связь, гидросиликаты кальция, прекурсоры.

S.V. VAVRENUK<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding member of RAACS, (dalniis2013@mail.ru), A.V. OGNEV<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), A.S. SAMARDAK<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), V.G. VAVRENUK<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> Far East research, design and institute of technology on construction of the Russian academy of architecture and construction sciences (14, Borodinskaya Street, Vladivostok, 690033, Russian Federation)

<sup>2</sup> Far Eastern Federal University (8, Sukhanova Street, Vladivostok, 690033, Russian Federation)

### The possibility of obtaining metal coatings on the concrete substrate

Protective coatings, thermal spraying, thermal evaporation in vacuum, metal film, concrete substrate, the surface topography, scanning microscopy, film thickness, adhesive contact, hydrosilicate calcium. The possibility of obtaining metal coatings on the basis of concrete is investigated. The process of formation of thin metal films on the concrete substrate obtained by the method of thermal evaporation in high vacuum is studied. It is established that the formation of metal films on the surface of the cement stone is conglomerates rounded size from 0.5 to 5 microns, consisting of crystallite size 1–20 nm. Topography of metal films follows the relief (morphology) of the substrate, and the distribution of films on the surface of cement samples depends on its thickness. It is revealed that under the metal film is formed "loose weight" out of calcium hydro preventing a strong adhesive bond metals with cement stone. And this applies to films, obtained by any other method. On the basis of the researches concluded that without solving the problem of neutralization deacestea phases (for instance, on the surface of the cement matrix intermediate layer of precursor surface of silicate that can interact with sinocentrism components of a cement stone with the formation of neutral calcium silicates, resistant to hydrolysis) investigations in the field of production of metallic coatings on concrete are hopeless.

**Keywords:** protective coatings, thermal spraying, thermal evaporation in vacuum, metal film, concrete substrate, the surface topography, scanning microscopy, film thickness, adhesive contact, hydrosilicate calcium, precursors.

Вопросы, связанные с долговечностью и надежной эксплуатацией бетонных и железобетонных конструкций, являлись и являются актуальными. И, несмотря на наличие широкого ассортимента защитных материалов, исследования по получению новых современных видов защитных покрытий продолжают постоянно.

В этой связи особый интерес для защиты бетона у исследователей представляет класс металлических покрытий, имеющих широкий спектр защитных функций, включая защиту от радиоизлучения и магнитных полей. Однако научные исследования в данном направлении носят узкий и несистемный характер.

Известен ряд попыток получить металлические покрытия по бетону с помощью газотермического напыления (может быть, газоплазменного напыления [1–3] алюминия или меди с использованием плазмотронов с дуговым разрядом). Однако при такой технологии бетон подвергается тепловому удару, который обусловлен взаимодействием с плазмой и инфракрасным излучением, что вызывает дегидратацию цементного камня, а следовательно, разрушение его структуры. Кроме того, при газотермическом напылении с помощью оборудования, используемого в [2], получают покрытия с низкой адгезией, износостойкостью и прочностью (Патент РФ 2338810. Способ напыления плазменного покрытия (ва-

рианты) / Гизатуллин С. А., Галимов Э. Р., Даутов Г. Ю., Хазиев Р. М., Гизатуллин Р. А., Беляев А. В. Заявл. 16.11.2006. Опубл. 20.11.2008. Бюл. № 32). Поэтому необходимо искать новые подходы для нанесения функциональных покрытий на бетоны.

С развитием науки о наноматериалах появилась уникальная возможность получения и исследования тонких наноструктурированных металлических пленок с размером кристаллитов меньше 100 нм, которые широко используются в различных отраслях промышленности.

Авторами исследована возможность получения тонких металлических пленок на бетоне с помощью метода термического испарения в высоком вакууме, а также изучены процессы формирования пленок, морфология поверхности и их стойкость.

Метод термического испарения в высоком вакууме получил большое распространение в промышленности для нанесения тонкопленочных покрытий на полупроводниковые, металлические и диэлектрические поверхности. Современные промышленные системы позволяют получить рабочий вакуум, достаточный для нанесения покрытий в камерах объемом до нескольких кубометров. При этом происходит дегазация и сушка поверхности подложек. Кроме того, одновременное использование нескольких термических источников с ис-

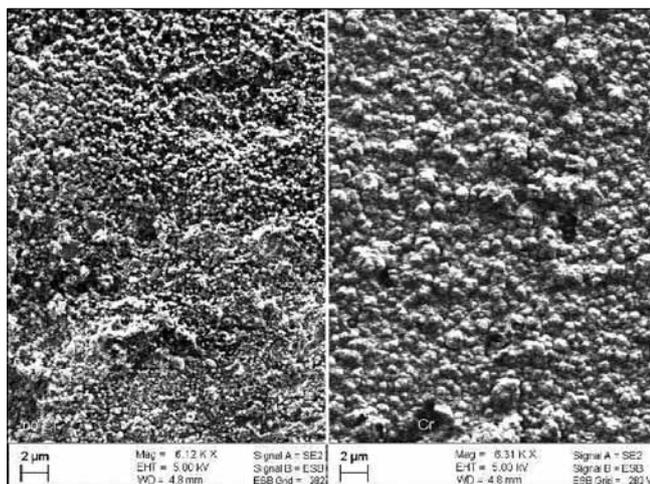


Рис. 1. Участки поверхности без напыления – слева (увеличение 6,12 кХ), напыленный хром — справа (увеличение 6,31 кХ)

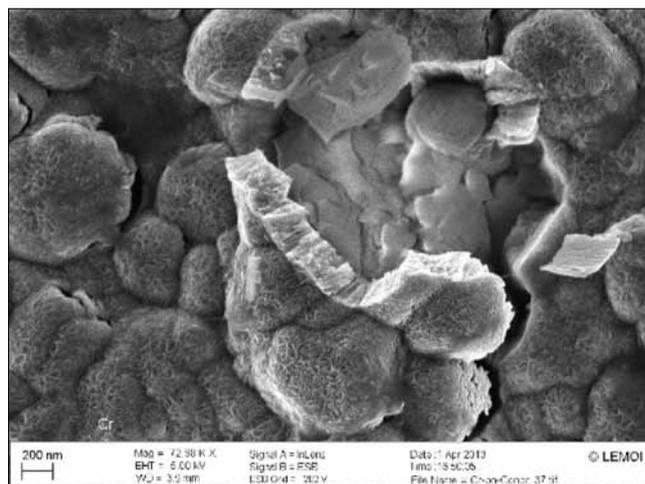


Рис. 2. Структура напыления хрома. Наблюдаются гранулы размером до 0,5 мкм. Растрескивание покрытия по границам гранул. Толщина напыления, видимая на разломе, составляет 230–250 нм (увеличение 72,6 кХ)



Рис. 3. Участок поверхности с напылением меди (увеличение 5,04 кХ)

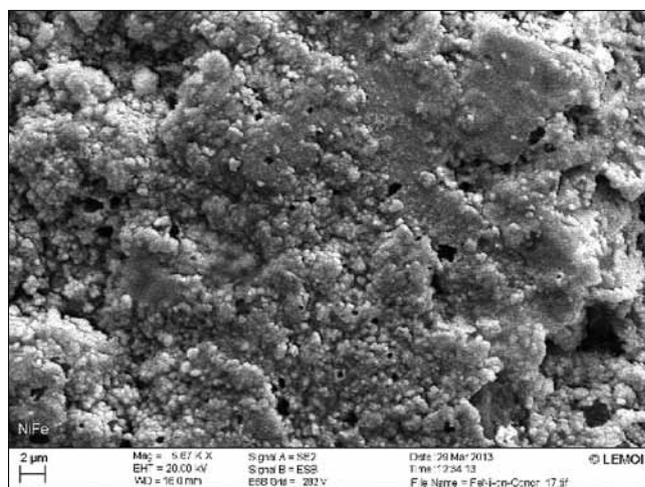


Рис. 4. Участок напыления пермаллоем (увеличение 5,67 кХ). Наблюдаются гранулы различного размера

прямым материалом позволяет равномерно наносить тонкопленочные покрытия на поверхности с развитой пористой структурой, каковым и является цементный камень.

Осаждение металлических покрытий осуществлялось на установке ВУП-5 с диффузионной системой откачки. Исследования проводились на образцах различного возраста, изготовленных из цементного теста и цементно-песчаного раствора 1:3 (ЦПР).

Образцы помещались в вакуумную камеру на расстоянии 8 см от источника термического распыления металла. В качестве источника была использована вольфрамовая спираль с навеской металла. Перед напылением вакуумная система была откачана до базового вакуума  $10^{-5}$  мбар.

Общее время осаждения покрытий, включая нагрев и остывание испарителя, составило не более пяти минут. Средняя скорость напыления 100 нм/мин. Были получены покрытия на основе меди, хрома, алюминия и пермаллоя ( $Fe_{81}Ni_{19}$ ).

В процессе напыления температуру подложки контролировали с помощью хромель-алюмелевой термопары. Температура поверхности бетона в процессе осаждения была ниже 90°C. С целью завершения релаксационных процессов в осажденной металлической пленке образцы доставали из вакуумной системы через час после напыления.

Исследование морфологии поверхности металлических пленок на цементной подложке проводилось методами растровой электронной микроскопии и энергодисперсионного микроанализа (EDX) на сканирующем электронном микроскопе Carl Zeiss Ultra55<sup>+</sup>, оснащенном энергодисперсионным детектором (EDX) Oxford Instruments X-MAX80.

Установлено, что при выбранном режиме напыления формирование металлических пленок на поверхности цементного камня происходит конгломератами округлой формы размером от 0,5 до 5 мкм, состоящими из кристаллитов размером 1–20 нм. При этом более мелкие конгломераты (до 1 мкм) наблюдались у пленок из пермаллоя.

Топография металлических пленок повторяет рельеф (морфологию) подложек, а характер распределения пленок на поверхности цементных образцов зависит от ее толщины. При толщине пленки до 300 нм распределение металла по поверхности цементных образцов носит островковый тип с отсутствием у покрытия блеска, характерного для металлов. С увеличением толщины пленки более 300 нм металлические покрытия образуют сплошной слой с проявлением блеска, соответствующего типу нанесенного металла.

В покрытиях из хрома наблюдались участки локального растрескивания и отслоения пленки от подложки по границам металлических гранул с размером до

0,5 мкм, что было вызвано внутренними напряжениями в покрытии.

Установлено влияние вида осаждаемого металла на степень заполнения пор цементного камня. Минимальный диаметр пор, доступный для хрома, составляет 10 мкм, пермаллоя — 1 мкм, для меди менее 1 мкм. При этом медь способна проникать в поры цементного камня на глубину до 3 мкм, что свидетельствует о высокой диффузионной проницаемости атомов металла меди в поровую структуру бетона (рис. 1–4).

Исследование под бинокулярным стереоскопическим микроскопом МБС-1 (Х70) контактной зоны системы цементная матрица — металл показало наличие под металлическими пленками «рыхлой массы», препятствующей прочной адгезионной связи металла с цементным камнем. По результатам энергодисперсионного микроанализа «рыхлая масса» отнесена к гидросиликатам кальция.

Установлено, что медная пленка, осажденная на цементный камень, в течение месяца покрылась патиной, в то время как пленка из меди, осажденная на цементно-песчаный образец, за тот же период времени внешнего вида не поменяла. Пленка на основе алюминия исчезла на всех образцах в течение нескольких дней, что свидетельствует о быстром химическом взаимодействии алюминия со щелочесодержащими фазами цементного камня.

#### Список литературы

1. Акулова М.В., Федосов С.В. Плазменная металлизация бетонов. М.: АСВ, 2003. 120 с.
2. Бессмертный В.С., Ляшко А.А., Панасенко В.А. Плазменная металлизация изделий из бетона // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2011. № 11. С. 45–47.
3. Дюмина П.С., Бессмертный В.С., Соколова О.Н. Энергосберегающие технологии получения защитно-декоративных покрытий на изделиях из бетона методом плазменной обработки // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. № 11. С. 269–270.

В целом, выявленные особенности контактной зоны системы цементная матрица — металл говорят о том, что прочной адгезионной связи в рассматриваемой системе нет. Причем это касается не только пленок, получаемых методом напыления в высоком вакууме, но и металлических пленок, получаемых любыми другими методами.

Кроме того, следует признать ошибку исследователей, пытающихся проводить металлизацию бетона металлами (медь, алюминий), вступающими в реакцию со щелочными и щелочно-земельными элементами, содержащимися в цементном камне.

На основании проведенных исследований сделан вывод, что без решения проблемы нейтрализации щелочесодержащих фаз на поверхности цементной матрицы исследования в направлении получения металлических покрытий по бетону бесперспективны. В этой связи авторами выдвинута рабочая гипотеза по решению данной проблемы, заключающаяся в создании на поверхности цементной матрицы промежуточного слоя из прекурсора поверхностного силиката, например из органилсиликонатов, способных взаимодействовать со щелочесодержащими компонентами цементного камня с образованием нейтральных силикатов кальция, устойчивых к гидролизу с последующим нанесением защитных покрытий.

#### References

1. Akulova M.V., Fedosov S.V. Plazmennaya metallizatsiya betonov [Plasma metallization of concrete]. M.: ASV, 2003. 120 p.
2. Immortal V.S., Lyashko A.A., Panasenko V.A. Plasma metallization of products from concrete. *The International magazine of applied and basic researches*. 2011. No. 11, pp. 45–47.
3. Dyumina P.S., Immortal V.S., Sokolov O.N. Energy saving technologies of receiving protective and decorative coverings on products from concrete a method of plasma processing. *The International magazine of applied and basic researches*. 2013. No. 11, pp. 269–270.

Ульяновская область, 20км от г.Ульяновска

Реклама

**ПРОДАЕТСЯ**  
**земельный участок**  
**140 га**

**с разведанным объемом глины**  
**9 000 000 м<sup>3</sup>**

**000 "ПРЕМЬЕРА"**

**+7 (929) 798-55-62**

Л.А. ОПАРИНА, канд. эконом. наук (l.a.oparina@gmail.com)

Ивановский государственный политехнический университет (153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20)

## Учет энергоемкости строительных материалов на разных стадиях жизненного цикла зданий\*

Обозначена актуальность проблемы учета затрат энергоресурсов на всех стадиях жизненного цикла зданий, включая рециклинг строительных материалов после демонтажа здания. Решение данной задачи позволит снизить энергоемкость строительных материалов. Автором установлено, что для решения данной проблемы необходима информационная поддержка, а именно создание базы данных по энергоемкости строительных материалов. Приведены данные об энергоемкости некоторых строительных материалов. Источниками данных могут стать производители строительных материалов, для этого они должны указывать данные по энергоемкости не только производства и транспортировки своих строительных материалов и конструкций, но и энергозатраты на их монтаж, ремонт, реконструкцию, утилизацию, а также рециклинг. С целью развития понятийного аппарата в данном направлении автором предложено определение «энергоемкость строительных материалов».

**Ключевые слова:** энергоемкость строительных материалов, жизненный цикл, строительство, утилизация, рециклинг, информационная база данных.

L.A. OPARINA (l.a.oparina@gmail.com), Candidate of Sciences (Economics),  
Ivanovo State Polytechnic University (20, 8 Marta Street, 153037, Ivanovo, Russian Federation)

### Accounting for Power Consumption of Building Materials at Different Stages of Life Cycle of Buildings\*

The actuality of the problem of accounting for energy resources consumption at all stages of the life cycle of buildings including the recycling of building materials after the dismantling of a building is identified. The solution of this problem makes it possible to reduce the energy consumption of building materials. The author establishes that the information support is necessary for solving this problem, namely, creating a database on power consumption of building materials. Manufacturers of building materials can become sources of these data. For this purpose, they should specify both data on manufacturing and transportation of building materials and structures and data on power consumption for their mounting, repair, reconstruction, utilization, and also recycling. That's why, for developing the conceptual apparatus the author offers a new definition – “power consumption of building materials”.

**Keywords:** power consumption of building materials, life cycle, construction, utilization, recycling, information database.

Актуальной тенденцией развития современной архитектурно-строительной науки является поиск путей устойчивого развития строительных объектов, определяющих устойчивое развитие среды жизнедеятельности человека. По мнению автора, устойчивое развитие невозможно без разумного подхода к организации жизненного цикла объектов строительства, в частности грамотного выбора между различными энерго- и ресурсоемкими строительными материалами для строительства и ремонта; между реконструкцией или сносом здания; между сносом или демонтажем в конце эксплуатации; между утилизацией и рециклингом использованных строительных материалов и т. д. Данный выбор необходим для достижения оптимальных сочетаний пропорций общественного воспроизводства и рационального использования природных ресурсов.

Технологические процессы строительства, реконструкции и капитального ремонта оказывают воздействие на все основные составляющие природной среды – атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу [1, 2]. В результате исследований автором [3, 4] установлено, что затраты от расхода энергоресурсов при производстве строительных материалов для будущего здания и до расхода энергоресурсов на стадии его ликвидации и утилизации строительных материалов могут быть значительными, особенно в стоимостном выражении, в том числе превышающими экономию, достигнутую в результате применения существующих строительных норм. Таким образом, актуальной становится проблема учета затрат энергоресурсов на всех стадиях жизненного цикла зданий, включая рециклинг строительных материалов, позволяющий решить одну из основных про-

блем, возникающих при новом строительстве, – снизить энергоемкость строительных материалов. По данным [5], вторичные ресурсы, вновь поступившие в круговорот строительной индустрии, оцениваются в 2–3 раза дешевле аналогов из природного сырья.

Строительство является самой материалоемкой отраслью: в производстве стройматериалов занято более 70 отраслей экономики страны. В строительстве используется 50% продукции промышленности стройматериалов, около 18% металлопроката, 40% пиломатериалов, более 10% продукции машиностроительной промышленности. Структура продукции строительной отрасли наглядно демонстрирует, что энергопотребление при создании продукции распределяется по двум основным стадиям – производство строительных материалов и процесс возведения объектов и составляет примерно 23,5% от сметной стоимости строительного-монтажных работ. Производство строительных материалов является более крупным потребителем энергетических ресурсов, чем возведение объектов, при этом наиболее энергоемкими являются производство цемента, листового стекла, сборных железобетонных конструкций и изделий, штучных стеновых материалов, в том числе керамического кирпича [6].

В настоящее время в России нет должной информационной поддержки расчетов по энергоемкости строительных материалов. Отдельные сведения указаны в периодических и научных источниках нормативно-справочной литературы. Например, в «Методических рекомендациях по экономическому обоснованию применения конструктивных элементов и технологий, обеспечивающих повышение эффективности инвестиций за

\* Статья подготовлена при финансовой поддержке в форме гранта ректора Ивановского государственного политехнического университета.

**Энергоемкость строительных материалов  
(производство)**

Виды материала	Ед. изм.	Энергетические затраты, кг усл. топлива
Портландцемент М-400	т	280
Сталь арматурная	т	920
Металлоконструкции строительные	т	1050
Щебень, гравий	м <sup>3</sup>	30
Песок	м <sup>3</sup>	25
Известь	м <sup>3</sup>	25
Кирпич керамический	тыс. шт. усл. кирпича	260

счет снижения эксплуатационных затрат, повышения долговечности зданий и сооружений, сокращения продолжительности строительства и других эффективных решений при повышении единовременных затрат при проектировании и строительстве и одновременном росте сметной стоимости» (МРР-3.2.23–97, ГУП «НИИЦ», 1998 г.) указаны следующие значения энергоемкости некоторых строительных материалов (в данной статье для примера приведены некоторые значения, см. таблицу).

Из приведенных данных видно, что энергозатраты только на производство строительных материалов весьма значительны. По мнению автора, данные по энергоемкости необходимо систематизировать. Для этого нужно обязать производителей строительных материалов указывать данные по энергоемкости не только производства и транспортировки своих строительных материалов и конструкций, но и энергозатраты на их монтаж, ремонт, реконструкцию, утилизацию, а также рециклинг. Подобные данные необходимы для оценки воздействия зданий на окружающую среду и устойчивости среды жизнедеятельности человечества в целом.

В настоящее время в Ивановском государственном политехническом университете автором статьи прово-

дится научно-исследовательская работа по формированию реляционной базы энергоемкости основных строительных материалов [8]. НИР финансируется из средств гранта ректора ИВГПУ для молодых ученых-исследователей. Пока нет точно определенного понятия «энергоемкость строительных материалов», так как это направление является развивающейся и недостаточно изученной областью исследования. По мнению автора, понятие «энергоемкость» применительно к строительным материалам можно определить через понятие «полная энергоемкость продукции – величина расхода энергии и (или) топлива на изготовление продукции, включая расход на добычу, транспортирование, переработку полезных ископаемых и производство сырья, материалов, деталей с учетом коэффициента использования сырья и материалов» [ГОСТ Р 1387–99 – Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения]. При этом необходимо учитывать, что строительные материалы в течение жизненного цикла зданий испытывают системные трансформации, на которые также тратятся энергоресурсы, – это производство СМР, эксплуатация с текущими и капитальными ремонтами, реконструкция и, наконец, демонтаж, утилизация или рециклинг. Все эти процессы требуют энергетических затрат и должны учитываться при определении полной энергоемкости жизненного цикла зданий как систем и строительных материалов как подсистемных объектов. На основе вышеизложенного автором предлагается следующее определение: **энергоемкость строительного материала** – это совокупные энергозатраты на производство, транспортировку, строительномонтажные работы, эксплуатацию (ремонтные и реставрационные работы) за весь расчетный срок службы этого материала, а также на дальнейшую утилизацию и рециклинг.

Таким образом, учет энергоемкости строительных материалов в течение всего жизненного цикла зданий, проведение энергетического анализа для вновь проектируемых и реконструируемых зданий способствуют более разумному выбору материалов и соответствуют принципам устойчивого развития.

#### Список литературы

1. Теличенко В.И. От экологического и «зеленого» строительства к экологической безопасности строительства // *Промышленное и гражданское строительство*. 2011. № 2. С. 47–51.
2. Лаврова Н.М., Платов Н.А. Проблемы экологической безопасности предприятий строительной индустрии // *Вестник МГСУ*. 2011. № 5. С. 204–207.
3. Опарина Л.А. Имитационное моделирование энергопотребления зданиями в течение жизненного цикла на основе аппарата стохастических агрегативных систем // *Жилищное строительство*. 2013. № 8. С. 22–24.
4. Опарина Л.А. Результаты расчета энергоемкости жизненного цикла зданий // *Жилищное строительство*. 2013. № 11. С. 50–52.
5. Алексанин А.В., Сборщиков С.Б. Использование логистического подхода для совершенствования рынка вторичной строительной продукции // *Вестник МГСУ*. 2013. № 5. С. 193–199.
6. Кузина О.В. Управление энергосбережением в строительной отрасли // *СтройПРОФИ: интернет-журнал*. 2013. № 4 (13). <http://stroy-profi.info/archive/11313> (дата обращения 19.09.2014).
7. Опарина Л.А., Заянчукская Н.В., Лыкова И.Н. Создание реляционной базы данных энергоемкости строительных материалов // *Строительство и реконструкция*. 2013. № 6 (50). С. 78–81.

#### References

1. Telichenko V.I. From ecological and «green» building to ecological safety of construction. *Industrial and civil engineering*. 2011. No. 2, pp. 47–51. (In Russian).
2. Lavrova N.M., Platov N.A. Problems of ecological safety of the enterprises of the construction industry. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 5, pp. 204–207. (In Russian).
3. Oparina L.A. Imitating modeling of energy consumption by buildings during life cycle on the basis of the office of stochastic aggregate systems. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2013. No. 8, pp. 22–24. (In Russian).
4. Oparina L.A. Results of calculation of power consumption of life cycle of buildings. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2013. No. 11, pp. 50–52. (In Russian).
5. Aleksanin A.V., Sborshnikov S.B. Use of logistic approach for improvement of the market of secondary construction production. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 5, pp. 193–199. (In Russian).
6. Kusina O.V. Management of energy saving in construction branch. *Stroyprofi: Internet magazine*. 2013. No. 4 (13). <http://stroy-profi.info/archive/11313> (date of access 19.09.2014).
7. Oparina L.A., Zayanchukovskaya N.V., Lykova I.N. Creation of a relational database of power consumption of construction materials. *Construction and reconstruction*. 2013. No. 6 (50), pp. 78–81. (In Russian).



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

г. Веймар (Германия)

# IBAUSIL

16–18 сентября 2015 г.

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

### Основные темы конгресса:

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

Официальные языки конференции – немецкий, английский

Подробности Вы найдете на сайте: [www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

**11-14 марта 2015**

**СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА**

**ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ**

**СТИМ ЭКСПО**

МЕЖДУНАРОДНАЯ\*  СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ  
**ВЫСТАВКА**  
СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И МАТЕРИАЛОВ

СПЕШИТЕ СТАТЬ  
УЧАСТНИКОМ ВЫСТАВКИ!

Информация для посетителей и участников на сайте [www.vertolexpo.ru](http://www.vertolexpo.ru)

Генеральный информационный спонсор:  Стройка ГРУППА ГАЗЕТ

Генеральный информационный партнер:  BLIZKO REMONT

Почетный информационный спонсор:  Стройдом ЭКСПЕРТ

Региональный информационный спонсор:  Медуза

**ВЕРТОЛ**  
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР **EXPO**

\* В 2014 г. проект «СТИМэкспо» прошел независимый аудит и подтвердил статус международной выставки.

Ростов-на-Дону, пр. М. Нагибина, 30, тел. (863) 268-77-68

Е.В. КОРОЛЕВ, д-р техн. наук (korolev@nocnt.ru), директор Научно-образовательного центра «Наноматериалы и нанотехнологии»

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

## Нанотехнология в строительном материаловедении. Анализ состояния и достижений. Пути развития

Начало применения приставки «нано-» в работах, представленных в журнале «Строительные материалы»<sup>®</sup>, положено в 2006 г. За последующие восемь лет тематика применения принципов нанотехнологии для модифицирования различных строительных материалов стала постоянной, было опубликовано в общей сложности более 190 статей, которые условно разделены на статьи-предтечи (изложены способы, аналитическое и технологическое развитие которых обеспечит их переход на нанотехнологический уровень и развитие «зеленой» нанотехнологии), информационные статьи и работы, теоретические и эмпирические статьи. Для удобства анализа статьи сведены в несколько таблиц: по способам управления структурообразованием; по эффективности различных воздействий; по объектам исследования. Сделан вывод, что в настоящее время нанотехнология в строительном материаловедении находится в стадии становления, эмпирический материал начинает трансформироваться в научные концепции и алгоритмы. Сформулированы основные задачи среднесрочного развития нанотехнологии в строительном материаловедении.

**Ключевые слова:** нанотехнология, наномодифицирование, наноструктурирование, строительные материалы, строительные композиты, первичные наноматериалы, структурообразование.

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

### Nanotechnology in material science. Analysis of achievements and current state

In year 2006, the prefix "Nano" was used for the first time in articles which were published in "Building Materials" journal. During past eight years there was an increasing attention to problem of nanotechnology application for enhancement of various building materials. The total number of publications is more than 190 now. The set of publications can be partitioned into several subsets. In the one subset there are articles which can be considered as precursory works; these articles were devoted to discussion concerning methods which, if they are properly analytically and technologically enhanced, can become methods of nanotechnology and provide the way for "green" nanotechnology. The analytical reviews, articles devoted to theoretical investigations and empirical studies are falling into different subsets. To ease the further analysis, the articles can be classified by different criteria: methods of structure formation control; effectiveness of various treatments; objects of study. The performed classification and analysis allow to conclude that at the present time nanotechnology in construction is under active development – the empirical material begins to transform into scientific concepts and algorithms. The basic tasks of the medium-term development of nanotechnology in the material science are formulated also.

**Keywords:** nanotechnology, nanomodification, nanostructuring, building materials, constructional composites, raw nanomaterials, structure formation.

*Порядок – удовольствие разума,  
но беспорядок – наслаждение воображения.  
Поль Клодель*

**Введение.** Начало применения приставки «нано» в журнале «Строительные материалы»<sup>®</sup> положено в 2006 г. после X Академических чтений РААСН. Тогда было опубликовано восемь статей, которые, в сущности, предопределили общую классификацию работ в данном направлении – **теоретические и эмпирические работы**. В *теоретических работах*, как правило, представляются систематизация эмпирических данных, трансляция знаний фундаментальных наук, определение условий эффективной реализации нанотехнологии в строительном материаловедении или аналитика по различным явлениям и процессам, возникающим при внедрении нанотехнологии. *Эмпирические работы*, по сути, являются пионерскими, формирующими базу данных об эффективности использования как первичных наноматериалов, полученных различными способами, так и технологических приемов изготовления материалов, содержащих нанобъекты.

В данном анализе представлены также **статьи-предтечи**<sup>1</sup>, излагающие способы, аналитическое и технологическое развитие которых обеспечит их переход на нанотехнологический уровень.

Безусловно, все предположения и размышления о месте и роли нанотехнологии в строительном материаловедении, гипотезы о механизмах осуществления нанотехнологического подхода, представления об эффективности и способах ее реализации имеют очевидную

историю развития. Нельзя исключать и ошибочность представлений, которые были высказаны авторами. Некоторые работы, релевантные к запросу о нанотехнологии, в действительности не содержат должной информации. К таким работам можно отнести статьи [1–4]. В действительности, указанные работы в определенной степени полезны и несут важную научную и методологическую информацию, позволяющую исследователям сосредоточиться на других направлениях развития нанотехнологии в строительном материаловедении.

При проведении анализа работ учитывалось также, что нанотехнология кроме размерного признака должна соответствовать некоторым очевидным требованиям, характерным для наукоемких технологий.

1. Наличие информации о характеристиках (химическом составе, параметрах структуры, свойствах) синтезируемого вещества (соединения), обеспечивающего повышение качества строительного материала (далее – вещество-модификатор).
2. Наличие информации о механизме синтеза вещества-модификатора и способах его осуществления.
3. Разработанный и апробированный статистически однородный технологический режим синтеза вещества-модификатора.
4. Разработанный и апробированный статистически однородный технологический режим модифицирования строительного материала.
5. Наличие технико-экономического обоснования применения вещества-модификатора по критериям: эффект – затраты и/или эффект – концентрация модификатора.

<sup>1</sup> Предтеча – явление, событие, подготовившее почву, условия для наступления какого-нибудь другого события.

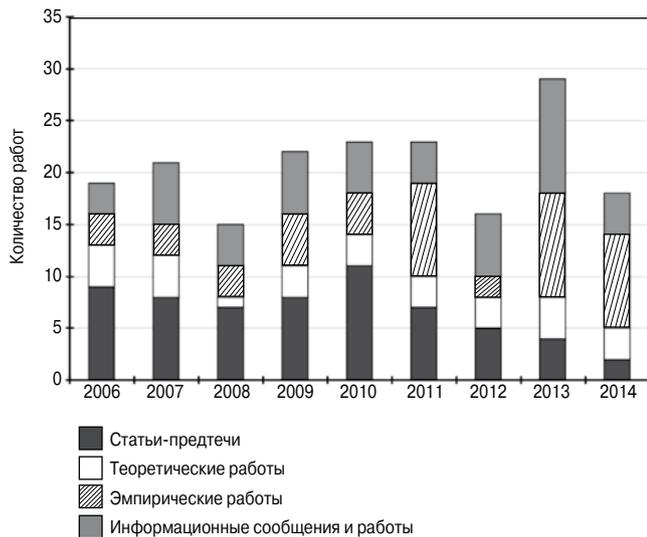


Рис. 1. Количество и вид публикаций, посвященных нанотехнологии в строительном материаловедении, опубликованных в журнале «Строительные материалы»®

Безусловно, это неполный перечень признаков, но достаточный для реализации цели данной работы. Далее будет показано, что не много работ полностью отвечают указанным требованиям. В основном указанным требованиям, за исключением п. 4 и 5, отвечают способы введения первичных наноматериалов.

В журнале «Строительные материалы»® с 2006 г. по настоящее время опубликовано достаточно много статей, которые отражают уровень проводимых исследований и общее состояние методологической базы. Ежегодно в журнале публикуется большое количество работ (не менее 15 статей), в которых отражены результаты внедрения нанотехнологии различной стадии реализации (рис. 1). Проанализировано 190 статей, информационных работ и сообщений.

Общее количество статей, в которых представлены результаты теоретического анализа и эмпирические данные по исследованию влияния интенсивно развивающегося в настоящее время направления в нанотехнологии — *введение первичных наноматериалов*, ежегодно возрастает (рис. 2).

Существенный рост публикаций по нанотехнологии произошел в 2013 г., когда к проведению Международной конференции «Нанотехнологии в строительстве» (Каир, Египет) в журнале были опубликованы статьи российских и зарубежных исследователей на русском и английском языках. В 2014 г. сотрудничество с оргкомите-

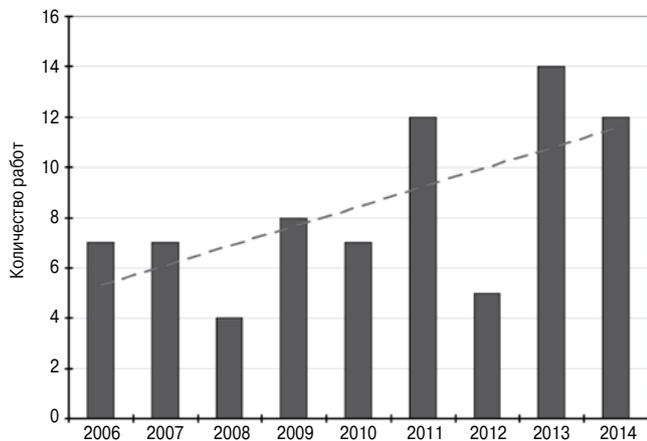


Рис. 2. Количество теоретических и эмпирических работ по введению первичных наномодификаторов, опубликованных в журнале «Строительные материалы»®

том конференции было продолжено. Данные (рис. 2) за 2014 г. характеризуют не общее информационное состояние, а только за шесть месяцев 2014 г.

**Нанотехнология близкая и далекая.** Знания и понимание законов поведения вещества определяют стремление к управлению его структурообразованием для получения материалов с более высокими показателями эксплуатационных свойств (качеств) или уникальными сочетаниями свойств, достижение которых в рамках действующей парадигмы затруднительно. Отсюда очевидно значение нанотехнологии как основы шестого технологического уклада. При этом важно помнить, что *при создании материалов с разнообразными свойствами наноразмерные особенности структуры не всегда являются определяющим фактором* [5].

Внедрением принципов нанотехнологии заняты все материаловедческие области знаний, в том числе и строительное материаловедение. Является ошибочным рассмотрение актов преобразования (эволюции) вещества, происходящих вследствие закономерного уменьшения свободной энергии системы, как нанотехнологии (такое представление встречается в некоторых публикациях, например в [6]). Отличительной особенностью нанотехнологии является *управляемое структурообразование* материала на атомно-молекулярном уровне, обеспечивающее направленное формирование вещества с заданными свойствами, а следовательно, с параметрами химического состава и структуры. Такие синтезированные вещества часто не имеют природных аналогов.

Указанное предопределяет значительную аналитическую работу исследователя по установлению параметров вещества, а также способов технологического воздействия для их получения, т. е. проектирование технологии материала на основе его модели.

Важно также рассмотреть вопрос терминологии. В работах встречаются различные определения процедуры реализации нанотехнологии в строительном материаловедении, а именно наноструктурирование и наномодифицирование. Важность этого вопроса и некоторые определения предложены в [7]. Следуя принципу У. Оккамы, установим вид процедуры, по которому реализуется нанотехнология. Рассмотрим определение «структура» (определение «структурирование» относится к гуманитарным наукам) и «модификация». В соответствии с [8] структура определяется как совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т. е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях, а в [9] — взаиморасположение и связь составных частей чего-либо, строение. Отсюда следует, что наноструктурирование в строительном материаловедении — организованное расположение структурных элементов (атомов или молекул). Очевидно, что такое определение применимо для любого вещества в конденсированном состоянии. Указание на организованное формирование вещества предполагает наличие проекта структуры вещества (материала) с четким планом расположения атомов (молекул) и инструментария для его осуществления. Однако на современном этапе развития нанотехнологии указанное нереализуемо.

Модификация в [9] определяется как: 1) видоизменение, преобразование чего-либо, характеризующееся появлением новых свойств; 2) модель из семейств однотипных технических устройств, например машин, незначительно отличающаяся от основной модели; 3) одно из возможных состояний вещества, характеризующееся определенной структурой; 4) ненаследственное изменение организма, противопоставляемое наследственному — мутации, а в [8] — видоизменение, преобразование чего-либо, характеризующееся появлением новых свойств. Отсюда следует, что наномодифицирование —

организованное преобразование структуры вещества (материала) на атомно-молекулярном уровне. Как и в определении «наноструктурирование», ключевое отличие в организованном осуществлении процедуры. Однако в данном случае видоизменение структуры может достигаться посредством различных физических воздействий (механические напряжения; тепловое, электромагнитное поля, электромагнитное излучение и др.), химических агентов, включая биологически активные среды (различные химические соединения, оказывающие влияние на продукты взаимодействия и кинетику как процесса взаимодействия, так и формирования структуры), или физико-химических агентов (поверхностно-активные вещества, центры кристаллизации и др.). Указанные способы активно применяются в строительном материаловедении. Значимым здесь является обеспечение статистически однородного результата воздействия, обеспечивающего технико-экономическую эффективность модифицируемого материала.

В случае наноструктурирования формирование требуемой структуры должно быть осуществлено по всему объему материала, а при наномодифицировании – только локальных областей, обеспечивающих повышение качества материала (как правило, это области сосредоточения внутренних напряжений, которые, суммируясь с внешними эксплуатационными воздействиями, снижают качество и долговечность материала). Очевидно, что объем таких областей может быть значительно меньше объема материала.

**Классификация.** Все способы управления структурообразованием на атомно-молекулярном уровне классифицированы. Лаконичность таких классификаций зависит от области знаний и объекта применения. Строительные материалы, особенно композиты, являются сложными техническими системами [10], облада-

ющими переменными химическим, дисперсным и фазовым составами, что значительно затрудняет управление их структурообразованием; необходимо организовать управление во всех фазах с учетом качества компонентов. Последнее детально представлено в работе [11]. Для строительных композитов первые попытки классификации представлены в [12].

Специфика технико-экономических требований к строительным материалам (массовость производства, низкоквалифицированные работники, низкая стоимость, энерго- и материалоемкость) предопределяет ограниченность технологических приемов. Кроме того, значимые эффекты, связанные с изменением размера объекта, особенно сильно проявляются на свойствах вещества, связанных с переносом заряда или тепла, – удельное электросопротивление, коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, температура плавления и др. Поэтому наиболее значимые результаты применения нанотехнологии достигаются в областях, где эффективность материалов оценивается указанными свойствами. Для строительных композитов принципиально важным является только зависимость прочности объемно-структурированного материала от размера кристалла, например зависимость Холла – Петча.

При построении системы классификации целесообразно иметь обобщенную модель прочности композитного материала. Исходя из общих принципов прочность композитного материала можно представить как сумму вкладов, создаваемых отдельными элементами системы, например [13]:

$$R_{comp} = \sigma_p(1 - \Pi) - \sigma_p v_f(1 - \rho_f S_{уд} h_0 (k_m - 1)) + \sigma'_f v'_f,$$

где  $\rho_f, S_{уд}$  – соответственно средняя плотность материала наполнителя и его удельная поверхность;  $h_0$  – усредненная толщина прослойки матричного материала, рас-

Таблица 1

Способы управления структурообразованием в строительном материаловедении

1. Объект воздействия	Матричный материал	Граница раздела фаз
2. Способ воздействия  2.1. Введение дополнительных компонентов (веществ), влияющих на структурообразование	Введение химических добавок	Введение поверхностно-активных веществ (смачивателей)  Обработка поверхности дисперсных фаз соединениями, изменяющими величину внутренних напряжений
	Введение поверхностно-активных веществ (пластификаторы)	
	Введение комплексных добавок, содержащих электролиты, ПАВ и т. д.	
	Введение микроразмерных минеральных веществ и/или микроразмерных минеральных веществ с наноразмерными элементами	
	Введение первичных наноматериалов (оксиды, металлы, керамика и др.)	
	Введение углеродных нанообъектов (астралены, фуллерены, нанотрубки и др.)	
2.2. Преобразование поверхности минеральных вяжущих и дисперсных фаз	<b>Физические воздействия</b> Механоактивация Обработка магнитным и/или электромагнитным полем/излучением Термоактивация	
	<b>Химические воздействия</b> Химическая активация Биоактивация	
	<b>Физико-химические воздействия</b> Обработка плазмой Механохимическая активация	
2.3. Активация дисперсионной среды (активатора химического процесса)	Обработка магнитным и/или электромагнитным полем/излучением	
	Механоактивация	
	Механохимическая активация	
	Термоактивация	
3. Способ осуществления	Синтезированные извне	
	Синтезированные в процессе изготовления	

считываемая для оптимальных составов;  $k_m = \sigma_p \sigma_f^{-1}$ ;  $\sigma_p$ ,  $\sigma_f$  – коэффициенты, характеризующие прочность объемной и пленочной фаз матричного материала;  $\Pi$  – пористость;  $\sigma_f'$  – прочность дисперсной фазы.

Коэффициент  $k_m$  фактически характеризует качество сформировавшейся границы раздела фаз.

Из представленной зависимости  $R_{comp} = f(\sigma_f, v_i, S_f)$  следует, что управление прочностью композита может быть осуществлено изменением характеристик матричного материала (слагаемое  $-\sigma_p(1-\Pi)$ ) и/или характеристик границы раздела фаз (слагаемое  $-\sigma_p v_f(1-\rho_f S_{уд} h_o(k_m-1))$ ). Индивидуальная прочность дисперсной фазы должна учитываться на стадии обоснования ее выбора (слагаемое  $-\sigma_f' v_f$ ). Отсюда следует, что объектами для воздействия и преобразования являются матричный материал и граница раздела фаз (указанное особенно справедливо при  $\sigma_f' > R_{comp}$ ).

В табл. 1 представлена классификация способов управления структурообразованием, с применением которой будет проводиться анализ публикаций.

Незавершенность табл. 1 указывает на формирование в строительном материаловедении формализованного описания полученных эмпирических данных и выявления научных знаний; многие эффективные способы модифицирования ожидают разработки и апробации.

Данная классификация несколько расширяет классификацию, утвержденную распоряжением Правительства РФ № 1192-р от 07.07.2011 г., которая подразделяет продукцию нанотехнологии на четыре группы:

Группа «А» – товары, представляющие собой наноконпоненты (нанообъекты и наносистемы), в том числе используемые как сырье и полуфабрикаты для производства продукции наноиндустрии категорий «Б», «В» и «Г».

Группа «Б» – товары, содержащие наноконпоненты (продукцию наноиндустрии категории «А»).

Группа «В» – услуги (товары, не содержащие наноконпонентов), при оказании (производстве) которых используются нанотехнологии и (или) наноконпоненты (продукция наноиндустрии категории «А»).

Группа «Г» – товары, представляющие собой специальное оборудование для нанотехнологий.

**Работы-предтечи.** Подробная информация об объектах, способах осуществления, механизмах и достигнутых результатах представлена в табл. 2 на с. 52 [14–68], анализ которой показывает, что развитие изложенных методик с обеспечением статистической однородности результатов и проведением технико-экономического обоснования позволит осуществлять нанотехнологию не только посредством введения синтезированных извне первичных наноматериалов, но и обеспечивать синтез нанообъектов в процессе изготовления материала, т. е. реализовать «зеленые» нанотехнологии. Необходимо отметить интересные приемы оценки изменения энергоемкости сырья, предложенные в работах [69–71], и методику анализа структурообразования композитных материалов по концентрационным зависимостям прочности [72].

Представленные результаты и технологические способы их реализации являются предварительным этапом (накопление знаний) для осуществления «зеленой» нанотехнологии. Выявление эффективных приемов должно быть проведено с учетом уровня техники, контроля, энергозатрат и устойчивости технологического процесса.

**Информационные работы.** Эти работы имеют вспомогательный характер, в которых часто приводится информация, полезная для развития методической базы, формализации этапов исследования, анализа состояния и уровня исследований как в России, так и за рубежом [5, 6, 11, 70, 73–95].

**Таблица 3**

**Изменение научного интереса к объекту исследования**

Объект исследования	Период научного интереса	Количество работ
<b>1. Компоненты бетона</b>		
1.1. Вода затворения	2006	1
1.2. Вяжущие вещества	2010–2014	12
1.3. Дисперсные фазы	2011	1
1.4. Первичные наноматериалы	2013–2014	4
<b>2. Бетоны</b>	2006–2014	23
<b>3. Другие виды строительных композитов</b>		
3.1. Защитные покрытия	2007	1
3.2. Отделочные материалы	2009	2
3.3. Полимерные материалы	2009–2011	2
3.4. Керамические материалы	2013–2014	2

**Эмпирические работы.** Анализ эмпирических работ целесообразно провести как по объектам исследования – строительным материалам, подвергающимся наномодифицированию, так и по объектам наномодифицирования – видам первичных наноматериалов. Данные табл. 3 показывают, что применение нанотехнологии к композитным строительным материалам в разной степени интересует исследователей. Очевидно, что в настоящее время этот интерес сосредоточен в области различных видов бетонов и вяжущих систем.

В соответствии с требованиями к технологии наномодифицирования в строительном материаловедении достаточно стабильные результаты могут быть получены посредством введения извне синтезированных первичных наноматериалов. В основном используются суспензии углеродных нанообъектов (фуллерены, нанотрубки, объекты фуллероидного типа и др.), золи различных соединений (гидроксида железа, алюминия, кремниевой кислоты, гидросиликаты кальция, бария и др.). Результаты анализа эмпирических работ представлены в табл. 4 на с. 61, откуда следует, что общее количество работ, в которых использовались первичные наноматериалы на основе углерода, составляет 58,3%; различные золи применялись в 27,1% работ, а другие модификаторы – в 14,6% работ. Углеродные нанообъекты использовали для модифицирования материалов на основе портландцемента в 42,9% работ, для модифицирования материалов на других промышленно выпускаемых минеральных вяжущих – в 28,6% работ, а для материалов на основе других вяжущих систем – 21,4% работ. Важно отметить, что из представленных эмпирических работ 8,3% направлены на синтез первичных наноматериалов или исследование свойств традиционных первичных наноматериалов.

Представленные работы демонстрируют, что изменение показателей эксплуатационных свойств строительных материалов, изготовленных на различных вяжущих веществах, при введении первичных наноматериалов может изменяться в широком диапазоне значений. Здесь прослеживается реализация принципа технологического соответствия, сформулированного в [96]. Согласно указанному принципу применяемые способы на современном этапе развития нанотехнологии в формате<sup>2</sup> технологии наномодифицирования можно определить как приемы, обеспечивающие гармонизацию<sup>3</sup> параметров химико-технологических процессов, организуемых технологом, и параметров

<sup>2</sup> Формат – в том числе тип, строение чего-либо, соответствующие определенной ступени, стадии развития [9].

<sup>3</sup> Гармония – согласованность, стройность в сочетании чего-либо [9].

физико-химических явлений. Эти явления реализуются самопроизвольно и их можно рассматривать как своеобразную движущую силу, направление и интенсивность которой регулируются набором технологических приемов, в том числе и рецептурных. При этом важно учитывать, что колебания состава среды являются сильнейшим случайным фактором [97]. «Этот фактор может проявляться уже в исчезающе малых изменениях состава... В таких количествах примеси попадают в систему, как правило, непроизводимо и нерегулируемо, что делает вариации их концентраций фоновым случайным фактором. Данный фактор может вызвать колебания скорости зарождения на много порядков... сделать невоспроизводимыми свойства продукта фазообразования... или привести к случайным изменениям маршрута процесса...» [97].

Необходимо отметить, что принцип технологического соответствия [96] и принцип рецептурно-технологического совершенства материала [13] изменяются симбатно и демонстрируют четкую корреляцию. Это расширяет и обогащает инструментарий исследователя в части методического обеспечения подтверждения эффективности и перспективности разрабатываемой технологии, а именно показателем рецептурно-технологического потенциала технологии [13].

**Теоретические работы.** Все теоретические работы можно классифицировать на несколько уровней, обеспечивающих различные функции теоретического знания. Часть теоретических работ направлена на осмысление роли нанотехнологии в строительном материаловедении, формулирование ключевых задач ее развития, консолидацию усилий исследователей в конкретных направлениях. Эти работы являются своеобразными мостами, соединяющими различные ветви нанотехнологии; они формируют общую основу и задачи, решениям которых были посвящены последующие работы различных авторов. К таким интегрально-философским работам можно отнести статьи [7, 11, 98–108]. На основе этих работ появились работы, устанавливающие граничные физические условия осуществления процесса наномодифицирования [13, 109–111, 116, 117, 119, 168], и работы-трансляторы фундаментальных знаний [112, 113, 165–167, 169, 170]. Таким образом, сформировалась определенная система формирующихся знаний, которая может рассматриваться как теоретическая основа технологии наномодифицирования строительных материалов.

Анализ теоретических работ целесообразно начать с цитат, которые в целом отражают ситуацию в отношении нанотехнологии в строительном материаловедении: *«Все исследования углеродных нанодобавок, проведенные в бетонах старого поколения, не могут дать сколь-нибудь заметного эффекта из-за наличия огромного количества макро- и микродефектов, а также гидроксидов кальция»* [106] и *«...практически отсутствуют исследования, в которых были бы показаны сравнительные данные, позволяющие судить об эффективности комплекса методов активации<sup>4</sup>, включающего, например, все три вида воздействий или все способы активации. Отсутствуют данные о результатах комплекса одновременных воздействий нескольких вариантов активации. Очевидно, что это связано с тем, что при одновременном наложении двух и более видов воздействий они начинают противодействовать друг другу, что может привести к прямым противоположным эффектам — вместо улучшения свойства бетона ухудшаются. Причем это может проявиться не сразу, а с течением времени»* [108]. Из этих двух цитат следуют заключения:

1. Применение технологии наномодифицирования обеспечит создание новых композитов с уникальным сочетанием эксплуатационных свойств.

2. Выбор способа управления структурообразованием композита должен учитывать его природу, т. е. параметры рецептурного и/или технологического воздействия должны регулировать самопроизвольно протекающие физико-химические процессы с целью получения заданных параметров структуры.

3. Регулирование структурообразования композитов посредством применения первичных наноматериалов рационально применять только после оптимизации их структуры на микро- и макроуровнях.

Очевидно, что первое заключение указывает не только на стратегическое развитие науки, но и на конкретное практическое применение, которое должно опираться на технико-экономическое обоснование. За анализируемый период только одна работа была посвящена методике технико-экономического обоснования применения нанотехнологии в строительном материаловедении [109]. В указанной работе предложен коэффициент технико-экономической эффективности применения технологического решения, который, в сущности, характеризует стоимость предлагаемых изменений:

$$k_{ef} = \frac{\delta F}{\delta C},$$

где  $\delta F$  — относительное изменение интегрального показателя качества композита;  $\delta C$  — относительное изменение стоимости композита.

Анализ возможных значений указанного коэффициента разделяет факторное пространство  $F - C$  на зоны, из которых эффективная нанотехнология представлена узкой клинообразной фигурой в фазе резкого роста на  $S$ -образной кривой. Это указывает на необходимость поиска рецептурных и технологических решений по управлению структурообразованием композита с учетом его природы, т. е. решение задач по второму заключению. В работах Ю.М. Баженова, Е.М. Чернышова с сотрудниками предложены концепции управления структурообразованием на различных масштабных уровнях [110, 111] и целостная систематизация процессов эволюции вещества по маршруту: стадия «зарождения твердого вещества» — стадия «роста» — стадия «агломерации» — стадия «самопроизвольного структурообразования» [112, 113]. В этих работах рассмотрено в том числе влияние первичных наноматериалов на каждую стадию и предложены факторы, способы и ожидаемые эффекты от наномодифицирования. Безусловно, целесообразность применения первичных наноматериалов должна учитывать как природу модифицируемого вещества, так и параметры структуры материала (третье заключение). Безотносительно к природе вещества в работе [119] с целью установления зависимости концентрации первичного наноматериала — геометрические характеристики первичного наноматериала сформулированы три механизма их влияния на структурообразование:

1. Первичные наноматериалы вследствие избыточной поверхностной энергии влияют на структурообразование вещества, способствуют образованию плотного и прочного вещества (этот механизм используется для объяснения эффектов при введении первичных наноматериалов в полимерные материалы [105]).

2. Первичные наноматериалы являются центрами кристаллизации.

<sup>4</sup> «Для улучшения свойств бетона предлагались различные виды воздействий, среди которых можно выделить активацию отдельных компонентов бетонной смеси (цемента, песка, щебня); активацию субмикро-, микро-, мезо- и макроструктуры бетонной смеси и бетона; введение химических и минеральных добавок...» [108].

Таблица 2

Результаты, представленные в статьях-предтечах и демонстрирующие эффективность различных воздействий

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
<b>1. Механоактивация</b>						
1.1. Вяжущие вещества						
			Повышение дефектности частиц портландцемента: увеличение количества поверхностных трещин, разрушения химических связей и т. д. (доказательства нет)			
1.	Портландцемент	Механоактивация портландцемента, содержащего пластификатор С-3, в виброцентробежной мельнице	Увеличение содержания низкоосновных гидросиликатов кальция, снижение закристаллизованности портландита; формирование мелкокристаллической структуры цементного камня (данные РФА)	Химически активная добавка: портландцемент, измельченный до удельной поверхности 380–400 м <sup>2</sup> /кг – 90–99%; пластификатор С-3 – 1–10%. Содержание химически активной добавки – до 100% (оптимальные концентрации 15–25%)	Снижение нормальной густоты до 19–23%; повышение марочной прочности портландцемента на 25–75%	[14]
2.	Портландцемент	Механоактивация портландцемента, содержащего пластификатор С-3	Увеличение содержания низкоосновных гидросиликатов кальция, снижение закристаллизованности портландита; формирование мелкокристаллической структуры цементного камня (данные РФА)	Химически активная добавка: портландцемент, измельченный до удельной поверхности 380–400 м <sup>2</sup> /кг – 90–99%; пластификатор С-3 – 1–10%. Содержание химически активной добавки – до 100% (оптимальные концентрации 15–25%)	Повышение прочности цементного камня в 1 сут – в 2 раза, на 3-и сут – на 50% (экономический эффект – увеличение обрабатываемости опалубки и энергозатрат при прогреве)	[15]
3.	Портландцемент	Механоактивация портландцемента (и портландцемента с добавлением пластификатора С-3) в виброцентробежной мельнице	То же, что в п. 1 (представлено указание на исследование с применением ЭРМ)	То же, что в п. 1	То же, что в п. 1	[16]
4.	Портландцемент	Механоактивация цементного клинкера и доменного шлака	Механизм не изучен	Содержание доменного шлака до 30%	Снижение содержания в цементном камне портландита и увеличение содержания С-S-H	[17]
5.	Портландцемент	Введение нефункциональных кремнийорганических соединений (полифенилсилоксан, диметилсилоксановый каучук). Измельчение производилось в вибромельнице. Продолжительность до 20 мин	Механическое воздействие при измельчении активизирует молекулы нефункциональных кремнийорганических соединений, обеспечивает их химическое взаимодействие с поверхностью частиц цементного клинкера (экспериментальные данные не предоставлены)	Содержание нефункциональных кремнийорганических соединений 0,3% от массы цементного клинкера	Увеличение размоловоспособности и дисперсности цементного клинкера до 2,7 раз; установлено притягивание нефункциональных кремнийорганических соединений на поверхность частиц цементного клинкера (механохимическая активация)	[18]
6.	Цветной портландцемент	Механоактивация, осуществляемая в две стадии: механоактивация цветного портландцемента (стадия № 1) и механоактивация цветного портландцемента с добавкой пластификатора С-3	То же, что в п. 1 (доказательств нет)		Снижение нормальной густоты до 7–18%; повышение марочной прочности портландцемента с М400 до М500	[19]
7.	Смешанные портландцементы	Механоактивация перлита, используемого в качестве активного минерального компонента	Химическое связывание оксидами кремния и алюминия гидроксида кальция, образующегося в процессе гидратации минералов цементного клинкера	Содержание перлита до 20%	Обеспечивается повышение прочности в ранний период твердения (до 90%)	[20]
8.	Строительная известь	Механоактивация смеси строительной гашеной извести (или извести с пигментами), белого портландцемента и пластификатора С-3 в виброцентробежной мельнице	То же, что в п. 1	Гашеная строительная известь – 68%, белый портландцемент – 19%, пигменты – не более 10%, пластификатор С-3 – 2%, добавки – 1%		[21]

Продолжение табл. 2

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
9.	Гидросиликаты натрия (жидкое стекло) с силикатным модулем 3,27	Механоактивация в вибрационной мельнице (продолжительность активации до 120 мин)	Деполимеризация анионного каркаса и увеличение количества немоستيковых атомов кислорода (появление анионной вакансии), а также миграция атомов натрия, стабилизирующих кремнекислородный каркас (доказательства представлены)	Гидросиликаты натрия – 100%	Производство жидкого стекла по неавтокатальной технологии: продолжительность активации 60–120 мин; продолжительность растворения в виброреакторе 20–40 мин	[22]
10.	Известково-алюмосиликатное вяжущее на основе негашеной извести (активность 76%) и золы-уноса, а также известково-силикатное вяжущее (в качестве силикатного компонента использован перлит стекловидный). Содержание стеклофазы и кремнезема в указанных композициях – 61–75%	Механоактивация на стержневом виброагрегате (продолжительность активации до 20 мин)	Аморфизация поверхности эффузионных пород, что обеспечивает формирование дополнительного количества гидросиликатов кальция CSH(I) (доказательства нет)	Известково-алюмосиликатное вяжущее: негашеная известь – 10–30%; алюмосиликатный компонент – 72–66%; гипсовый камень – 8–4%; сульфаты щелочных и щелочно-земельных металлов; пластификаторы ССБ, ЛСТ и С-3	Снижение расхода негашеной извести с 30 до 10% без снижения показателей механических свойств искусственного камня; повышение прочности искусственного камня на 45–50% по сравнению с прочностью искусственного камня на неактивированных компонентах	[23]
11.	Композиционные алюмосиликатные вяжущие на основе перлита (содержание стеклофазы 40–50%) и безводного силиката натрия с силикатным модулем, равным 3	Механоактивация как сухой смеси компонентов, так и смеси, содержащей воду в количестве, равном водовяжущему соотношению 0,32–0,35. Механоактивация осуществлялась в шаровой или планетарной мельнице, а также в стержневом виброагрегате. Продолжительность механоактивации – до 6 мин	Аморфизация поверхности перлита и повышение дефектности частиц силиката натрия (совместные механизмы, представленные в пп. 9 и 10)			[24]
12.	Известково-диопсидное вяжущее автоклавного твердения	Механоактивация в центробежно-планетарной мельнице (продолжительность до 6 мин)	Повышение дефектности частиц диопсида CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (доказательств нет)	Диопсид – 80%; оксид кальция – 20%		[25]
13.	Известково-кварцевые композиции	Механоактивация смеси строительной извести и кварцевого компонента путем сухого помола или мокрого помола (механохимическая активация)	Аморфизация поверхности кварцевого компонента (приводятся подтверждающие экспериментальные данные)		Выявлен волнообразный характер изменения содержания аморфного кремнезема и фрагментарности слоев аморфного кремнезема по поверхности частиц кварцевого компонента, подтверждено участие ионов кальция (при совместном помоле, т. е. механохимической активации) в формировании поверхностных слоев на поверхности кварцевого компонента	[26]

Продолжение табл. 2

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
14.	Известково-кварцевые композиции	Механоактивация кварцевого компонента или смеси со строительной известью (механохимическая активация) путем сухого помола в виброистрателе	Аморфизация поверхности кварцевого компонента (приводятся подтверждающие экспериментальные данные)		Установлено влияние способа подготовки смеси на процессы структурообразования и свойства известково-кварцевых композиций. Показано, что совместный помол эффективнее; на структурообразование также оказывает влияние содержание извести: при 30% реализуется сквозьрастворный механизм, а при 10% извести структурообразование идет по диффузионному механизму	[27]
1.2. Добавки						
15.	Активная минеральная добавка; портландцемент	Механоактивация смеси минеральных компонентов, состоящей из цеолитосодержащей кремнистой породы и волластонита. Активация проводилась в электротомассклассификаторе. Минеральные компоненты измельчались под действием ударно-истирающего действия	Механизм не изучен	Содержание смеси активированных минеральных компонентов до 20%	Увеличение прочности при сжатии до 42%, при изгибе – до 16%	[28]
1.3. Дисперсные фазы						
16.	Кварцсодержащие дисперсные фазы	Механоактивация	То же, что в п. 13		Показано, что при измельчении количество аморфной фазы увеличивается и может достигать одинаковых значений для кварцсодержащих пород различного происхождения. При механоактивации низкотемпературного кварца образуются кристаллы высокотемпературного кварца, концентрация которого зависит от степени активации и термической истории минералогенезиса	[29]
17.	Гидроалюмосиликаты (глины)	Механоактивация глины на последовательной линии технологического оборудования: оттирочная машина + дисмембратор	Механизм не изучен	Глина обыкновенная – 90–95%; глина активированная – 5–10%	Повышение прочности керамических образцов с 27 до 52 МПа	[30]
1.4. Строительные материалы						
18.	Сухие строительные смеси на основе портландцемента	Механоактивация в виброцентральной мельнице	Механизм не изучен	Премикс – механоактивированная смесь портландцемента, предварительно механоактивированных пластификатора С-3 (0,5–2%), полимерных и иных добавок в зависимости от области применения сухой строительной смеси: противоморозную добавку – 0,5–5%; уплотняющую добавку – 0,5–2%; дисперсно-армирующую добавку – 0,5–2%; пигмент – 0,5–15%	Повышение подвижности смеси на 40%; снижение водопотребности смеси на 30%; повышение класса поверхности изделия с А6 до А3	[31]
19.	Мелкозернистый бетон	Механоактивация в шаровой, вибрационной, трехступенчатой мельнице или дезинтеграторе	То же, что в п. 1 (доказательств нет)			[32]

Продолжение табл. 2

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
20.	Цементный камень, легкие бетоны	Механоактивация смеси, содержащей портландцемент, вулканические поро- ды и пластификатор С-3, в шаровых и планетарных мельницах, а также в виброистрателе	То же, что п. 1	Количество вулканических шлаков 5–50%	Повышение прочности на 15–20%	[33]
21.	Портландцемент и мелкозернистый бетон	Механоактивация портландцемента и компонентов мелкозернистого бетона в лопаточном смесителе-диспергаторе. Продолжительность активации до 3 мин	Механизм не изучен	Соотношение Ц : П = 1 : 3	Увеличение прочности до 2 раз	[34]
22.	Бетон на основе портландцемента	Механоактивация или механохимиче- ская активация зол ТЭЦ	Химическое связывание соединениями кремния и алюминия гидроксида каль- ция, образующегося в процессе гидра- тации минералов цементного клинкера	Содержание активированной золы до 15%	Увеличение прочности до 50–60%	[35]
23.	Полимерные ком- позиты на основе поливинил- хлорида	Механоактивация поливинилхлорида, дисперсных фаз и добавок (мел, као- лин, стеарат кальция, стеарат кадмия, оксид сурьмы, кварц, глинозем, бура) в дезинтеграторе	Механизм не изучен		Повышение трещиностойкости на 20–100%	[36]
24.	Асфальтобетон	Механоактивация смеси, состоящей из резиновой крошки и кварцевого песка, в дезинтеграторе	Механизм не изучен	Содержание смеси, состоящей из рези- новой крошки и кварцевого песка в соотношении 1 : 2, – 3–9%	Повышение прочности при 20 и 50°С – в 1,44–2 раза, повышение водостойко- сти на 4,6%, снижение водопоглощения на 41%	[37]
25.	Асфальтовое вяжущее; асфаль- тобетон	Механоактивация дисперсных фаз (отходов промышленности) в шаровой планетарной и вибрационной мельницах	Механизм не изучен		Показано изменение активности меха- ноактивированных дисперсных фаз во времени: снижение активности стаби- лизируется через 3 ч после помола. При этом изменение показателей проч- ности может достигать 20–39,1%	[38]
26.	Асфальтобетон	Механоактивация минерального порошка, золоцементных смесей, рези- новой крошки	Механизм не изучен			[39]
27.	Асфальтовое вяжущее; асфаль- тобетон	Механоактивация дисперсных фаз (отходов промышленности) в шаровой планетарной и вибрационной мельни- цах, вибрационном истрателе	Механизм не изучен		Показано изменение активности меха- ноактивированных дисперсных фаз во времени: снижение активности стаби- лизируется через 3 ч после помола. При этом изменение показателей адге- зионной прочности может достигать 38–50%	[40]
<b>2. Биоактивация</b>						
28.	Керамический кирпич	Биологическое воздействие на глины бактериями <i>Bacillus subtilis</i>	Механизм не изучен	Биореагент, содержащий споры бакте- рии <i>Bacillus subtilis</i> , – 3–4 мл/100 г сухой глины	Увеличение пластичности на 15,6%, снижение коэффициента чувствитель- ности к сушке в 2 раза, снижение воз- душной усадки на 39,6%, общей усадки – на 14,5%, повышение прочности на 15%	[41]

Продолжение табл. 2

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
<b>3. Механохимическая/химическая активация</b>						
3.1. Вяжущие вещества						
29.	Известково-кремнеземистые вяжущие, композиционные алюмосиликатные вяжущие	Механохимическая активация вяжущих смесей в шаровой и планетарной мельницах, стержневом виброистрателе и дезинтеграторе	Аморфизация поверхности пород, что обеспечивает формирование на поверхности частиц силикатов и алюмосиликатов кальция, которые увеличивают количество гидросиликатов кальция CSH(I) (представлены данные РФА, ДТА, ЭМА)		Снижение затрат на 20–30%	[42]
30.	Вяжущая смесь на основе золы, извести и строительного гипса	Механохимическая активация компонентов вяжущей смеси	Механизм не изучен	Содержание механохимически активированной вяжущей смеси до 80% от массы цемента	Экономия портландцемента до 80%	[43]
31.	Алюмосиликатное вяжущее	Механохимическая активация отсевов гранита	Механохимическая активация алюмосиликатного сырья в водной среде обеспечивает формирование реакционных компонентов, способных образовывать прочное камневидное тело без щелочной активации (представлены данные ИК-спектроскопии)		Установлено, что объем аморфизированного алюмосиликатного сырья составляет 25%; получено вяжущее с прочностью при сжатии 10,8–11,2 МПа, при изгибе – 6,5–7 МПа	[44]
3.2. Строительные материалы						
32.	Теплостойкие полимерные материалы на основе полиметилфенилсилоксановой смолы	Механохимическая модификация хризотиповых волокон посредством их совместного помола с кварцевым песком в шаровых мельницах	Связывание брусита, повышающего pH (данные РФА, ДТА представлены)		Обеспечивается устранение технологического брака, возникающего при совмещении компонентов, дающих pH>9,5	[45]
33.	Ячеистый бетон на основе перлитового вяжущего	Механохимическая активация перлита, осуществляемая его мокрым помолом	Аморфизация поверхности перлита и образование золя кремниевой кислоты и геля алюмокремниевой кислоты (данные не представлены)		Увеличение прочности в 2–2,5 раза	[46]
34.	Полимерные композиции (герметики)	Введение химически модифицированной дисперсной фазы (диатомита)	Увеличение содержания силанольных групп, активных по отношению к полимеру (данные по ИК-спектроскопии не представлены)	Содержание химически модифицированного наполнителя до 45%	Увеличение адгезионной прочности на 25%, увеличение относительной деформации в 2 раза	[47]
<b>4. Термоактивация</b>						
35.	Гипсоцементно-цеолитовое вяжущее	Термоактивация цеолита (оптимальная температура 600°C)	Изменение структуры цеолита при нагревании, выражающееся в уменьшении размеров каналов цеолита		Повышение прочности до 3 раз, повышение водостойкости до 1,9 раза	[48]

Продолжение табл. 2

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
36.	Базальтовое волокно	Термическая обработка базальтового волокна (диапазон термической обработки от 300 до 700°C (оптимальная температура до 500°C); рациональная продолжительность обработки 30 мин)	В процессе температурной обработки происходит заличивание исходных дефектов волокна, релаксация напряжений и изменение химического состава: окисление Fe <sup>2+</sup> - Fe <sup>3+</sup> и образование железосодержащих плагиоклазовых фаз, уплотняющих структуру волокна (представлены данные ИК-спектроскопии и РФА)		Повышение щелочстойкости до 6 раз (по потере массы)	[49]
<b>5. Активация под действием электромагнитных излучений/полей</b>						
5.1. Активация дисперсионной среды (активатора твердения)						
37.	Вода затворения; мелкозернистый бетон, крупнозернистый бетон	Магнитная и/или электромагнитная обработка воды затворения	Механизм не изучен	Соотношение Ц:П = 1;2; В/Ц = 0,47-0,6; пластификатор С-3 – 0,6% от массы цемента; гранитный щебень фракции 5-20 мм	Повышение прочности 10-20%	[50]
38.	Вода затворения; крупнозернистый бетон	Механомагнитная активация водных растворов (пластификатора С-3) и дисперсий (суспензий гидроксида кальция и оксида железа), используемых для затворения бетонных смесей, в аппаратах роторно-кавитационного типа при одновременном воздействии магнитного поля. Частота вращения ротора 2500-5600 1/мин, напряженность магнитного поля 140 кА/м, продолжительность обработки 1-5 мин	Механизм не изучен	Портландцемент – 450 кг/м <sup>3</sup> , песок – 516 кг/м <sup>3</sup> , щебень – 1320 кг/м <sup>3</sup> , В/Ц = 0,4, пластификатор С-3 – 0,008-1,5% от массы цемента	Сокращение расхода пластификатора до 180 раз, повышение подвижности бетонной смеси до 2,5 раз, повышение прочности бетона до 1,5-1,6 раза, повышение морозостойкости до 3 раз, повышение водонепроницаемости до 2 раз	[51]
39.	Вода затворения; цементный камень	Механомагнитная активация водных растворов, содержащих пластификатор С-3 и добавки ПВА и КМЦ, используемых для затворения цементного теста, в аппаратах роторно-кавитационного типа при одновременном воздействии магнитного поля. Напряженность магнитного поля 140 кА/м, продолжительность обработки до 3 мин		Оптимальные концентрации: для систем С-3 – ПВА: ПВА – 0,008% от массы цемента; для системы С-3 – КМЦ: КМЦ – 0,012% от массы цемента	Снижение расхода пластификатора С-3	[52]
40.	Нефтяной битум	Активация нефтяного битума СВЧ-токами. Параметры СВЧ-аппарата: частота излучения 2,45 ГГц, мощность 850 Вт. Продолжительность обработки 0,5-4 мин (оптимальная продолжительность 1,5-2 мин)	Протекание окислительно-полимеризационных процессов, приводящих к увеличению содержания асфальтенов и смол (представлены данные по ИК-спектроскопии, свидетельствующие об увеличении концентрации бензолных колец и кислотных групп)		Повышение прочности до 2,4 раза	[53]

Продолжение табл. 2

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
41.	Нефтяной битум; асфальтобетон	То же, что в п. 40	То же, что в п. 40		Повышение трещиностойкости на 30–52%, повышение коэффициента теплостойкости в 1,8–2,5 раза, повышение водостойкости на 18%	[54]
42.	Глина	Воздействие электрического поля на глинистое сырье, обеспечивающее его обезвоживание и активацию глинистых минералов	Протекают процессы замещения различных катионов глинистых минералов на алюминий (при добавлении раствора хлорида алюминия). Установлено образование новых связей, относящихся к тетраэдрам $AlO_4(OH)$ и октаэдрам $AlO_6(OH)$ (представлены данные ИК-спектроскопии)	Содержание 1% раствора хлорида алюминия 5–20 мл на 1 кг глины	Увеличение прочности при сжатии в 1,4–1,7 раза, прочности при изгибе – в 1,7–1,9 раза	[55]
43.	Асфальтобетон	Активация минеральных порошков на основе кварцпесчанника, отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов и кварцевого песка посредством обработки ультрафиолетовым излучением	Механизм не изучен		Снижение расхода битума на 8–10%, повышение прочности до 30,6%, повышение водостойкости до 9,3%, снижение водопоглощения до 10,5%	[56]
44.	Асфальтобетон, гидроизоляционные материалы	Активация резиновой крошки посредством облучения гамма-излучением или потоком электронов	Деструкция под действием электромагнитного излучения	Содержание модифицированной резины 1–7%	Повышение температуры размягчения до 39%, повышение эластичности до 2,3 раза, повышение твердости (по пенетрации) до 2,1 раза	[57]
<b>6. Введение апретированных дисперсных фаз</b>						
45.	Лакофасочные материалы	Введение глины, апретированной поверхностно-активными веществами	Механизм не изучен	Нанесение ПАВ ОП-4 (1,9% от массы глины) и ОП-11 (0,9% от массы глины) на поверхность глины (тип монтмориллонитовый; количество 2% от массы полистирола) из раствора в органическом растворителе (сольвент)	Повышение укрывистости на 42,8%, повышение прочности сцепления на 12%, повышение прочности при ударе на 42,8%	[58]
46.	Минерально-шлаковые вяжущие	Введение минеральных частиц (доменного шлака), апретированных стеарами металлов, в частности цинка	Механизм не изучен	Содержание стеарата цинка 1,5–2,5%, алкиларилсульфонат натрия – 0,05%	Снижение водопоглощения до 2 раз	[59]
47.	Гравелисто-шлакопесчаный бетон	Введение минеральных частиц (доменного шлака), апретированных стеаратом кальция	Механизм не изучен	Содержание стеарата кальция 1% от массы минерально-шлакового вяжущего	Снижение сорбционного увлажнения в 1,73 раза, снижение водопоглощения в 2,13 раза	[60]
48.	Полимерные композиции на основе смеси полиэтилена с тройным этиленпропиленовым каучуком	Апретирование дисперсных фаз (аэросила, сажи) синтезированной алкилрезорциновой смолой	Механизм не изучен		Повышение технологических свойств смеси	[61]

Продолжение табл. 2

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
<b>7. Введение компонентов, имеющих наноразмерные признаки</b>						
7.1. Вяжущие вещества						
49.	Цементный камень	Введение углерод-кремнеземистой добавки (УКН), полученной из отходов производства шунгитового камня посредством помола в шаровой мельнице в течение 1 ч (в присутствии ПАВ) и ультразвукового диспергирования. Ультразвуковое диспергирование проводилось при частоте 22 и 35 кГц, продолжительность 15 мин. Диспергированию подвергалась 1% суспензия	Увеличение продуктов гидратации портландцемента CSH(I) и CSH(II)	Содержание УКН до 10%	Ускорение схватывания: начало схватывания сокращается на 22–32 мин, конец схватывания – на 28–51 мин; увеличение прочности – в 1,4–2 раза	[62]
50.	Строительный гипс	Введение суспензии, содержащей в качестве дисперсной фазы частицы измельченных алумосиликатных пород (механоактивированные и/или химически активированные). Содержание частиц наноразмерного диапазона 2–10%	Образование в вяжущей системе, содержащей строительный гипс и активированную суспензию, нового соединения – гидроксиплестадита (представлены данные РФА и ИК-спектроскопии)			[63]
51.	Гипсовые материалы	Введение минеральных добавок, имеющих наноразмерные признаки (отход молотого мрамора URALCARB 10, средний размер частиц 10 мкм)	Упрочнение фазовых контактов при введении микро- и наноразмерных добавок, вещество которых содержит ион кальция (экспериментальные данные не представлены)	Содержание добавки до 22%	Увеличение прочности до 50%	[64]
7.2. Строительные материалы						
52.	Керамические материалы	Введение диатомита – природного материала, имеющего признаки первичного наноматериала	Механизм не изучен	Содержание измельченного диатомита (количество частиц с размером менее 1 мкм 60–70%) – до 20%		[65]
53.	Силкатный автоклавный бетон	Введение глины в известь	Повышение однородности структуры сырца, увеличение содержания низкоосновных гидросиликатов кальция (данные не представлены)	Содержание глины до 30%	Повышение прочности сырца в 3–4 раза, прочности изделия – в 1,5–2 раза	[66]
54.	Мелкозернистый бетон	Введение шунгита, подвергшегося измельчению и ультразвуковому диспергированию. Помол производился в дисковой вибрационной мельнице в течение 1 ч; ультразвуковое диспергирование производилось при частоте 20,35–48,4 кГц, продолжительность до 30 мин. Диспергированию подвергалась 1% суспензия	Механизм не изучен	Содержание суспензии шунгита 0,1%	Увеличение прочности в 1,9 раза, уменьшение водопоглощения до 2,7 раза	[67]

Окончание табл. 2

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
55.	Конструкционно-теплоизоляционные бетоны	Введение гранулированного наноструктурирующего заполнителя, имеющего размеры гранул 5–10 мкм и химически активную по отношению к продуктам гидратации оболочку	Механизм не изучен			[68]
<b>8. Синтез наноструктур в процессе изготовления материала</b>						
56.	Известково-кремнеземистые вяжущие, композиционные алюмосиликатные вяжущие	Механохимическая активация вяжущих смесей в шаровой и планетарной мельницах, стержневом виброистрателе и дезинтеграторе	Аморфизация поверхности пород, что обеспечивает формирование на поверхности частиц силикатов и алюмосиликатов кальция, которые увеличивают количество гидросиликатов кальция CSH(I) (представлены данные РФА, ДТА, ЭМА)		Снижение затрат на 20–30%	[42]
57.	Вяжущая смесь на основе золы, извести и строительного гипса	Механохимическая активация компонентов вяжущей смеси	Механизм не изучен	Содержание механохимически активированной вяжущей смеси до 80% от массы цемента	Экономия портландцемента до 80%	[43]
58.	Алюмосиликатное вяжущее	Механохимическая активация отсевов гранита	Механохимическая активация алюмосиликатного сырья в водной среде обеспечивает формирование реакционных компонентов, способных образовывать прочное камневидное тело без щелочной активации (представлены данные ИК-спектроскопии)		Установлено, что объем аморфизированного алюмосиликатного сырья составляет 25%; получено вяжущее с прочностью при сжатии 10,8–11,2 МПа, при изгибе – 6,5–7 МПа	[44]
59.	Теплостойкие полимерные материалы на основе полиметилфенилсилоксановой смолы	Механохимическая модификация хризотильных волокон посредством их совместного помола с кварцевым песком в шаровых мельницах	Связывание брусита, повышающего pH (данные РФА, ДТА представлены)		Обеспечивается устранение технологического брака, возникающего при совмещении компонентов, дающих pH>9,5	[45]
60.	Ячеистый бетон на основе перлитового вяжущего	Механохимическая активация перлита, осуществляемая его мокрым помолом	Аморфизация поверхности перлита и образование золя кремневой кислоты и геля алюмокремневой кислоты (данные не представлены)		Увеличение прочности в 2–2,5 раза	[46]
61.	Полимерные композиты (герметики)	Введение химически модифицированной дисперсной фазы (диатомита)	Увеличение содержания силиконовых групп, активных по отношению к полимеру (данные по ИК-спектроскопии не представлено)	Содержание химически модифицированного наполнителя до 45%	Увеличение адгезионной прочности на 25%, увеличение относительной деформации в 2 раза	[47]

Таблица 4

Результаты, представленные в эмпирических статьях

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм*	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
<b>1. Компоненты бетона</b>						
1.1. Вяжущие						
1.	Ангидритовое вяжущее	Введение многослойных углеродных нанотрубок Graphistrength™ фирмы Акгема, распределенных в растворе пластификатора СП-1 с помощью ультразвуковой обработки	Гипотеза отсутствует	Оптимальное содержание многослойных углеродных нанотрубок 0,0024% от массы ангидрита	Увеличение прочности до 3 раз	[120]
2.	Ангидритовое вяжущее	Введение многослойных углеродных нанотрубок Graphistrength™ фирмы Акгема, распределенных в растворе пластификатора СП-1 с помощью ультразвуковой обработки	Гипотеза отсутствует	Оптимальное содержание многослойных углеродных нанотрубок 0,0024% от массы ангидрита	Изменение морфологии продуктов гидратации, формирование плотной, малодефектной структуры ангидритового камня	[121]
3.	Гипс и ангидрит	Введение комплексной добавки на основе микрокремнезема и многослойных углеродных нанотрубок компании Акгема	Гипотеза отсутствует		Увеличение прочности при сжатии на 35,6%, прочности при изгибе – на 15,8%	[122]
4.	Портландцемент	Введение многокомпонентного золя, содержащего кремниевую кислоту, гидроксид алюминия, гидроксид железа и хлорид кальция	Структурирование воды с образованием повышенной концентрации H <sup>+</sup> и H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> , что увеличивает степень гидратации портландцемента и химическое связывание портландита (представлены данные pH-метрии и ДТА)	Содержание многокомпонентного золя 0,2–1%	Снижение водопоглощения на 50–70%	[123]
5.	Бесклинкерные вяжущие на основе высококонцентрированных вяжущих систем	Измельчение кремнеземсодержащего сырья и/или алумосиликатных пород в водной среде при требуемом pH и температуре 60–80°C	Гипотеза отсутствует	Содержание частиц наноразмерного диапазона до 10%	Увеличение прочности сырья на 50%, повышение активности вяжущего до 35% при экономии портландцементного клинкера до 50%	[124]
6.	Композиционные вяжущие на основе портландцемента	Введение наномодификаторов, содержащих частицы кремнезема, полученные: а) путем измельчения (содержание наноразмерных частиц 0,76–4%); б) по технологии гидротермального синтеза	Гипотеза отсутствует	Содержание наномодификатора до 2% от массы портландцемента	Увеличение прочности до 40%, экономия цементного клинкера до 50%	[125]
7.	Тонкомолотые портландцементы	Введение наноразмерных добавок на основе оксида алюминия (корунд, бемит). Оптимальным видом является корунд	Введение наноразмерных добавок на основе оксида алюминия оказывает влияние на гидратацию портландцемента (являются центрами кристаллизации) и строение продуктов гидратации портландцемента (представлены данные по микроскопии)	Содержание наноразмерных добавок на основе оксида алюминия (корунд) 1% от массы вяжущего	Увеличение прочности на 15–20%	[126]

Продолжение табл. 4

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм*	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
8.	Гипсовые материалы	Введение портландцемента, микрокремнезема и многослойных углеродных нанотрубок фирмы Arkema (masterbatch CW2-45)	Гипотеза о влиянии многослойных углеродных нанотрубок отсутствует	Содержание многослойных углеродных нанотрубок 0,005%, микрокремнезема – 3%, портландцемента – до 25% от массы вяжущего	Увеличение прочности при сжатии на 95%, при изгибе – на 81%	[127]
9.	Высококонцентрированная керамическая вяжущая суспензия	Организация процесса измельчения, приводящего к образованию частиц с размерами 10–30 нм в количестве до 6%, а также введение глины	Реализация трех классических механизмов стабилизации суспензии: структурно-механического (внедрение частиц меньших размеров), электростатического (образование двойного электрического слоя посредством введения электролитов) и адсорбционно-соляватного (адсорбция на поверхности минеральных частиц поверхностно-активных веществ)	Структурно-механический механизм реализован введением 2–10% глины; электростатический и адсорбционно-соляватный механизмы – введением комплексной органоминеральной добавки на основе триполифосфата натрия и пластификатора СБ-5	Снижение температуры спекания на 300–400°С, снижение влажности формочной смеси в 2 раза	[128]
10.	Эпоксидная смола, гибридное органо-неорганическое связующее на основе полиизоцианата и полисиликата натрия	Введение многослойных углеродных нанотрубок фирмы Arkema и тонкодисперсные суспензии металл-углеродных наночастиц	Формирование граничных слоев полимера, обладающих новыми параметрами структуры и свойств, под действием поверхности дисперсной фазы	Для эпоксидной смолы: содержание многослойных углеродных нанотрубок до 0,005% от массы отвердителя, содержание металл-углеродных наночастиц до 0,011% от массы отвердителя; для гибридного связующего: содержание многослойных углеродных нанотрубок до 0,5%	Для эпоксидной смолы: при введении металл-углеродных наночастиц: увеличение адгезионной прочности к стали на 18–25%, прочности при сжатии – на 7–16%, теплостойкости – на 28%; при введении многослойных углеродных нанотрубок: увеличение адгезионной прочности на 18–23%, теплостойкости – на 21%; для гибридного связующего (при введении многослойных углеродных нанотрубок): прочность при сжатии до 38%, теплостойкость до 12%	[129]
11.	Полимерно-битумное вяжущее (ПБВ); асфальтобетон	Введение в полимерный компонент ПБВ наноматериала, являющегося исходным материалом синтеза однослойных углеродных нанотрубок. Содержание трубок в исходном материале составляет 5–10%. Диспергирование исходного наноматериала осуществлялось в растворителе посредством ультразвуковой обработки	Исходный наноматериал является структурным центром, оказывающим влияние как на структуру, так и на свойства ПБВ (подтверждения не представлены)	Содержание исходного наноматериала 0,001–0,03%	Увеличение прочности при 20 и 50°С до 44,4%, повышение водостойкости на 19,5%, повышение теплостойкости на 32,5%, повышение трещиностойкости в 2,2 раза	[130]
12.	Гибридное органо-неорганическое связующее на основе полиизоцианата и полисиликата натрия	Введение многослойных углеродных нанотрубок фирмы Arkema (masterbatch CW2-45, masterbatch CS1-25). Для masterbatch CW2-45 среденоситель – силикаты натрия, а для masterbatch CS1-25 – эпоксидная смола марки ЭД-20, совместимая с полиизоцианатом	Гипотеза отсутствует		Увеличение дисперсности дисперсной фазы органо-неорганического связующего (размер частиц уменьшается в 2–3 раза), уменьшение продолжительности тепловой обработки до 1,75 раза, увеличение прочности на 20–35%	[131]

Продолжение табл. 4

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм*	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
1.2. Вода затворения						
13.	Вода затворения; бетон на портландцементе	Введение первичных наноматериалов на основе фуллероидных материалов	Структурирование воды первичным наноматериалом (доказательств нет)	Портландцемент – 315–440 кг/м <sup>3</sup>	Сокращение расхода портландцемента до 15% (при сохранении предела прочности при сжатии), повышение подвижности бетонной смеси на 14–27% (при сниженном расходе портландцемента до 6%), сохранение высокой подвижности бетонной смеси до 3 ч с момента затворения	[132]
1.3. Дисперсные фазы						
14.	Дисперсная фаза – диатомит, известково-диатомитовые композиции	Обработка диатомита золем кремниевой кислоты	Гипотеза отсутствует	Соотношение диатомит: золь кремниевой кислоты = 1:(1,1–1,8). Оптимальное соотношение 1:1,5	Увеличение прочности известково-диатомитовых композитов до 2,45 раза	[133]
1.4. Первичные наноматериалы						
15.	Первичный наноматериал на основе золь кремниевой кислоты и гидроксида железа (III)	Синтез первичного наноматериала, представленного в виде золь кремниевой кислоты, образующегося в среде золь гидроксида железа (III)	Образование золь кремниевой кислоты происходит при химическом связывании ионов натрия, стабилизирующих кремнекислородный каркас водных растворов гидросиликатов натрия. Химическое связывание положительно заряженных ионов натрия реализуется за счет их взаимодействия с отрицательно заряженными наночастицами золь гидроксида железа	Массовая доля гидросиликата натрия, вводимого в золь гидроксида железа, – 1,25–1,5	Повышение стабильности пен на синтетическом пенообразователе до 22%	[134]
16.	Первичный наноматериал на основе золь гидросиликатов бария	Синтез первичного наноматериала, являющегося золем гидросиликатов бария, по технологии низкотемпературного синтеза	Взаимодействие золь кремниевой кислоты, образованной в среде золь гидроксида железа (III), с растворами солей бария		Размеры частиц золь гидросиликатов бария, полученных из нитрата бария, – 50–55 нм, из карбоната бария – 30–35 нм. Температура синтеза 20–25°С	[135]
17.	Первичный наноматериал на основе многослойных углеродных нанотрубок фирмы Arkema (masterbatch CW 2-45)	Диспергирование посредством воздействия ультразвука или в высокоскоростном смесителе роторного типа. Продолжительность диспергирования до 10 ч	Молекулы сурфактанта (карбоксиметилцеллюлозы), адсорбированные на многослойных углеродных нанотрубках, обеспечивают эффективное их диспергирование		Продолжительность эффективного диспергирования составляет не более 2 ч. При более длительном воздействии наблюдается разрушение адсорбированного слоя КМЦ, что приводит к агрегированию углеродных нанотрубок	[115]
18.	Первичный наноматериал на основе многослойных углеродных нанотрубок фирмы Arkema (masterbatch CW 2-45)	Создание суспензий многослойных углеродных нанотрубок в среде, содержащей в качестве сурфактанта пластификатор ПФМ-НЛК			Сурфактант ПФМ-НЛК обеспечивает создание агрегативно устойчивых суспензий; обработка ультразвуком мощностью 3000 Вт и продолжительностью 5 мин обеспечивает уменьшение диаметра агрегатов многослойных углеродных нанотрубок в 2–3 раза (с 200–500 до 100–150 нм)	[136]

Продолжение табл. 4

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм*	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
<b>2. Бетоны</b>						
19.	Бетон на портландцементе	Введение золя ортокремниевой кислоты	Образование структурного элемента на основе золя ортокремниевой кислоты с последующим формированием структурного элемента на основе взаимодействия ортокремниевой кислоты и гидроксида кальция (доказательств нет)	Портландцемент – 500–600 кг/м <sup>3</sup> ; песок – 566–620 кг/м <sup>3</sup> ; гранитный щебень – 1006–1105 кг/м <sup>3</sup> ; вода – 175–216 л/м <sup>3</sup> ; зольсодержащая добавка – 0,75%	Снижение усадки в 12 раз, снижение водопоглощение в 2,2 раза, повышение предела прочности при сжатии в 1,38–1,44 раза, предела прочности при изгибе – в 1,9–2 раза, повышение марки по морозостойкости в 2,4 раза, по водонепроницаемости – в 1,6–1,75 раза	[137]
20.	Мелкозернистый бетон	Введение фуллероидного модификатора Астрален™ (NTC)	Гипотеза отсутствует	Концентрация NTC – 0,0005–0,005% от массы портландцемента; соотношение Ц : П = 1 : 2; В/Ц = 0,37	Снижение расхода гиперпластификатора на 50–60% при сохранении подвижности смеси, увеличение прочности на 15–20%	[138]
21.	Силикатный бетон	Введение высококонцентрированной вяжущей суспензии, содержащей 1–3% частиц нанометрического размера	Гипотеза отсутствует	Количество вводимой высококонцентрированной вяжущей суспензии 5–15%	Увеличение прочности на 40%, снижение продолжительности гашения извести в 2 раза, повышение производительности мельниц на 10–15%	[139]
22.	Ячеистый бетон	Введение нанокристаллического поризатора, состоящего из частиц активированного алюминия, покрытых слоем поверхностно-активного вещества (технология синтеза не приведена; данные о нахождении вещества в нанокристаллическом состоянии отсутствуют)	Гипотеза отсутствует	Расход порообразователя 0,5–1,5%	Снижение средней плотности на 3%, увеличение общей пористости 3,7%, повышение однородности и продолжительности выделения газа до 6,5 мин	[140]
23.	Мелкозернистый бетон	Введение фуллероидного модификатора Астрален™ (NTC)	Гипотеза отсутствует	Концентрация NTC – 0,001–0,005% от массы портландцемента; содержание портландцемента = 27–35%; В/Ц = 0,23–0,44	Увеличение прочности до 12%	[141]
24.	Ячеистый бетон, ангидритовое вяжущее	Введение углеродных наноструктур, заполненных металлами (медь, никель, кобальт) или углеродными нанотрубками «Таунит»	Углеродные наноструктуры выполняют функции центров направленной кристаллизации	Содержание углеродных наноструктур 0,05% от массы матричного материала	Повышение степени гидратации ангидрита, увеличение прочности на 14–19%	[142]
25.	Ячеистый бетон на основе портландцемента	Введение углеродных нанотрубок	То же, что в п. 24	Содержание углеродных наноструктур до 0,05% от массы матричного материала	Увеличение прочности в 1,7–2 раза, снижение коэффициента теплопроводности на 20%	[143]
26.	Ячеистый бетон	Введение углеродного наноматериала (УНМ), синтезированного в ВлГУ, с водой затворения. Распределение УНМ произведено посредством ультразвуковой обработки, продолжительность которой составляла до 15 мин	Гипотеза отсутствует	Содержание УНМ – 0,005% от массы вяжущего	Увеличение прочности газобетона до 1,7 раза	[144]

Продолжение табл. 4

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм*	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
27.	Мелкозернистый бетон на основе портландцемента	Введение углеродные коллоидных частиц (УКЧ) в виде золя с концентрацией 0,9 г/л	УКЧ являются центрами кристаллизации продуктов гидратации портландцемента	Содержание УКЧ – 0,0045–0,0225% от массы портландцемента	Увеличение степени гидратации и прочности в 1,2–1,5 раза	[145]
28.	Мелкозернистый бетон на основе портландцемента	Введение золя кремниевой кислоты	Химическое взаимодействие с гидроксидом кальция	Содержание золя кремниевой кислоты 10% от массы портландцемента (концентрация золя 0,23%)	Увеличение прочности в 1,8–2 раза, снижение коэффициента теплопроводности на 20%	[67]
29.	Мелкозернистый бетон на основе портландцемента	Введение многослойных углеродных нанотрубок Graphistrength™ фирмы Актепа, распределенных в растворе пластификатора СП-1 с применением гидродинамической установки	Гипотеза отсутствует	Оптимальное содержание многослойных трубок 0,006% от массы цемента	Увеличение прочности при изгибе на 45,1%, прочности при сжатии – на 96,8%, увеличение морозостойкости в 1,5 раза	[146]
30.	Мелкозернистый бетон на основе портландцемента	То же, что и в п. 27	То же, что в п. 27	Содержание УКЧ – 0,0045–0,0225% от массы портландцемента	Увеличение степени гидратации и прочности до 1,55 раза	[147]
31.	Мелкозернистый бетон на основе портландцемента	Введение нанотрубок компании «Таунит»	Гипотеза отсутствует	Содержание нанотрубок до 0,051% от массы цемента	Увеличение прочности на 30–90%	[148]
32.	Мелкозернистый бетон на основе портландцемента	Введение многослойных углеродных нанотрубок Graphistrength™ фирмы Актепа (продукт masterbatch CW2-45). Диспергирование многослойных углеродных нанотрубок произведено в гидродинамической установке	Гипотеза отсутствует	Оптимальное содержание многослойных углеродных нанотрубок 0,0065% от массы портландцемента	Увеличение степени гидратации портландцемента и изменение морфологии продуктов его гидратации	[149]
33.	Мелкозернистый бетон на портландцементе или вяжущем низкой водопотребности (ВНВ)	Механоактивация перлита и введение нанодисперсных порошков диоксида кремния «Таркосил-05» и «Таркосил-20»	Увеличение центров кристаллизации продуктов гидратации портландцемента	Содержание «Таркосил-05» и «Таркосил-20» – 0,89 кг/м <sup>3</sup>	Увеличение прочности на 35–79%	[150]
34.	Пенобетон, наноструктурированное вяжущее, полученное по технологии высококонцентрированных вяжущих систем (ВКВС)	Использование наноструктурированного вяжущего, полученного путем тонкого помола при повышенной температуре (60–80°С) и требуемом рН кремнеземистых и алюмосиликатных пород с последующей или совместной стабилизацией, указанной в п. 3	Механоактивация кремнеземосодержащих компонентов, образование кремниевой кислоты, обеспечение вяжущей дисперсной фазы. Одновременно обеспечение формирования плотного камня вследствие полифункциональности наноструктурированного вяжущего и последующая обработка химическими агентами, обеспечивающими образование прочных неразрушимых соединений (технология «Холодного спекания»)			[151]

Продолжение табл. 4

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм*	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
35.	Силикатный ячеистый бетон	Введение многослойных углеродных нанотрубок фирмы Ankema (masterbatch CW2-45)	Углеродные наноструктуры выполняют функции центров направленной кристаллизации и стимулируют формирование структуры твердеющего известково-силикатного вяжущего с высокой кристаллическостью	Содержание многослойных углеродных нанотрубок 0,006% от массы известково-кремнеземистого вяжущего	Увеличение прочности при сжатии 30%	[152]
36.	Бетон на портландцементе	Введение многослойных углеродных нанотрубок фирмы Ankema (masterbatch CW2-45)	Гипотеза отсутствует	Содержание многослойных углеродных нанотрубок 0,006%	Увеличение прочности до 29,4%	[153]
37.	Силикатный ячеистый бетон	Введение углеродных нанотрубок Graphistrength™ C-100, распределенных в водном растворе, содержащем пластификатор «Реламикс» и гидроксид алюминия. Дополнительно вводился микрокремнезем МК-85	Углеродные нанотрубки со слоями гидроксида алюминия обеспечивают снижение теплопроводности силикатного ячеистого бетона, а микрокремнезем, вступая в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция, – уплотнение структуры и повышение прочности (данные не представлены)	Содержание углеродных нанотрубок 0,005%, микрокремнезема – 5%	Увеличение прочности до 35%	[154]
38.	Высокопрочный легкий бетон	Аппретирование границы раздела фаз «легкий наполнитель – цементный камень» наномодификатором на основе золей кремниевой кислоты и гидроксидов железа (III)	Повышение адгезионной прочности на границе раздела фаз и уплотнение граничной области цементного камня (данные по ДТА, ИК-, КР-спектроскопии представлены)		Применение высокопрочного легкого бетона обеспечивает повышение эффективности строительства на 30–35%	[155]
39.	Бетон на портландцементе	Введение углеродных нанотрубок фирм Ankema, «NanoTechЦентр» и КТЭУ, диспергированных посредством ультразвуковой обработки. Частота ультразвука 22 кГц	Углеродные наноструктуры выполняют функции центров направленной кристаллизации	Концентрация углеродных нанотрубок до 0,0007% от массы портландцемента	Увеличение прочности при сжатии на 20–25%	[114]
40.	Реакционно-активированные песчаные бетоны	Введение наноразмерных гидросиликатов кальция	Частицы гидросиликатов кальция являются центрами кристаллизации портландцемента (экспериментальные данные не представлены)		Повышение прочности бетона: в возрасте 6 ч – в 32 раза, в возрасте 8 ч – в 10,6 раза, в возрасте 10 ч – в 4,3 раза	[156]
41.	Бетон на портландцементе	Введение многослойных углеродных нанотрубок фирмы Ankema (masterbatch CW2-45)	Гипотеза отсутствует	Содержание многослойных углеродных нанотрубок 0,006% от массы портландцемента	Увеличение прочности на 28%, повышение марки по морозостойкости с F200 до F400, повышение марки по водонепроницаемости с W8 до W14	[157]

Окончание табл. 4

№	Объект исследования	Способ реализации повышения качества строительного материала	Механизм*	Содержание компонентов	Результат	Ссылка на источник
<b>3. Другие виды строительных композитов</b>						
42.	Покрытия и порошки	Нанесение прекурсора – золя, содержащего мягкие биосилы (дифталонин лютеция и наноалмазы), на защищаемую поверхность или на модифицируемый порошок, который после сушки при T = 100°C подвергался обжигу при T = 700°C в течение 1 ч	Биоцудное действие мягких биосилов и компонентов носителя (прекурсора)	Покрытия: эпоксино-диановая смола ЭД-20 и тетраэтиловый эфир орто-кремниевой кислоты в соотношении 1:1. Дополнительно изопропиловый спирт и мягкие биосилы в количестве 1–10%. Порошки: тетраэтоксисилан, этиловый спирт, вода, азотная кислота в соотношении 1:1.6:2.5:0.001. Дополнительно вводятся мягкие биосилы в количестве 1–10%. Золь наносится на порошок оксида алюминия в соотношении 1:1	Обеспечение биосидных свойств широкой номенклатуре строительных материалов	[158]
43.	Известковые отделочные составы	Введение золя ортокремниевой кислоты, стабилизированного желатином и содержащего сульфат алюминия	Гипотеза отсутствует	Содержание сульфата алюминия 1,168 мкмоль/л, содержание желатина 3,6 г/л	Снижение влажностного набухания на 40%, увеличение прочности на 30%	[159]
44.	Известковые отделочные составы	Введение золя кремниевой кислоты	Химическое взаимодействие с гидроксидом кальция	Соотношение известь : золь кремниевой кислоты = 1 : 0,5	Увеличение прочности на 55%, снижение усадки на 45%	[160]
45.	Эпоксидные композиты	Введение фуллероидного модификатора Астрален™ (NTC)	Гипотеза отсутствует	Соотношение смола ЭД-20 : маршалит = 1 : 2, содержание отвердителя ПЭПА – 10% от массы смолы, пластификатора ДБФ – 20% от массы смолы, NTC – до 0,03% (оптимальное содержание 0,024–0,027%) от массы смолы	Увеличение прочности при растяжении на 25–35%, прочности при сжатии – до 48%, прочности при изгибе – 28–34%	[161]
46.	Полвинилхлоридные композиции	Введение золя кремниевой кислоты и многослойных углеродных нанотрубок Graphistrength™ фирмы Arkema	Регулирование кислотно-основных свойств древесной муки (приведены данные ИК-спектроскопии)	Оптимальная концентрация золя кремниевой кислоты 0,35%, многослойных углеродных нанотрубок – 0,008%	Увеличение степени наполнения ПВХ композиций в 1,5 раза, увеличение прочности при растяжении до 38,7%, термостабильности – до 19,5%	[162]
47.	Керамические материалы	Введение многослойных углеродных нанотрубок фирмы Arkema (masterbatch CW2-45)	Гипотеза отсутствует	Содержание многослойных углеродных нанотрубок 0,005% от массы глины	Увеличение прочности сырья на 43%, снижение температуры обжига с 1030 до 970°C	[163]
48.	Керамические материалы	Введение золей кремниевой кислоты и гидроксида алюминия и последующая обработка электромагнитным полем	Гипотеза отсутствует		Увеличение прочности на 20–25%	[164]

3. Первичные наноматериалы являются структурными барьерами, предотвращающими рост и перекристаллизацию.

С привлечением геометрических представлений установлено, что для получения материалов с наноразмерными параметрами структуры необходимо использовать первичные наноматериалы с размерами менее 100 нм, объемная доля которых должна быть близкой к 10%. Уменьшение размеров первичного наноматериала  $d_n$  способствует существенному сокращению их концентрации  $v_n$ :

$$v_n \sim d_n^3$$

При введении первичных наноматериалов актуальной задачей является их однородное объемное распределение в среде-носителе. Часто применяемым методом диспергации является ультразвуковая обработка. В некоторых эмпирических работах представлены данные об эффективности такой обработки, например в [114, 115]. Теоретический анализ механизмов и условий диспергации первичных наноматериалов представлен в работах [116, 117], в которых показано, что диспергирование агломератов первичных наноматериалов может быть осуществлено как посредством механической так и тепловой обработки. Параметры воздействия механической обработки должны быть сопоставимы с характерными размерами первичных наноматериалов. Это требуется в случае применения ультразвуковой обработки с генерацией частот 15–200 ГГц, которые, как известно, приводят к протеканию химических реакций [118]. Очевидно, что указанное затрудняет установление эффективности применения первичных наноматериалов. Применение ультразвука меньшего диапазона частот не обеспечивает полного диспергирования агломератов наночастиц. Тепловая обработка может быть эффективна только при обеспечении адсорбции поверхностно-активных веществ при увеличении температуры, что в соответствии с уравнением Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \frac{d\sigma}{dc}$$

не реализуется. Отсюда следует заключение: *применение ультразвуковой обработки для диспергирования первичных наноматериалов в лиофобных (несмачивающих) средах-носителях не обеспечит полного диспергирования агломератов наночастиц вследствие снижения адсорбции поверхностно-активного вещества при повышении температуры среды-носителя, возникающего в процессе обработки.* В этом случае возможны два альтернативных решения задачи диспергирования первичных наноматериалов:

1. Осуществление эффективного охлаждения дисперсной системы в процессе ультразвуковой обработки (для обеспечения адсорбции поверхностно-активного вещества).

2. Реализация комплексного метода, предусматривающего применение механического перемешивания в смесителях сложной конфигурации с применением ультразвуковой обработки (для смещения фаз) и среды-носителя, лиофильной к первичному наноматериалу.

Очевидно, что рациональную стратегию диспергирования определяют исследования.

Другим важным следствием из третьего заключения является установление условия, определяющего целесообразность применения технологии наномодифицирования посредством введения первичных наноматериалов. В работе [106] В.И. Калашников указывает, что применение углеродных первичных наноматериалов неэффективно вследствие наличия большого количества пор, микро- и макродефектов. Аналогичные выво-

ды представлены в работе [119] на основе анализа концентрационных зависимостей прочности композитов. В указанной работе сформулирован принцип рецептурно-технологического совершенства материала: *управление структурообразованием на нижеследующем масштабном структурном уровне должно осуществляться только после достижения максимального качества на предыдущих структурных уровнях.* Критерием перехода для оптимизации на нижеследующем масштабном уровне является размер массового дефекта, на ликвидацию которого направлено рецептурно-технологическое решение. Отсюда следует, что оптимизация на наномасштабном структурном уровне принесет существенные эффекты только после достижения максимального качества на макро- и микроуровнях:

$$[k_{ef, nano}]_{k_{ef, micro} \rightarrow \max}^{k_{ef, nano} \rightarrow \max} \rightarrow \max,$$

где  $k_{ef, i}$  – интегральный коэффициент качества материала.

Таким образом, условием для применения технологии наномодифицирования является размер массового дефекта, на устранение которого направлено рецептурно-технологическое воздействие. Очевидно, что введение первичных наноматериалов, регулирующих параметры структуры на микро- и макроуровнях, будет малоэффективно (в некоторых случаях значительно) при наличии дефектов милли- или сантиметрного уровня: их эффективность будет пропорциональна только повышению прочности матричного материала (увеличение прочности матричного материала  $\sigma_p$  в зависимости  $R_{comp} = f(\sigma_i, v_i, S_f)$ ), содержание которого для композитов строительного назначения часто менее 30%.

**Заключение.** В данной обзорной статье проведен анализ работ многочисленных авторов, работающих в направлении технологии наномодифицирования. Накоплен важный эмпирический материал, который начинает трансформироваться в научные концепции и алгоритмы. На этапе накопления экспериментальных данных важно обеспечить методологическое единство их получения и оценки. Универсальным языком анализа и формализованной записи полученных научных знаний является математика. И. Кант это отметил следующим образом: *В науке столько истины, сколько в ней математики.* Ее использование обеспечивает как возможность анализа и сопоставления экспериментальных данных, так и синтез обобщающих закономерностей. В строительно-материаловедческих исследованиях математика имеет инженерно-технологическое применение (получение экспериментально-статистических моделей, пригодных только для решения частных оптимизационных задач). Очевидно, что этого недостаточно для развития строительного материаловедения – системной научной дисциплины.

Кроме указанной системной задачи, обеспечивающей развитие строительного материаловедения, важно решить методологические задачи, позволяющие давать адекватную оценку эффективности применения приемов технологии наномодифицирования [119]:

1. Установить влияние физико-химических аспектов взаимодействия контактирующих фаз (решение обеспечивает установление механизма(ов) влияния первичных наноматериалов на структурообразование композитов; определение критических концентраций первичных наноматериалов в зависимости от их размера и технико-экономическую эффективность технологии наномодифицирования).

2. Оценить влияние предистории технологических воздействий на среду-носитель, содержащую первичные наноматериалы, на этапе подготовки к наномодифицированию композита. Решение позволит устано-

вить фактический вклад первичных наноматериалов в структурообразование; провести прогноз эффективности применения дисперсных систем первичных наноматериалов в промышленном применении, предусматривающие длительные периоды между изготовлением и применением таких дисперсных систем.

3. Оценить адекватность полученных экспериментальных данных по влиянию первичных наноматериалов на параметры структуры и качество строительного композита с привлечением статистического анализа (решение обеспечит гармонизацию природы (параметров структуры, физико-химических свойств) дисперсных систем первичных наноматериалов и природы модифицируемого материала; области применения пер-

вичных наноматериалов и технико-экономическую эффективность их применения).

4. Разработать статистически однородные технологические приемы активации компонентов композитов, обеспечивающие управление структурообразованием на границах раздела фаз с формированием структуры материала в термодинамически равновесном состоянии (решение обеспечивает развитие «зеленой» нанотехнологии).

Безусловно, нанотехнология в строительном материаловедении находится в стадии становления. Совершенствование, уточнение и формулирование новых положений и закономерностей ожидают исследователей: «*Бороться и искать, найти и не сдаваться*» (А. Теннисон «Уиллис»).

#### Список литературы

1. Усачев С.М., Перцев В.Т. Реализация нанотехнологического подхода для вибропрессованных бетонов // *Строительные материалы*. 2007. № 1. С. 45–48.
2. Соков В.Н., Бегляров А.Э. Эффективные трехслойные монолитные изделия с наноструктурированным переходным слоем // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 41–43.
3. Шайбадуллина А.В., Яковлев Г.И., Бурдин В.С. Отделочная фасадная композиция, модифицированная углеродными нанотрубками, для защиты от электромагнитных полей // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 41–43.
4. Гаитова А.Р., Ахмадулина И.И., Печенкина Т.В., Пудовкин А.Н., Недосеко И.В. Наноструктурные аспекты гидратации и твердения гипсовых и гипсошлаковых композиций на основе двуводного гипса // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 46–51.
5. Третьяков Ю.Д. Проблемы развития нанотехнологий в России и за рубежом // *Строительные материалы*. 2006. № 12. С. 17–20.
6. Бердов Г.И., Зырянова В.Н., Машкин А.Н., Хританков В.Ф. Нанопроцессы в технологии строительных материалов // *Строительные материалы*. 2008. № 7. С. 76–80.
7. Жерновский И.В., Строчкова В.В. Некоторые вопросы понятийного аппарата наносистемного строительного материаловедения // *Строительные материалы*. 2012. № 3. С. 8–10.
8. Современный энциклопедический словарь. М.: Большая российская энциклопедия, 1997. OCR Палек, 1998. 5110 с.
9. Толковый словарь иностранных слов / Под ред. Л.П. Крысина. М.: Русский язык, 1998.
10. Данилов А.М., Королев Е.В., Гарькина И.А. Строительные материалы как системы // *Строительные материалы*. 2006. № 7. С. 55–57.
11. Лесовик В.С., Строчкова В.В. О развитии научного направления «Наносистемы в строительном материаловедении» // *Строительные материалы*. 2006. № 9. / Наука. № 8. С. 18–20.
12. Баженов Ю.М., Королев Е.В. Нанотехнология и наномодифицирование в строительном материаловедении. Зарубежный и отечественный опыт // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2007. № 2. С. 17–22.
13. Королев Е.В. Принцип реализации нанотехнологии в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 60–64.
14. Кузьмина В.П. Механоактивация цементов // *Строительные материалы*. 2006. № 5 / Technology. № 7. С. 7–9.
15. Королев А.С., Зырянов Ф.А., Трофимов Б.Я. Быстротвердеющее композиционное вяжущее на

#### References

1. Usachev S.M., Pertsev V.T. Implementation of nanotechnological approach for vibro-pressed concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 1, pp. 45–48. (In Russian).
2. Sokov V.N., Beglyarov A.E. Efficient three-layer monolithic products with a nano-structured transition layer. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 11, pp. 41–43. (In Russian).
3. Shaibadullina A.V., Yakovlev G.I., Burdin V.S. Research of the electromagnetic absorption of finish facade composition modified with carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 41–43. (In Russian).
4. Gaitova A.R., Ahmadulina I.I., Pechenkina T.V., Pudovkin A.N., Nedoseko I.V. Nanostructural aspects of hydration and hardening gypsum and slag gypsum compositions on based plaster dehydrate. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 46–51. (In Russian).
5. Tret'yakov Yu.D. Problems of development of nanotechnology in Russia and abroad. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 12, pp. 17–20. (In Russian).
6. Berdov G.I., Zyryanova V.N., Mashkin A.N., Khritanov V.F. Nanoprocesses in construction materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 7, pp. 76–80. (In Russian).
7. Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Some issues of conceptual apparatus of nano-systematic building materials science. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 3, pp. 8–10. (In Russian).
8. Modern Encyclopedic Dictionary. Moscow: Great Russian Encyclopedia, 1997. OCR Palek, 1998. 5110 p.
9. The explanatory dictionary of foreign words. Ed. Krysin L.P. Moscow: Russkiy Yazik, 1998.
10. Danilov A.M., Korolev E.V., Gar'kina I.A. Building materials as a system. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 7, pp. 55–57. (In Russian).
11. Lesovik V.S., Strokova V.V. On the development of a scientific direction «Nanosystems in building materials». *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 9. Application Nauka No. 8, pp. 18–20. (In Russian).
12. Bazhenov Yu.M., Korolev E.V. Nanotechnology and nanomodification in construction materials. Foreign and domestic experience. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2007. No. 2, pp. 17–22.
13. Korolev E.V. Principle of realization of nanotechnology in building materials science. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 60–64. (In Russian).
14. Kuz'mina V.P. Mechanical activation of cement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 5. Application Technology. No. 7, pp. 7–9. (In Russian).

- основе портландцемента и вяжущего низкой водопотребности // *Строительные материалы*. 2007. № 4. С. 72–73.
16. Кузьмина В.П. Механоактивация материалов для строительства. Цемент // *Строительные материалы*. 2007. № 6. С. 74–75.
  17. Гаркави М.С., Хрипачева И.С. Смешанные цементы центробежно-ударного измельчения на основе доменного отвального шлака // *Строительные материалы*. 2010. № 8. С. 40–41.
  18. Вавренюк С.В., Авраменко В.А., Аликовский А.В., Майоров В.Ю., Михайлова Н.Н. Влияние кремний-органических соединений нефункционального типа на измельчение портландцементного клинкера // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 78–80.
  19. Кузьмина В.П. Механоактивированные цветные цементы // *Строительные материалы*. 2006. № 7. С. 25–27.
  20. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 84–87.
  21. Кузьмина В.П. Механоактивация материалов для строительства. Известь // *Строительные материалы*. 2007. № 10. С. 38–39.
  22. Вишнеvский А.А. Новые возможности ускорения процесса получения жидкого стекла при атмосферном давлении // *Строительные материалы*. 2006. № 1. С. 48–49.
  23. Урханова Л.А., Содмонов А.Э., Костромин Н.Н. Пути повышения эффективности строительных материалов на основе активированных вяжущих веществ // *Строительные материалы*. 2006. № 1. С. 34–35.
  24. Урханова Л.А., Балханова Е.Д. Получение композиционных алюмосиликатных вяжущих на основе вулканических пород // *Строительные материалы*. 2006. № 5. С. 51–53.
  25. Гуревич Б.И., Калинин А.М., Калинин Е.В., Тюкавкина В.В. Влияние условий механической активации на вяжущие свойства диопсида // *Строительные материалы*. 2006. № 7. С. 28–31.
  26. Тихомирова И.Н., Макаров А.В. Механоактивация известково-кварцевых вяжущих // *Строительные материалы*. 2012. № 9. С. 4–7.
  27. Тихомирова И.Н., Макаров А.В. Механизм фазообразования и твердения механоактивированных известково-кварцевых смесей при тепловлажностной обработке // *Строительные материалы*. 2013. № 1. С. 44–49.
  28. Панина А.А., Корнилов А.В., Лыгина Т.З. Активированные дисперсные минеральные наполнители для портландцемента // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 74–75.
  29. Жерновский И.В., Строкова В.В., Бондаренко А.И., Кожухова Н.И., Соболев К.Г. Структурные преобразования кварцевого сырья при механоактивации // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 56–58.
  30. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Карабут Л.А., Астафьев В.А., Ушаков А.П., Андрианов А.В. Линия активации сырья ШЛ-340 // *Строительные материалы*. 2006. № 2. С. 26–27.
  31. Кузьмина В.П. Технология изготовления премиксов и их влияние на качество продукции // *Строительные материалы*. 2006. № 3. С. 26–28.
  32. Гуюмджян П.П., Кашникова М.Л., Кулигина Т.Н. Использование отходов асбестоцементной промышленности // *Строительные материалы*. 2006. № 9. С. 20–21.
  33. Хардаев П.К., Гончигова Е.В., Убонов А.В. Смешанные вяжущие на основе вулканических пород Забайкалья // *Строительные материалы*. 2007. № 7. С. 80–81.
  15. Korolev A.S., Zyryanov F.A., Trofimov B.Ya. Fast hardening composite binders based on Portland cement and binder of low water demand. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 4, pp. 72–73. (In Russian).
  16. Kuz'mina V.P. Mechanical activation of materials for construction. Cement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 6, pp. 74–75. (In Russian).
  17. Garkavi M.S., Khripacheva I.S. Mixed cements of centrifugal-impact grinding on the basis of blast-furnace dump slag. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 8, pp. 40–41. (In Russian).
  18. Vavrenyuk S.A., Avramenko V.A., Alikovsky A.V., Mayorov V.Yu., Mikhaylova N.N. Influence of organic silicone compounds of non-functional type on grinding of portland-cement clinker. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 78–80. (In Russian).
  19. Kuz'mina V.P. Mechanic-activated colored cement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 7, pp. 25–27. (In Russian).
  20. Lesovik V.S., Zhernovoi F.E., Glagolev E.S. The use of natural perlite in mixed cements composition. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 84–87. (In Russian).
  21. Kuz'mina V.P. Mechanical activation of materials for construction. Lime. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 10, pp. 38–39. (In Russian).
  22. Vishnevskii A.A. New features accelerate the production of liquid glass at atmospheric pressure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 1, pp. 48–49. (In Russian).
  23. Urkhanova L.A., Sodmonov A.E. Kostromin N.N. Ways to increase the efficiency of building materials based on activated binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 1, pp. 34–35. (In Russian).
  24. Urkhanova L.A., Balkhanova E.D. Preparation of composite aluminosilicate binders based on volcanic rocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 5, pp. 51–53. (In Russian).
  25. Gurevich B.I., Kalinkin A.M., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. The influence of mechanical activation conditions on binding properties of diopside. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 6, pp. 28–31. (In Russian).
  26. Tikhomirova I.N., Makarov A.V. Mechanical activation of lime-quartz binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 9, pp. 4–7. (In Russian).
  27. Tikhomirova I.N., Makarov A.V. Mechanism of phase formation and hardening of mechanically activated lime-quartz mixes in the course of heat-humidity treatment. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 1, pp. 44–49. (In Russian).
  28. Panina A.A., Kornilov A.V., Lygina T.Z. Activation disperse mineral fillers for Portland-cement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 74–75. (In Russian).
  29. Zhernovskii I.V., Strokova V.V., Bondarenko A.I., Kozhukhova N.I., Sobolev K.G. Structural transformations of silica raw material in the course of mechanical activation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10, pp. 56–58. (In Russian).
  30. Shlegel' I.F., Shaevich G.Ya., Karabut L.A., Astaf'ev V.A., Ushakov A.P., Andrianov A.V. Line of activation of raw materials SHL-340. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 2, pp. 26–27. (In Russian).
  31. Kuz'mina V.P. The technology of manufacture of premixes and their impact on product quality. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 3, pp. 26–28. (In Russian).
  32. Guyumdzhyan P.P., Kashnikova M.L., Kuligina T.N. The use of waste asbestos industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 9, pp. 20–21. (In Russian).

34. Лукьяненко В.В., Костина Н.В. Влияние активации на свойства строительных растворов // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 22–23.
35. Гусев Б.В., Иен-Лянь С., Кривобородов Ю.Р. Повышение активности золосодержащих цементов и бетонов на их основе // *Строительные материалы*. 2012. № 8. С. 60–61.
36. Лапшин В.Б., Боброва Н.В., Гуюмджян П.П. Механоактивация композиций строительного назначения на основе поливинилхлорида // *Строительные материалы*. 2009. № 10. С. 48–49.
37. Иванова Т.Л., Прокопец В.С. Механоактивированный резиновый порошок для асфальтобетонов // *Строительные материалы*. 2008. № 8. С. 82–83.
38. Траутвайн А.И., Гридчин А.М. Повышение реакционной способности наполнителей в результате помола // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 82–85.
39. Прокопец В.С., Карамышев И.М. Современные тенденции повышения качества и эффективности дорожных строительных материалов // *Строительные материалы*. 2011. № 2. С. 38–39.
40. Траутвайн А.И., Ядыгина В.В., Гридчин А.М. Особенности механоактивированных минеральных порошков // *Строительные материалы*. 2011. № 11. С. 32–34.
41. Какошко Е.С. Повышение качества керамического кирпича путем микробиологической обработки сырьевых материалов // *Строительные материалы*. 2007. № 2. С. 76–78.
42. Урханова Л.А., Содмонов А.Э. Регулирование физико-механических свойств композиционных материалов механохимической активацией вяжущих // *Строительные материалы*. 2007. № 11. С. 42–43.
43. Шоева Т.Е., Баев С.В., Каменский Ю.Д. Мелкозернистый бетон на основе МАВС из природного и техногенного сырья Тывы // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 36–38.
44. Жерновский И.В., Осадчая М.С., Череватова А.В., Строчкова В.В. Алюмосиликатное наноструктурированное вяжущее на основе гранитного сырья // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 38–41.
45. Смоликов А.А., Огрель Л.Ю., Везенцев А.И. Нанотрубчатый наполнитель на основе хризотила для теплостойких композиционных материалов // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 81–83.
46. Мирошников Е.В., Строчкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В. Наноструктурированное перлитовое вяжущее и пенобетон на его основе // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 105–106.
47. Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Юркин Ю.В., Савченкова Г.А., Артамонова Т.А. Наполнитель с химически модифицированной поверхностью для неотверждаемых герметиков // *Строительные материалы*. 2011. № 2. С. 52–54.
48. Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г., Власов В.В. Высокопрочное гипсоцементноцеолитовое вяжущее // *Строительные материалы*. 2010. № 2. С. 53–55.
49. Бабаев В.Б., Нелюбова В.В., Жерновский И.В. Термическая обработка базальтового волокна как способ повышения его щелочестойкости // *Строительные материалы*. 2013. № 10. С. 58–61.
50. Ерофеев В.Т., Митина Е.А., Матвиевский А.А., Осипов А.К., Емельянов Д.В., Юдин П.В. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения // *Строительные материалы*. 2007. № 11. С. 56–57.
51. Касаткина В.И., Федосов С.В., Акулова М.В. Влияние механомагнитной активации водных си-
33. Khardaev P.K., Gonchikova E.V., Ubonov A.V. Mixed binders based on the volcanic rocks of Transbaikalia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 7, pp. 80–81. (In Russian).
34. Luk'yanenko V.V., Kostina N.V. Influence of activation on properties of building mortars. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 5, pp. 22–23. (In Russian).
35. Gusev B.V., Ien-Lyan S. IN, Krivoborodov Yu.R. Increased in activity of ash-containing cements and concretes on their basis. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 8, pp. 60–61. (In Russian).
36. Lapshin V.B., Bobrova N.V., Guyumdzhyan P.P. Mechanical activation of building compositions on the basis of polyvinylchloride. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 10, pp. 48–49. (In Russian).
37. Ivanova T.L., Prokopets V.S. Mechanically activated rubber powder for asphalt. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 8, pp. 82–83. (In Russian).
38. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Gridchin A.M. Improvement of reactionary capacity of fillers as a result of grinding. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 12, pp. 82–85. (In Russian).
39. Prokopets V.S., Karamyshev I.M. Modern lines of improvement of quality and efficiency of road building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 2, pp. 38–39. (In Russian).
40. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Gridchin A.M. Features of mechanical activated mineral powders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 11, pp. 32–34. (In Russian).
41. Kakoshko E.S. Improving the quality ceramic brick by microbiological treatment of raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 2, pp. 76–78. (In Russian).
42. Urkhanova L.A., Sodmonov A.E. Regulation of the physical and mechanical properties of composite materials by mechanochemical activation binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 11, pp. 42–43. (In Russian).
43. Shoeva T.E., Baev S.V., Kamenskii Yu.D. Fine concrete on the basis of mabm made of natural and anthropogenic raw materials of Tyva. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 9, pp. 36–38. (In Russian).
44. Zhernovsky I.V., Osadchaya M.S., Cherevatova A.V., Strokova V.V. Aluminum-silicate nano-structured binder on the basis of granite raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 38–41. (In Russian).
45. Smolikov A.A., Ogrel L.Yu., Vezentsev A.I. Nanotubular filler on the basis of chrysotile for heat resistant composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 8, pp. 81–83. (In Russian).
46. MIroshnikov E.V., Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V. A nanostructured perlite binder and foam concrete on its base. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 105–106. (In Russian).
47. Cherkasov V.D., Buzulukov V.I., Yurkin Yu.V., Savchenkova G.A., Artamonova T.A. A Filler with chemically modified surface for incurable sealants. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 2, pp. 52–54. (In Russian).
48. Sagdatullin D.G., Morozova N.N., Khozin V.G., Vlasov V.V. High-strength gypsum cement zeolite binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 2, pp. 53–55. (In Russian).
49. Babaev V.B., Nelyubova V.V., Zhernovsky I.V. Thermal treatment of basalt fiber as a method of improving its alkali resistance. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 10, pp. 58–61. (In Russian).
50. Erofeev V.T., Mitina E.A., Matvievskii A.A., Osipov A.K., Emel'yanov D.V., Yudin P.V. Composite construction

- стем на свойства бетона // *Строительные материалы*. 2007. № 11. С. 58–59.
52. Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева М.В., Паходин В.А., Касаткина В.И. Определение технологических параметров механомангнитной активации водных систем с пластифицирующей добавкой // *Строительные материалы*. 2010. № 3. С. 49–51.
  53. Акимов А.Е., Ядыкина В.В., Гридчин А.М. Применение токов СВЧ для повышения характеристик дорожных битумов // *Строительные материалы*. 2010. № 1. С. 12–16.
  54. Ядыкина В.В., Акимов А.Е., Гридчин А.М. СВЧ-активация битумов как способ повышения физико-механических и эксплуатационных параметров асфальтобетона // *Строительные материалы*. 2010. № 5. С. 20–21.
  55. Хайдаров Ш.Х., Корнилов А.В., Лыгина Т.З., Пермяков Е.Н. Электрокинетическое обезвоживание шликера // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 66–67.
  56. Ядыкина В.В., Лукаш Е.А. Органоминеральные композиты для дорожного строительства на основе модифицированных наполнителей // *Строительные материалы*. 2009. № 11. С. 46–48.
  57. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хакимуллин Ю.Н. Модификация дорожных битумов радиационными регенератами бутиловых резин // *Строительные материалы*. № 12. 2009. С. 44–45.
  58. Логанина В.И., Петухова Н.А. Органоминеральная добавка для полистирольных красок // *Строительные материалы*. 2008. № 2. С. 44–45.
  59. Калашников В.И., Мороз М.Н., Худяков В.А. Нанотехнология гидрофобизации минеральных порошков стеаратами металлов // *Строительные материалы*. 2008. № 7. С. 45–47.
  60. Мороз М.Н., Калашников В.И., Худяков В.А., Василик П.Г. Водостойкий мелкозернистый бетон, гидрофобизированный наночастицами стеарата кальция // *Строительные материалы*. № 8. 2009. С. 55–57.
  61. Чагаев С.В., Мусин И.Н., Кимельблат В.И. Наполненные модифицированные полиолефиновые эластомерные композиции строительного назначения // *Строительные материалы*. 2009. № 10. С. 50–52.
  62. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Карпиков Е.Г. Особенности структурообразования цементного камня с углерод-кремнеземистой нанодисперсной добавкой // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 66–67.
  63. Строкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Войтович Е.В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 9–11.
  64. Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Новиченкова Т.Б., Яковлев Г.И. Модифицированные гипсовые материалы конденсационного твердения // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 42–45.
  65. Салахов А.М., Ливада А.Н., Салахова Р.А. Нанотехнология – гарантия заданных свойств керамических материалов // *Строительные материалы*. 2008. № 4. С. 27–29.
  66. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Силикатные автоклавные материалы с использованием нанодисперсного сырья // *Строительные материалы*. 2008. № 11. С. 42–43.
  67. Лукутцова Н.П. Наномодифицирующие добавки в бетон // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 101–104.
  - materials grouted by activated water. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 11, pp. 56–57. (In Russian).
  51. Kasatkina V.I., Fedosov S.V., Akulova M.V. Influence mechanomagnetic activation of water systems on the properties of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 11, pp. 58–59. (In Russian).
  52. Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Redkina A.S., Nesterov S.A. Control over thermal processes taking place in the body of monolithic reinforced concrete structure during winter concreting. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 3, pp. 49–51. (In Russian).
  53. Akimov A.E., Yadykina V.V., Gridchin A.M. The use of shf currents for improvement of road bitumen characteristics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 1, pp. 12–16. (In Russian).
  54. Yadykina V.V., Akimov A.E., Gridchin A.M. SHF-activation of bitumen as a method of improvement of physico-mechanical and operating parameters of asphalt concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 5, pp. 20–21. (In Russian).
  55. Khaydarov Sh.Kh., Kornilov A.V., Lygina T.Z., Permyakov E.N. electrokinetic dewatering of slip. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 66–67. (In Russian).
  56. Yadykina V.V., Lukash E.A. organomineral composites for road construction on the basis of modified fillers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 11, pp. 46–48. (In Russian).
  57. Ayupov D.A., Murafa A.V., Khakimullin Yu.N. Modification of road bitumen with radiation regenerates of butyl rubbers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 12, pp. 44–45. (In Russian).
  58. Loganina V.I., Petukhova N.A. Organic-additive for polystyrene paints. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 2, pp. 44–45. (In Russian).
  59. Kalashnikov V.I., Moroz M.N., Khudyakov V.A. Nanotechnology of a gidrofobization of mineral powders stearates of metals. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 7, pp. 44–47. (In Russian).
  60. Moroz M.N., Kalashnikov V.I., Khudyakov V.A., Vasilik P.G. Water-resistant fine concrete hydrophobized with nanoparticles of calcium stearate. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 8, pp. 55–57. (In Russian).
  61. Chagaev S.V., Musin I.N., Kimelblat V.I. Filled modified polyolefin elastomeric compositions for construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 10, pp. 50–52. (In Russian).
  62. Lukutsova N.P., Pykin A.A., Karpikov E.G. Features of structure formation of cement stone with a carbon-siliceous nanodisperse additive. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 9, pp. 66–67. (In Russian).
  63. Stroкова V.V., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Voytovich E.V. Peculiarities of phase formation in a composite nanostructured gypsum binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 9–11. (In Russian).
  64. Petropavlovskaya V.B., Buryanov A.F., Novichencova T.B., Yakovlev G.I. The modified gipsym materials of condensation solidification. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 42–45. (In Russian).
  65. Salakhov A.M., Livada A.N., Salakhova R.A. Nanotechnology – a guarantee of the desired properties of ceramic materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 4, pp. 27–29. (In Russian).
  66. Volodchenko A.N., Lesovik V.S. Silicate autoclave materials from nanodisperse raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 11, pp. 42–43. (In Russian).

68. Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Максакон А.В., Огурцова Ю.Н. Механизм структурообразования строительных композитов с гранулированным наноструктурирующим наполнителем // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 64–65.
69. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 53–55.
70. Лесовик В.С., Фролова М.А., Айзенштадт А.М. Поверхностная активность горных пород // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 71–72.
71. Тутыгин А.С., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Фролова М.А., Боброва М.П. Проектирование состава строительных композитов с учетом термодинамической совместимости высокодисперсных систем горных пород // *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 74–75.
72. Гришина А.Н., Королев Е.В. Прочность жидкостекольных композитов, отвержденных ферроборным шлаком // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 68–70.
73. Лесовик В.С., Высоцкая М.А., Ядыкина В.В., Кухнецов Д.А. Нанотехнологии в дорожно-строительной индустрии // *Строительные материалы*. 2007. № 1. С. 52–53.
74. Хвостенков С.И. Интенсификация производства автоклавных материалов путем механохимической активации сырьевых смесей // *Строительные материалы*. 2007. № 12. С. 8–11.
75. Артамонова А.В. Оптимизация физико-технических свойств цементов, полученных в центробежно-ударной мельнице // *Строительные материалы*. 2008. № 11. С. 70–71.
76. Огрель Л.Ю., Строкова В.В. Наследование полимерными композитами структур наноразмерных неорганических наполнителей // *Строительные материалы*. 2009. № 9. С. 75–77.
77. Павленко Н.В., Череватова А.В., Строкова В.В. Особенности получения рациональной поровой структуры пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего // *Строительные материалы*. 2009. № 10. С. 33–36.
78. Суханов А.С., Лупанов А.П., Силкин А.В., Кондратьева Т.Н. Получение активированного минерального порошка в центробежно-ударной мельнице // *Строительные материалы*. 2009. № 11. С. 12–14.
79. Войтович В.А., Хряпченкова И.Н., Яворский А.А. Нанотехнологии в производстве силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2010. № 2. С. 60–61.
80. Строкова В.В., Павленко Н.В., Мирошников Е.В. Комплексная система мониторинга и управления процессом получения наноструктурированного вяжущего // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 54–56.
81. Верховский А.А., Нанасов И.И., Елизарова Е.В., Гальцев Д.И., Щередин В.В. Мультифункциональное стекло как фактор энергосбережения // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 44–46.
82. Нелюбова В.В., Жерновский И.В., Строкова В.В., Безродных М.В. Силикатные материалы автоклавного твердения с наноструктурированным модификатором в условиях высокотемпературных воздействий // *Строительные материалы*. 2012. № 9. С. 8–9.
83. Калашников В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 70–71.
67. Lukuttsova N.P. Nanomodifying additives to concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 101–104. (In Russian).
68. Strokov V.V., Solov'eva L.N., Maksakov A.V., Ogurtsova Yu.N. Mechanism of structure formation of building composites with a granulated nanostructuring filler. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 9, pp. 64–65. (In Russian).
69. Veshnyakova L.A., Frolova M.A., Ayzenshtadt A.M., Lesovik V.S., Makhova T.A. Evaluation of energetic state of raw material for production of building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10, pp. 53–55. (In Russian).
70. Lesovik V.S., Frolova M.A., Ayzenshtadt A.M. Surface activity of rocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 11, pp. 71–72. (In Russian).
71. Tutygin A.S., Ayzenshtadt A.M., Lesovik V.S., Frolova M.A., Bobrova M.P. Design of compositions of building composites with due regard for thermodynamic compatibility of fine grained systems of rocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 3, pp. 74–75. (In Russian).
72. Grishina A.N., Korolev E.V. Durability of water glass composites hardened with ferroboron slag. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 6, pp. 68–70. (In Russian).
73. Lesovik V.S., Vysotskaya M.A., Yadykina V.V., Kukhnetsov D.A. Nanotechnology in the road construction industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 1, pp. 52–53. (In Russian).
74. Khvostenkov S.I. Intensification of production of autoclave materials by mechano-chemical activation of raw mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 12, pp. 8–11. (In Russian).
75. Artamonova A.V. Optimization of physical and technical properties of the cement produced in the centrifugal and shock mill. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 11, pp. 70–71. (In Russian).
76. Ogr L.Yu., Strokov V.V., LI Yaho, Zang Baode Inheritance of structure of nanodimensional inorganic fillers by polymer composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 9, pp. 75–77. (In Russian).
77. Pavlenko N.V., Cherevatova A.V., Strokov V.V. Features of production of rational porous structure of foam concrete on the basis of nanostructured binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 10, pp. 33–36. (In Russian).
78. Sukhanov A.S., Lupanov A.P., Silkin A.V., Kobdratieva T.N. Production of activated mineral powder in centrifugal-impact mill. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 11, pp. 12–14. (In Russian).
79. Voytovich V.A., Khryapchenkov I.N., Yavorsky A.A. Nanotechnology in production of silicate brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 2, pp. 60–61. (In Russian).
80. Strokov V.V., Pavlenko N.V., Miroshnikov E.I. Complex system of monitoring and control over the process of a nanostructured binder obtaining. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 5, pp. 54–56. (In Russian).
81. Verkhovskii A.A., Nanasov I.I., Elizarova E.V., Gal'tsev D.I., Shcheredin V.V. Multifunctional glass as a factor of energy saving. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 6, pp. 44–46. (In Russian).
82. Nelyubova V.V., Zhernovskii I.V., Strokov V.V., Bezrodnykh M.V. Silicate materials of autoclave hardening with a nanostructured modifier under conditions of high-temperature effects. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 9, pp. 8–9. (In Russian).

84. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 53–55.
85. Строкова В.В., Жерновский И.В., Максаков А.В., Соловьева Л.Н., Огурцова Ю.Н. Экспресс-метод определения активности кремнеземистого сырья для получения гранулированного наноструктурирующего заполнителя // *Строительные материалы*. 2013. № 1. С. 38–39.
86. Строкова В.В., Жерновский И.В., Огурцова Ю.Н., Максаков А.В. Особенности проектирования строительных композитов на основе гранулированного наноструктурирующего заполнителя // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 16–19.
87. Гордина А.Ф., Токарев Ю.В., Яковлев Г.И., Керене Я., Спудулис Э. Различия в формировании структуры гипсового вяжущего, модифицированного углеродными нанотрубками и известью // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 34–37.
88. Морси М., Элкодари С.А., Шэбл С.С. Свойства термостойких углеродных нанотрубок, полученных методом электродугового синтеза (МЭДС) // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 44–47.
89. Шлегель И.Ф. О строении глин // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 56.
90. Селяев В.П., Неверов В.А., Маштаев О.Г., Сидоров В.В. Микроструктура теплоизоляционных материалов на основе тонкодисперсных минеральных порошков // *Строительные материалы*. 2013. № 8. С. 79–80.
91. Тутыгин А.С., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Фролова М.А., Боброва М.П. Проектирование состава строительных композитов с учетом термодинамической совместимости высокодисперсных систем горных пород // *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 74–75.
92. Фаликман В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве строительных материалов // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 77–81.
93. Эберхардштайнер Д., Лахайн О. Исследования наноденторами бетона, модифицированного углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 21–24.
94. Строкова В.В., Нелюбова В.В., Данакин Н.С., Васнева В.А. Опыт реализации концепции непрерывной подготовки специалистов школы – вуз – предприятие в области наносистем в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2014. № 6. С. 25–30.
95. Скрипникова Н.К., Сазонова Н.А. Прочность цементного камня на основе наноструктурированного вяжущего вещества // *Строительные материалы*. 2014. № 6. С. 38–40.
96. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. 224 с.
97. Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция твердого вещества. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2010. 310 с.
98. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Береговой В.А. Модифицирование строительных материалов нанокремнеземными трубками и фуллеренами // *Строительные материалы*. 2006. № 9 / Наука. № 8. С. 2–4.
99. Лотов В.А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий // *Строительные материалы*. 2006. № 9 / Наука. № 8. С. 5–7.
100. Наседкин В.В. Бентонит как природный наноматериал в строительстве // *Строительные материалы*. 2006. № 9 / Наука. № 8. С. 8–10.
83. Kalashnikov V.I. What is the powder-activated concrete of new generation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10, pp. 70–71. (In Russian).
84. Veshnyakova L.A., Frolova M.A., Aizenshtadt A.M., Lesovik V.S., Mikhailova O.N., Makhova T.A. Evaluation of energetic state of raw material for production of building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10, pp. 53–55. (In Russian).
85. Strokov V.V., Zhernovskii I.V., Maksakov A.V., Solov'eva L.N., Ogurtsova Yu.N. Express-method for determination of activity of silicious raw material for production of a granulated nanostructuring filler. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 1, pp. 38–39. (In Russian).
86. Strokov V.V., Zhernovskii I.V., Ogurtsova Yu.N., Maksakov A.V. Peculiarities of design of construction materials involving granular nanostructured aggregate. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 16–19. (In Russian).
87. Gordina A.F., Tokarev Yu.V., Yakovlev G.I., Kerene Ya., Spudulis E. Differences in forming the structure of gypsum binder modified by carbon nanotubes and lime. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 34–37. (In Russian).
88. Morsi M., Elkodari S.A., Shebl S.S. Synthesis and characterization of thermally stable carbon nano-tubes using arc-discharge technique. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 44–47. (In Russian).
89. Shlegel' I.F. About the structure of clays. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 56. (In Russian).
90. Selyaev V.P., Neverov V.A., Mashtayev O.G., Sidorov V.V. Microstructure of heat insulation materials on the basis of fine-dispersed mineral powders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 8, pp. 79–80. (In Russian).
91. Tutygin A.S., Ayzenshtadt A.M., Lesovik V.S., Frolova M.A., Bobrova M.P. Design of compositions of building composites with due regard for thermodynamic compatibility of fine grained systems of rocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 3, pp. 74–75. (In Russian).
92. Falikman V.R. Nanomaterials and nanotechnologies in manufacturing building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 9, pp. 77–81. (In Russian).
93. Eberhardsteiner J., Lahayne O. Nano-tests on concrete samples with and without nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 21–24. (In Russian).
94. Strokov V.V., Nelubova V.V., Danakin N.S., Vasneva V.A. Experience of implementation of continuous training of specialists «school – university – enterprise» in the field of nanosystems in building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 6, pp. 25–30. (In Russian).
95. Skripnikova N.K., Sazonova N.A. Strength of cement stone on the basis of a nano-structured binding agent. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 6, pp. 38–40. (In Russian).
96. Mchedlov-Petrosyan O.P. Khimiya neorganicheskikh stroitel'nykh materialov [Chemistry of inorganic building materials]. Moscow: Publishing house of literature on construction, 1971. 224 p.
97. Melikhov I.V. Fiziko-khimicheskaya evolyutsiya tverdogo veshchestva [Physical and chemical evolution of the solid]. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy, 2010. 310 p.
98. Korolev E.V., Bazhenov Yu.M., Beregovoi V.A. Modification of building materials nanocarbon tubes and fullerenes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 9. Application Nauka No. 8, pp. 2–4. (In Russian).

101. Исследования и технология цемента и материалов на его основе на наноуровне // *Строительные материалы*. 2007. № 1. С. 50–51.
102. Пономарев А.Н. Нанобетон: концепция и проблемы // *Строительные материалы*. 2007. № 6. С. 69–70.
103. Дугуев С.В., Иванова В.Б. Тонкое и сверхтонкое измельчение твердых материалов – путь к нанотехнологиям // *Строительные материалы*. 2007. № 11. С. 29–31.
104. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Коротких Д.Н., Makeev A.I., Potamoshneva N.D., Slavcheva G.S. Приложения нанохимии в технологии твердофазных строительных материалов: научно-инженерная проблема, направления и примеры реализации // *Строительные материалы*. 2008. № 2. С. 32–36.
105. Хозин В.Г., Низамов Р.К. Полимерные нанокomпозиты строительного назначения // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 32–35.
106. Калашников В.И. Терминология науки о бетоне нового поколения // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 103–106.
107. Абдрахманова Л.А. Наномодификаторы для строительных материалов на основе линейных и сетчатых полимеров // *Строительные материалы*. 2011. № 7. С. 61–63.
108. Толмачев С.Н., Беличенко Е.А. Повышение долговечности тяжелого бетона путем комплексной активации структурных уровней // *Строительные материалы*. 2012. № 9. С. 76–78.
109. Баженов Ю.М., Королев Е.В. Оценка технико-экономической эффективности нанотехнологий в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 66–67.
110. Коротких Д.Н. Дисперсное армирование структуры бетона при многоуровневом трещинообразовании // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 96–99.
111. Баженов Ю.М., Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 6–14.
112. Артамонова О.В., Чернышов Е.М. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Ч. 1. Общие проблемы фундаментальности, основные направления исследований и разработок // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 82–90.
113. Чернышов Е.М., Артамонова О.В. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Ч. 2. К проблеме концептуальных моделей наномодифицирования структуры // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 73–83.
114. Габидуллин М.Г., Хузин А.Ф., Рахимов Р.З., Ткачев А.Г., Михалева З.А., Толчков Ю.Н. Ультразвуковая обработка – эффективный метод диспергирования углеродных нанотрубок в объеме строительного композита // *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 57–59.
115. Яковлев Г.И., Политаева А.И., Шайбадуллина А.В., Гордина А.Ф., Абалтусова Т.А., Федорова Г.Д. Устойчивость водных дисперсий многослойных углеродных нанотрубок // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 8–11.
116. Королев Е.В., Кувшинова М.И. Параметры ультразвука для гомогенизации дисперсных систем с наноразмерными модификаторами // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 85–88.
99. Lotov V.A. Nanoparticle systems in construction of materials and products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 9. Application Nauka No. 8, pp. 5–7. (In Russian).
100. Nasedkin V.V. Bentonite as a natural nanomaterial in construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 9. Application Nauka No. 8, pp. 8–10. (In Russian).
101. Research and technology of cement and materials based on it at the nanoscale. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 1, pp. 50–51. (In Russian).
102. Ponomarev A.N. Nanoconcrete: concept and problems. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 6, pp. 69–70. (In Russian).
103. Duguev S.V., Ivanova V.B. Thin and superthin grinding of hard materials – the way to nanotechnology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 11, pp. 29–31. (In Russian).
104. Chernyshov E.M., Artamonova O.V., Korotkikh D.N., Makeev A.I., Potamoshneva N.D., Slavcheva G.S. Nanochemistry applications in solid-state technology of building materials: scientific engineering problem, direction and implementation examples. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 2, pp. 32–36. (In Russian).
105. Khozin V.G., Nizamov R.K. Polymer nanocomposites for construction purpose. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 8, pp. 32–35. (In Russian).
106. Kalashnikov V.I. Terminology of science of new generation of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 3, pp. 103–106. (In Russian).
107. Abdrakhmanova L.A. Nanomodifiers for building materials on the basis of linear and cross-linked polymers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 7, pp. 61–63. (In Russian).
108. Tolmachev S.N., Belichenko E.A. Improvement of durability of heavy concrete by complex activation of structural levels. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 9, pp. 76–78. (In Russian).
109. Bazhenov Yu.M., Korolev E.V. Estimation of technical and economic efficiency of nanotechnologies in building materialogy. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 66–67. (In Russian).
110. Korotkikh D.N. Disperse reinforcement of concrete structure at multilevel cracks formation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 3, pp. 96–99. (In Russian).
111. Bazhenov Yu.M., Chernyshov E.M., Korotkikh D.N. Designing of modern concrete structures: determining principles and technological platforms. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 6–14. (In Russian).
112. Artamonova O.V., Chernyshov E.M. Concepts and bases of technologies of nano-modification of building composite structures. part 1. general problems of fundamentality, main direction of investigations and developments. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 9, pp. 82–90. (In Russian).
113. Chernyshev E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Conceptions and bases of nano-modification technologies of building composites structures. Part 2: On the problem of conceptual models of nano-modifying the structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 73–83. (In Russian).
114. Gabidullin M.G., Khuzin A.F., Rakhimov R.Z., Tkachev A.G., Mikhaleva Z.A., Tolchikov Yu.N. Ultrasound treatment is an efficient method of dispersion of carbon nanotubes in a volume of a building composite. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 3, pp. 57–59. (In Russian).
115. Yakovlev G.I., Politaeva A.I., Shaibadullina A.V., Gordina A.F., Abaltusova T.A., Fedorova G.D. Stability of aqueous dispersions of multi-walled carbon nano-

117. Королев Е.В., Иноземцев А.С. Эффективность физических воздействий для диспергирования наноразмерных модификаторов // *Строительные материалы*. 2012. № 4. С. 76–79.
118. Ультразвук. Малая энциклопедия / Под ред. И.П. Голямина. М.: Советская энциклопедия, 1979. 400 с.
119. Королев Е.В. Оценка концентрации первичных наноматериалов для модифицирования строительных композитов // *Строительные материалы*. 2014. № 6. С. 31–34.
120. Маева И.С., Яковлев Г.И., Первущин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П. Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 4–5.
121. Яковлев Г.И., Первущин Г.Н., Маева И.С., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Мачюлайтис Р. Модификация ангидритовых композиций многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2010. № 7. С. 25–27.
122. Хазеева Д.Р., Гордина А.Ф., Маева И.С., Яковлев Г.И., Бурьянов А.Ф. Влияние техногенных дисперсных отходов на структуру и свойства композитов на основе сульфата кальция // *Строительные материалы*. 2011. № 6. С. 6–7.
123. Гончигова Е.В., Архинчеева Н.В., Доржиева Е.В. Наномодифицирование цементного камня введением многокомпонентного золя // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 68–69.
124. Нелубова В.В., Строкова В.В., Павленко Н.В., Жерновский И.В. Строительные композиты с применением наноструктурированного вяжущего на основе сырья различных генетических типов // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 11–15.
125. Лесовик В.С., Потапов В.В., Алфимова Н.И., Ивашова О.В. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 60–61.
126. Павленко Н.В., Бухало А.Б., Строкова В.В., Нелубова В.В., Сумин А.В. Модифицированное вяжущее с использованием нанокристаллических компонентов для ячеистых композитов // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 20–24.
127. Гордина А.Ф., Полянских И.С., Токарев Ю.В., Бурьянов А.Ф. Водостойкие гипсовые материалы, модифицированные цементом, микрокремнеземом и наноструктурами // *Строительные материалы*. 2014. № 6. С. 35–37.
128. Шаповалов Н.А., Строкова В.В., Череватова А.В. Оптимизация структуры наносистем на примере высококонцентрированной керамической вяжущей суспензии // *Строительные материалы*. 2006. № 9 / Наука. № 8. С. 16–17.
129. Хозин В.Г., Старовойтова И.А., Майсурадзе Н.В., Зыкова Е.С., Халикова Р.А., Корженко А.А., Тринеева В.В., Яковлев Г.И. Наномодифицирование полимерных связующих для конструкционных композитов // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 4–10.
130. Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Барабаш Д.Е. Наноструктурированные дорожно-строительные материалы на основе органических вяжущих // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 63–64.
131. Старовойтова И.А., Хозин В.Г., Корженко А.А., Халикова Р.А., Зыкова Е.С. Структурообразование в органо-неорганических связующих, модифицированных концентратами многослойных углеродных нанотрубок // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 12–20.
- tubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 1–2, pp. 8–11. (In Russian).
116. Korolev E.V., Kuvshinova M.I. Parameters of ultrasound for homogenization of disperse system with nano-sized modifiers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 85–88. (In Russian).
117. Korolev E.V., Inozemtsev A.S. Efficiency of physical influences for dispersion of nano-sized modifiers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 4, pp. 76–79. (In Russian).
118. Ultrasound. Small Encyclopedia. Ed. Golyamina I.P. Moscow: Soviet Encyclopedia, 1979. 400 p.
119. Korolev E.V. Assessment of primary nano-materials concentration for modification of building composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 6, pp. 31–34. (In Russian).
120. Maeva I.S., Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Buryanov A.F., Pustovgar A.P. Structuring of anhydrite matrix with nanodisperse modifying additives. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 4–5. (In Russian).
121. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Maeva I.S., Korzhenko A., Buryanov A.F., Machyulaytis R. Modification of anhydrite compositions with multilayer carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 7, pp. 25–27. (In Russian).
122. Petropavlovskaya V.B., Belov V.V., Novichenkova T.B., Burianov A.F. Regularities of Influence of grain composition on properties of raw mixes of pressed gypsum materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 6, pp. 6–7. (In Russian).
123. Gonchikova E.V., Arkhincheeva N.V., Dorzhieva E.V. Nanomodification of cement stone by introduction of multicomponent sol. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 9, pp. 68–69. (In Russian).
124. Nelubova V.V., Strokova V.V., Pavlenko N.V., Zhernovsky I.V. Construction composites using of nano-structured binder based on raw of varying genetic types. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 11–15. (In Russian).
125. Lesovik V.V., Potapov V.V., Alfimova N.I., Ivashova O.V. Improvement of efficiency of binders using nanomodifiers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 12, pp. 60–61. (In Russian).
126. Pavlenko N.V., Bukhalo A.B., Strokova V.V., Nelubova V.V., Sumin A.V. Nanocrystalline components based modified binder for cellular composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 20–24. (In Russian).
127. Gordina A.F., Polyanskikh I.S., Tokarev Yu.V., Bur'yanov A.F., Sen'kov S.A. Waterproof gypsum materials modified by cement, microsilica, and nanostructures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 6, pp. 35–37. (In Russian).
128. Shapovalov N.A., Strokova V.V., Cherevatova A.V. Optimization of the structure of nanosystems on the example of highly concentrated ceramic binder suspensions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 9. Application Nauka No. 8, pp. 16–17. (In Russian).
129. Khozin V.G., Starovoitova I.A., Maisuradze N.V., Zyкова E.S., Khalikova R.A., Korzhenko A.A., Trineeva V.V., Yakovlev G.I. Nanomodification of polymer binders for constructional composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 9, pp. 4–10. (In Russian).
130. Vysotskaya M.A., Kuznetsov D.A., Barabash D.E. Nano-structured road building materials on the basis of organic binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 63–64. (In Russian).
131. Starovoitova I.A., Khozin V.G., Korzhenko A.A., Khalikova R.A., Zyкова E.S. Structure formation in organic-inorganic multiwall carbon nanotubes modified

132. Пухаренко Ю.В., Никитин В.А., Летенко Д.Г. Наноструктурирование воды затворения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонной смеси // *Строительные материалы*. 2006. № 9 / Наука. № 8. С. 11–13.
133. Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Исследования закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 63–64.
134. Королев Е.В., Гришина А.Н. Синтез и исследование наноразмерной добавки для повышения устойчивости пен на синтетических пенообразователях для пенобетона // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 30–33.
135. Гришина А.Н., Королев Е.В., Сатюков А.Б. Синтез и исследование устойчивости золь гидросиликатов бария // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 91–93.
136. Александров Г.Н., Федорова Г.Д. Микроскопическое исследование дисперсий многослойных углеродных нанотрубок // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 25–29.
137. Комохов П.Г. Золь-гель как концепция нанотехнологии цементного композита // *Строительные материалы*. 2006. № 9 / Наука. № 8. С. 14–15.
138. Юдович М.Е., Пономарев А.Н., Великорусов П.В., Емелин С.В. Регулирование свойств и прочности бетонов // *Строительные материалы*. 2007. № 1. С. 56–57.
139. Строкова В.В., Череватова А.В., Нелюбова В.В. Силикатные автоклавные материалы на основе высококонцентрированной вяжущей суспензии // *Строительные материалы*. 2007. № 10. С. 16–17.
140. Строкова В.В., Бухало А.В. Пенногазобетон на нанокристаллическом порообразователе // *Строительные материалы*. 2008. № 1. С. 38–39.
141. Юдович М.Е., Пономарев А.Н., Гареев С.И. Поверхностно-активные свойства модифицированных пластификаторов // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 44–45.
142. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Крутиков Г.А., Макарова И.С., Керене Я., Фишер Х.-Б., Бурьянов А.Ф. Газобетон на основе фторангидрита, модифицированный углеродными наноструктурами // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 70–72.
143. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Колодов В.И., Крутиков Г.А., Фишер Х.-Б., Керене Я. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2009. № 3. С. 99–102.
144. Ваганов В.Е., Захаров В.Д., Баранова Ю.В., Закревская Л.В., Абрамов Д.В., Ногтев Д.С., Козий В.Н. Структура и свойства ячеистого газобетона, модифицированного углеродными наноструктурами // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 59–61.
145. Толмачев С.Н., Беличенко Е.А., Холодный А.Г. Технологические, механические и структурные характеристики цементных систем с углеродными коллоидными частицами // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 96–100.
146. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Пудов И.А., Лущникова А.А. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2011. № 2. С. 47–51.
147. Толмачев С.Н., Беличенко Е.А., Мисько Т.М. Исследование механизма структурообразования прессованных цементно-песчаных бетонов с углеродными наночастицами // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 61–63.
- binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 12–20. (In Russian).
132. Pukharenko Yu.V., Nikitin V.A., Letenko D.G. Nanostructuring gauging water as a way to increase the efficiency of concrete plasticizers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 9. Application Nauka No. 8, pp. 11–13. (In Russian).
133. Loganina V.I., Davydova O.A., Simonov E.E. Investigation of regularities of influence of silicic acid sol on structure and properties of diatomite. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 12, pp. 63–64. (In Russian).
134. Korolev E.V., Grishina A.N. Development and research of a nanodimensional stabilizer additive for foams based on synthetic foamers for foam concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 30–33. (In Russian).
135. Grishina A.N., Korolev E.V., Satyukov A.B. Synthesis and study of stability of barium hydrosilicate sols. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 9, pp. 91–93. (In Russian).
136. Aleksandrov G.N., Fedorova G.D. Microscopic research of multiwalled carbon nanotubes dispersion. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 25–29. (In Russian).
137. Komokhov P.G. Sol-gel as the concept of nanotechnology cement composite. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 9. Application Nauka No. 8, pp. 14–15. (In Russian).
138. Yudovich M.E., Ponomarev A.N., Velikorussov P.V., Emelin S.V. Regulation of the properties and durability of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 1, pp. 56–57. (In Russian).
139. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Nelyubova V.V. Autoclave silicate materials based on a highly concentrated suspension of binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 10, pp. 16–17. (In Russian).
140. Strokova V.V., Bukhalo A.V. Foam-gas-concrete on nanocrystalline porogen. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 1, pp. 38–39. (In Russian).
141. Yudovich M.E., Ponomarev A.N., Gareev S.I. Surface-active properties of the modified plasticizing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 44–45. (In Russian).
142. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Krutikov G.A., Makarova I.S., Kerene Ya., Fisher Kh.-B., Bur'yanov A.F. Aerated concrete based on fluorine anhydrite modified carbon nanostructures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 70–72. (In Russian).
143. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Buryanov A.F., Kodo-lov V.I., Krutikov V.A., Fisher H.-B., Kerene Ya. Modification of porous cement matrixes with carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 3, pp. 99–102. (In Russian).
144. Vaganov V.E., Zakharov V.D., Baranova Yu.V., Zakrevskaya L.V., Abramov D.V., Nogtev D.S., Koziy V.N. Structure and properties of cellular gas concrete modified with carbon nanostructures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 59–61. (In Russian).
145. Tolmachev S.N., Belichenko E.A., Kholodny A.G. Technological, mechanical and structural characteristics of cement systems with carbon colloidal particles. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 96–100. (In Russian).
146. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Korzhenko A., Buri-yanov A.F., Pudov I.A., Lushnikova A.A. Modification of cement concretes with multilayer carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 2, pp. 47–51. (In Russian).
147. Tolmachev S.N., Belichenko E.A., Mis'ko T.M. Research in mechanism of structure formation of pressed

148. Езерский В.А., Монастырев П.В., Кузнецова Н.В., Стерхов И.И. Перспективы применения наномодифицированного бетона // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 70–71.
149. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Пудов И.А., Дулессова И.Г., Бурьянов А.Ф., Сабер М. Структуризация цементных вяжущих матриц многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2011. № 11. С. 22–24.
150. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Бардаханов С.П. Бетон повышенной прочности на композиционном вяжущем // *Строительные материалы*. 2012. № 3. С. 23–25.
151. Павленко Н.В., Строкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Нелюбова В.В., Капуста М.Н. Эффективность применения наноструктурированного вяжущего при получении ячеистых композитов // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 12–13.
152. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Керене Я., Маева И.С., Хазеев Д.Р., Пудов И.А., Сеньков С.А. Применение дисперсий многослойных углеродных нанотрубок при производстве силикатного газобетона автоклавного твердения // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 25–29.
153. Федорова Г.Д., Саввина А.Е., Яковлев Г.И., Маева И.С., Сеньков С.А. Оценка полифункционального модификатора бетона ПФМ-НЛК в качестве сурфактанта при диспергации углеродных нанотрубок // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 48–51.
154. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Керене Я., Полянских И.С., Пудов И.А., Хазеев Д.Р., Сеньков С.А. Комплексная добавка на основе углеродных нанотрубок и микрокремнезема для модификации газосиликата автоклавного твердения // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 3–7.
155. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Структурообразование и свойства конструкционных высокопрочных легких бетонов с применением наномодификатора BisNanoActivus // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 33–37.
156. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Мороз М.Н., Троянов И.Ю., Володин В.М., Суздальцев О.В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 88–91.
157. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Полянских И.С., Сеньков С.А., Пудов И.А., Мохамед А.Е. Бетон повышенной долговечности для производства опор линий электропередачи // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 92–94.
158. Хамова Т.В., Шилова О.А., Власов Д.Ю., Михальчук В.М., Франк-Каменецкая О.В., Маругин А.М., Долматов В.Ю. Биоактивные микро- и нанокомпозиты для строительных материалов, формируемых золь-гель-методом // *Строительные материалы*. 2007. № 4. С. 86–88.
159. Логанина В.И., Давыдова О.А. Известковые отделочные составы на основе золь-гель-технологии // *Строительные материалы*. 2009. № 3. С. 50–51.
160. Логанина В.И., Прошина Н.А., Давыдова О.А. Золь-гель-технология для синтеза кремниосодержащей добавки известковых отделочных составов // *Строительные материалы*. 2009. № 7. С. 48–49.
161. Низина Т.А., Кисляков П.А. Оптимизация свойств эпоксидных композитов, модифицированных наночастицами // *Строительные материалы*. 2009. № 9. С. 78–80.
- cement-sand concretes with carbon nanoparticles. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 9, pp. 61–63. (In Russian).
148. Ezerskii V.A., Monastyrev P.V., Kuznetsova N.V., Sterkhov I.I. Prospects of the use of nano-modified concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 9, pp. 70–71. (In Russian).
149. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Pudov I.A., Dulesova I.G., Burianov A.F., Saber M. Structuring of cement binding matrixes with multi-layer carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 11, pp. 22–24. (In Russian).
150. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Bardakhanov S.P. Heavy-duty concrete with composite binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 3, pp. 23–25. (In Russian).
151. Pavlenko N.V., Strokova V.V., Cherevatova A.V., Zhernovskii I.V., Nelyubova V.V., Kapusta M.N. Efficiency of using the nanostructured binder for production of cellular concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 6, pp. 12–13. (In Russian).
152. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Korzhenko A., Buryanov A.F., Keriene J.A.K., Maeva I.S., Chazeev D.R., Pudov I.A., Senkov S.A. Applying multi-walled carbon nanotubes dispersions in producing autoclaved silicate cellular concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 25–29. (In Russian).
153. Fedorova G.D., Savvina A.E., Yakovlev G.I., Maeva I.S., Senkov S.A. Estimation of the multifunctional modifier of PFM-NLK concrete as surfactant at carbon nanotubes dispersion. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 48–51. (In Russian).
154. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Keriene J.A., Polyanskikh I.S., Pudov I.A., Chazeev D.R., Senkov S.A. Complex additive based on carbon nanotubes and silica fume for modifying autoclaved aerated gas silicate. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 3–7. (In Russian).
155. Inozemtcev A.S., Korolev E.V. Structuring and properties of the structural high-strength lightweight concretes with nanomodifier BisNanoActivus. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 33–37. (In Russian).
156. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Moroz M.N., Troyanov I.Yu., Volodin V.M., Suzdal'tsev O.V. Nanohydro-silicate technologies in concrete production. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 88–91. (In Russian).
157. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Polyanskikh I.S., Senkov S.A., Pudov I.A., Mohamed A.E. Concrete of enhanced durability for production of pillars of power lines. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 92–94. (In Russian).
158. Khamova T.V., Shilova O.A., Vlasov D.Yu., Mikhail'chuk V.M., Frank-Kamenetskaya O.V., Marugin A.M., Dolmatov V.Yu. Bioactive micro- and nanocomposites for building materials formed sol-gel method. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 4, pp. 86–88. (In Russian).
159. Loganina V.I., Davydova O.A. Lime finishing compositions on the basis of sol-gel technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 3, pp. 50–51. (In Russian).
160. Loganina V.I., Proshina N.A., Davydova O.A. Sol-gel technology for synthesis of silicon containing additive to lime finishing compositions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 7, pp. 48–49. (In Russian).
161. Nizina T.A., Kislyakov P.A. Optimization of epoxy composites properties with modified nanoparticles. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 9, pp. 78–80. (In Russian).

162. Бурнашев А.И., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К., Хозин В.Г., Колесникова И.В., Фахрутдинова В.Х. Наномодифицированная древесная мука – эффективный наполнитель поливинилхлоридных композиций // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 72–74.
163. Яковлев Г.И., Полянских М.С., Мачюлайтис Р., Керене Я., Малайшкене Ю., Кизиневич О., Шайбадулина А.В., Гордина А.Ф. Наномодифицирование керамических материалов строительного назначения // *Строительные материалы*. 2013. № 4. С. 62–64.
164. Женжурист И.А. Перспективные направления наномодифицирования в строительной керамике // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 36–39.
165. Строчкова В.В., Лесовик Р.В. Оценка микроструктуры строительных композитов // *Строительные материалы*. 2007. № 3 / Наука. № 9. С. 22–24.
166. Жерновский И.В., Нелюбова В.В., Череватова А.В., Строчкова В.В. Особенности фазообразования в системе  $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  в присутствии наноструктурированного модификатора // *Строительные материалы*. 2009. № 11. С. 100–102.
167. Жерновский И.В., Строчкова В.В., Мирошников Е.В., Бухало А.Б., Кожухова Н.И., Уварова С.С. Некоторые возможности применения полнопрофильного РФА в задачах строительного материаловедения // *Строительные материалы*. 2010. № 13. С. 102–105.
168. Макарова Л.В., Тарасов Р.В., Королева О.В., Грачева Ю.В. Выбор перспективных методов оптимизации свойств строительных материалов на основе критериального анализа // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 76–79.
169. Гаркави М.С., Некрасова С.А., Трошкина Е.А. Кинетика формирования контактов в наномодифицированных гипсовых материалах // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 38–40.
170. Строчкова В.В., Нелюбова В.В., Алтынник Н.И., Жерновский И.В., Осадчий Е.Г. Фазообразование в системе цемент–известь–кремнезем в гидротермальных условиях с использованием наноструктурированного модификатора // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 30–32.
162. Burnashev A.I., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K., Khozin V.G., Kolesnikova I.V., Fakhrutdinova V.Kh. Nanomodified wood flour is an efficient filler of polyvinylchloride compositions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 9, pp. 72–74. (In Russian).
163. Yakovlev G.I., Polyanskikh M.S., Machyulaytis R., Kerene Ya., Malayshkene Yu., Kizinevich O., Shaybadullina A.V., Gordina A.F. Nanomodification of ceramic materials for construction purposes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 4, pp. 62–64. (In Russian).
164. Zhenzhurist I.A. Prospective directions of nano-modification in building ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 36–39. (In Russian).
165. Strokova V.V., Lesovik R.V. Evaluation of the microstructure of composites construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 3. Application Nauka No. 9, pp. 22–24. (In Russian).
166. Zhernovskiy I.V., Nelyubova V.V., Cherevatova A.V., Strokova V.V. Features of phase formation in the system of  $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  in presence of nanostructured modifier. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 11, pp. 100–102. (In Russian).
167. Zhernovskiy I.V., Strokova V.V., Miroshnikov E.V., Bukhalo A.B., Kozhukhova N.I., Uvarova S.S. Certain possibilities to use the complete xpa in tasks of building materials science. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 3, pp. 102–105. (In Russian).
168. Makarova L.V., Tarasov R.V., Koroleva O.V., Gracheva Yu.V. Choice of perspective methods of optimization of building materials properties on the basis of criterion analysis. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 12, pp. 76–79. (In Russian).
169. Garkavi M.S., Nekrasova S.A., Troshkina E.A. Kinetics of contact formation in nano-modified gypsum materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 38–40. (In Russian).
170. Strokova V.V., Nelyubova V.V., Altynnik N.I., Zhernovskiy I.V., Osadchy E.G. Phase formation in cement-lime-silica system under hydrothermal conditions with the use of a nanostructured modifier. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 9, pp. 30–32. (In Russian).

## 20–23 января 2015 | Красноярск



# XXIII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА СТРОИТЕЛЬСТВО АРХИТЕКТУРА

**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ,  
ОТДЕЛКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ**

**ВПЕРВЫЕ!**  
Одновременно пройдет выставка строительной техники и оборудования  
«ТехСтройЭкспо!»

**5 ПРИЧИН УЧАСТВОВАТЬ В ВЫСТАВКЕ**

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



Организованная поддержка:



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

**0+**