

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

60 ЛЕТ С ОТРАСЛЬЮ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №11



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ISSN 0585-430X ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU НОЯБРЬ 2015 г. (731)

Темы номера:

- ♦ дорожное строительство
- ♦ нанотехнологии для ПСМ
- ♦ современные бетоны



Научные разработки в практику строительства



ЗАВОД
ТЕХПРИБОР

Тульская обл., г. Щекино
ПРЕДЛАГАЕТ

МЕЛЬНИЦЫ «ТРИБОКИНЕТИКА»



miningworld
RUSSIA

Диплом за лучшую
мельницу тонкого помола*

ОСМ 2015

Диплом за лучший
мельничный комплекс



*Всё
перемелется!*

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



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

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

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 11

Основан в 1955 г.

(731) ноябрь 2015 г.

Главный редактор:

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
 журнал «Строительные материалы»®, 2015

**Специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»
 Брянского государственного инженерно-технологического университета 55 лет**

Специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» Брянского государственного инженерно-технологического университета 55 лет (Информация) 4

**Н.П. ЛУКУТЦОВА, О.А. ПОСТНИКОВА, Г.Н. СОБОЛЕВА, Д.В. РОТАРЬ, Е.В. ОГЛОБЛИНА
 Фотокаталитическое покрытие на основе добавки
 нанодисперсного диоксида титана 5**

**Е.Г. КАРПИКОВ, В.С. ЯНЧЕНКО, Е.Л. КОРОЛЕВА, С.М. СЕМИЧЕВ,
 В.И. НОВИКОВА, А.С. ПАТУГИН
 Экстремальное моделирование оптимального состава
 и содержания микронаполнителя в бетоне 9**

**Е.Ю. ГОРНОСТАЕВА, И.А. ЛАСМАН, Е.А. ФЕДОРЕНКО, Е.В. КАМОЗА
 Древесно-цементные композиции с модифицированной
 структурой на макро-, микро- и наноуровнях 13**

**Н.П. ЛУКУТЦОВА, А.Г. УСТИНОВ, И.Ю. ГРЕБЕНЧЕНКО
 Новый вид модификатора структуры бетона –
 добавка на основе биосилифицированных нанотрубок 17**

**А.А. ПЫКИН, С.В. ВАСЮНИНА, А.А. КАЛУГИН, А.А. СПОДЕНЕЙКО,
 Ю.А. АВЕРЬЯНЕНКО, М.Н. АЛЕКСАНДРОВА
 Повышение эффективности крупнопористого керамзитобетона
 нанодисперсными добавками 20**

**Л.И. ЕВЕЛЬСОН, Н.П. ЛУКУТЦОВА, А.Н. НИКОЛАЕНКО, Е.Н. ХОМЯКОВА, Я.А. РИВОНЕНКО
 Некоторые практические аспекты фрактального моделирования
 структуры нанокомпозиционного материала 24**

Материалы для дорожного строительства

**И.Ю. МАРКОВА, СТРОКОВА В.В., Т.В. ДМИТРИЕВА
 Влияние зол-уноса на вязкоупругие характеристики дорожного битума 28**

**А.В. КОЧЕТКОВ, Л.В. ЯНКОВСКИЙ, Н.Е. КОКОДЕЕВА, Ш.Н. ВАЛИЕВ
 Проектирование легких насыпей на слабых основаниях
 с применением геокомпозиционных материалов
 для строительства транспортных сооружений 33**

**Н.Н. СИНИЦЫН, А.В. МАКОНКОВ
 Оценка температуры поверхности дорожного покрытия
 в процессе строительства 38**

**Компания «КНАУФ» в Казахстане: производство материалов,
 обучение, социальная ответственность (Информация) 42**

**e^Рbos® – программное обеспечение для планирования ресурсов предприятий –
 производителей железобетонных изделий (Информация) 46**

**Долгожданная встреча специалистов строительной индустрии
 состоялась на 19. ibausil (Информация) 50**

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

STROYMATERIALY® No. 11

Founded in 1955

(731) November 2015 r.

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Specialties «Production of Construction Materials, Products and Projects» of Bryansk State Engineering-Technological University: 55 Years

Specialties «Production of Construction Materials, Products and Projects» of Bryansk State Engineering-Technological University: 55 Years (Information)..... 4

N.P. LUKUTTSOVA, O.A. POSTNIKOVA, G.N. SOBOLEVA, D.V. ROTAR', E.V. OGLOBLINA

Photo-Catalytic Pavement on the Basis of Additive of Nano-Disperse Titanium Dioxide 5

E.G. KARPIKOV, V.S. YANCHENKO, E.L. KOROLEVA,
S.M. SEMICHEV, V.I. NOVIKOVA, A.S. PATUGIN

Extreme Simulation of Optimal Composition and Content of Micro-Filler in Concrete 9

E.Yu. GORNOSTAEVA, I.A. LASMAN, E.A. FEDORENKO, E.V. KAMOZA

Wood-Cement Compositions with Structures Modified at Macro-, Micro-, and Nano-Levels 13

N.P. LUKUTTSOVA, A.G. USTINOV, I.Yu. GREBENCHENKO

A New Type of the Modifier of Concrete Structure is an Additive on the Basis of Bio-Silicified Nano-Tubes 17

A.A. PYKIN, S.V. VASYUNINA, A.A. KALUGIN, A.A. SPODENEYKO,
Yu.A. AVER'YANENKO, M.N. ALEKSANDROVA

Improvement of Efficiency of No-Fines Haydite Concrete with Nano-Disperse Additives 20

L.I. EVEL'SON, N.P. LUKUTTSOVA, A.N. NIKOLAENKO,
E.N. KHOMYAKOVA, Ya.A. RIVONENKO

Some Practical Aspects of Fractal Simulation of a Structure of Nano-Composite Material 24

Materials for road construction

I.Yu. MARKOVA, V.V. STROKOVA, T.V. DMITRIEVA

Influence of Fly Ashes on the Viscoelastic Characteristics of the Bitumen 28

A.V. KOCHETKOV, L.V. YANKOVSKY, N.E. KOKODEEVA, Sh.N. VALIEV

Design of Lightweight Mounds on Weak Bases with the Use of Geo-Composite Materials for Construction of Transport Structures 33

N.N. SINITSYN, A.V. MAKONKOV

Evaluation of Temperature of Road Surface during Construction 38

The Company «KNAUF» in Kazakhstan: the Production of Materials, Training, Social Responsibility (Information) 42

e^{IP}bos® - Software for Planning of Resources of Enterprises-Manufacturers of Reinforced Concrete Products (Information) 46

The Long-Awaited Meeting of Specialists of Construction Industry Took Place at 19. Ibausul (Information) 50

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

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

Строительные материалы № 11

Материалы и конструкции

Г.Р. БУТКЕВИЧ, А.А. СЕМЕНОВ

Состояние промышленности нерудных строительных материалов. На примере России и США 54

А.Н. ДАВИДЮК, Ю.С. ВОЛКОВ

XVII Международный конгресс по бетону 58

Третья конференция «Современный автоклавный газобетон» прошла в Санкт-Петербурге (Информация) 61

К.В. ЗАЙЦЕВА, Л.А. ТИХОМИРОВ, А.А. ТИТУНИН, А.М. ИБРАГИМОВ

Раскрой окоренных бревен для создания клееных конструкций с изменяющимися геометрическими характеристиками сечения по длине 62

Результаты научных исследований

Е.М. ЧЕРНЫШОВ, Н.Д. ПОТАМОШНЕВА, О.В. АРТАМОНОВА

Концепции и основания технологии наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 4. Золь-гель технология нано-, микродисперсных кристаллов портландита для контактно-конденсационного компактирования структур портландитового камня и композитов на его основе 65

В.Д. ЧЕРКАСОВ, В.И. БУЗУЛУКОВ, О.В. ТАРАКАНОВ, А.И. ЕМЕЛЬЯНОВ

Структурообразование цементных композитов с добавкой модифицированного диатомита 75

А.Ф. БУРЬЯНОВ, В.В. КРИВЕНКО, А.Д. ЖУКОВ

Физико-химическая природа декоративности мрамора 78

Stroitel'nye Materialy No. 11

Materials and structures

G.R. BUTKEVICH, A.A. SEMYONOV

The State of the Non-Metallic Building Materials Industry. On the Example of Russia and the USA 54

A.N. DAVIDYUK, Yu.S. VOLKOV

The XVII ERMCO Congress 58

The Third Conference «Modern Autoclave Gas Concrete» was Held in St. Petersburg (Information) 61

K.V. ZAYTSEVA, L.A. TIKHOMIROVA, A.A. TITUNIN, A.M. IBRAGIMOV

Ways of Cutting Barked Logs for Creation of Glued Designs with Changing Geometrical Characteristics of Section on Length 62

Results of scientific research

E.M. CHERNYSHEV, N.D. POTAMOSHNEVA, O.V. ARTAMONOVA

Concepts and Substantiations of Nano-Modification Technology of Building Composites Structures. Part 4. Sol-gel Technology of Nano-, Micro-Disperse Crystals of Portlandite for Contact-Condensation Compaction of Structures of Portlandite Stone and Composites on Its Base 65

V.D. CHERKASOV, V.I. BUZULUKOV, O.V. TARAKANOV, A.I. YEMELYANOV

Structure Formation of Cement Composites with Addition of Modified Diatomite 75

A.F. BURIANOV, V.V. KRIVENKO, A.D. ZHUKOV

Physical-Chemical Nature of Marble Decorativeness 78

Специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» Брянского государственного инженерно-технологического университета

55 лет

Специальность «Производство строительных материалов изделий и конструкций» открыта в Брянском технологическом институте в 1960 г. Необходимость подготовки специалистов инженеров-строителей-технологов была вызвана развитием предприятий железобетонных изделий и крупнопанельного домостроения как в Брянской области, так и за ее пределами. Кроме того, имелась потребность в специалистах на предприятиях строительных материалов (силикатного и керамического кирпича и черепицы, отделочных и др.).

Первоначально специальность называлась «Производство бетонных и железобетонных изделий и конструкций для сборного строительства». В первом выпуске 22 декабря 1965 г. получил диплом инженера профессор кафедры ПСК Владимир Николаевич Грибанов, а в 1966 г., во втором выпуске – доцент кафедры Людмила Матвеевна Шевченко.

В марте 1963 г. создана кафедра «Технологии строительных материалов и строительства». Кафедра создавалась с нуля, и необходимо было решать кадровые вопросы, поэтому для преподавательской работы были приглашены канд. техн. наук, доцент, проректор по учебной работе Архангельского лесотехнического института Иосиф Яковлевич Голосовкер и канд. техн. наук, доцент Вальдемар Янович Гегерь, перешедший на работу в Брянский технологический институт с должности декана строительного факультета и заведующего кафедрой строительных материалов Красноярского политехнического института.

Первым заведующим кафедрой стал И.Я. Голосовкер, а в 1964 г. по конкурсу был избран В.Я. Гегерь.

Доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ Вальдемар Янович Гегерь внес огромный вклад в становление и развитие кафедры. За время его работы было создано 10 учебных и исследовательских лабораторий, на базе которых выполнялись многочисленные научно-исследовательские и хозяйственные работы.

Особое внимание в этот период уделялось производственникам, имеющим склонность к научно-педагогической работе. На преподавательскую работу были приглашены высококвалифицированные специалисты: Алексей Максимович Простяков – директор Фокинского цементного завода, Моисей Аронович Усыскин – заведующий Брянским УКП Всесоюзного заочного инженерно-строительного института, Валентина Николаевна Патрушева – начальник цеха Бежицкого силикатного завода, Петр Андреевич Ваганов – главный механик управления Брянскстрой и Римма Михайловна Тугусова – преподаватель строительного техникума.

За период с 1970 по 1975 год на кафедру пришли: канд. техн. наук, доценты Маргарита Евгеньевна Казаринова, Иван Луквич Вологин, Зоя Петровна Гордова, Мартин Емельянович Ершов, Владимир Васильевич Серов, Ольга Александровна Помозова, Валентина Фроловна Сазонова, Лариса Владимировна Завалева, которые внесли значительный вклад в научно-педагогическую и исследовательскую деятельность коллектива кафедры.

В разные годы на кафедре работали доценты Леонид Наумович Тепман, Иван Григорьевич Малышев, Петр Васильевич Анисимов, старший преподаватель Иван Петрович Попов.

С 1989 г. кафедра называется «Производство строительных конструкций» (ПСК).

В разное время кафедрой руководили: доцент Олег Павлович Томашевский, доцент Мартин Емельянович Ершов, профессор Владимир Николаевич Грибанов, доцент Екатерина Аркадьевна Федоренко.

С 2009 г. кафедру ПСК возглавляет доктор технических наук, профессор Наталья Петровна Лукутцова.

Наличие на кафедре оснащенных современными приборами и оборудованием лабораторий способствует новому поколению студентов, магистров и аспирантов выполнять научно-исследовательские работы по новому научному направлению – наноматериалы и нанотехнологии.

В настоящее время на кафедре проходят обучение шесть аспирантов, один докторант и магистранты, успехи которых неоднократно были отмечены на международных, российских и региональных кон-



Заведующая кафедрой производства строительных конструкций Брянского государственного инженерно-технологического университета
д-р техн. наук, профессор
Наталья Петровна Лукутцова

курсах. Только за 2010–2015 гг. под руководством Н.П. Лукутцовой студенты и аспиранты кафедры выиграли 17 грантов в области наноматериалов и нанотехнологий.

Преподавателями кафедры подготовлено более 4 тыс. специалистов и издано более 1000 научных трудов, получено более 80 патентов и авторских свидетельств на изобретения. Патент на способ производства нанодисперсной добавки ультразвуковым диспергированием «Энергоэффективная технологическая линия производства нанодисперсной добавки для бетонов» отмечен золотой медалью на 64-й Международной выставке «Идеи – Изобретения – Новые Продукты» IENA (г. Нюрнберг, Германия).

Все преподаватели кафедры имеют ученую степень доктора или кандидата технических наук.

Подготовка инженеров по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» ориентирована в первую очередь на потребности строительной индустрии Брянского региона, поэтому на протяжении многих лет кафедра поддерживает постоянную связь с производством по решению учебных и научно-исследовательских задач.

Большую помощь в совершенствовании учебного процесса и выполнении научно-исследовательских работ оказывают базовые предприятия строительной индустрии: ООО «МБК», ООО «Стройдеталь и К», ООО «Брянский завод строительных конструкций», ОАО «Стройсервис», ООО «Строма», ООО УК БЗКПД-ПЛЮС, ЗАО «Брянский завод силикатного кирпича» и др.



Сотрудники кафедры «Производство строительных конструкций» (слева направо): 1-й ряд – зав. лабораторией В.В. Рубис; доцент, канд. техн. наук Е.А. Федоренко; зав. кафедрой, профессор, д-р техн. наук Н.П. Лукутцова; доцент, канд. техн. наук Е.Л. Королева; доцент, канд. техн. наук В.С. Янченко; 2-й ряд – старший лаборант Т.И. Камзолова; доцент, канд. техн. наук С.В. Васюнина, доцент, канд. техн. наук Е.Ю. Горностаева; аспирант Е.Н. Хомякова; аспирант Е.А. Споденейко; инженер С.М. Романенко, аспирант А.В. Николаенко; 3-й ряд – аспирант А.А. Калугин; доцент, канд. техн. наук И.А. Ласман; доцент, канд. техн. наук А.А. Пыкин; аспирант Е.Г. Карпилов

УДК 666. 972:6-022.532

Н.П. ЛУКУТЦОВА, д-р техн. наук (nutluk58@mail.ru), О.А. ПОСТНИКОВА, инженер (Chudakovachka@mail.ru), Г.Н. СОБОЛЕВА, канд. техн. наук (soboleva.g.n@mail.ru), Д.В. РОТАРЬ, инженер (karanecho@rambler.ru), Е.В. ОГЛОБЛИНА, магистрант (ekaterina.vladimirovna6@gmail.com)

Брянский государственный инженерно-технологический университет (241037, г. Брянск, пр-т Станке Димитрова, 3)

Фотокаталитическое покрытие на основе добавки нанодисперсного диоксида титана

Теоретически и экспериментально обоснована возможность использования добавки нанодисперсного диоксида титана в структурной форме анатаза, получаемой ультразвуковым диспергированием пигментного порошка в водной среде олеата натрия, в качестве фотокаталитического покрытия на поверхности бетона, обеспечивая его высокую самоочищающую способность. Проведена теоретическая и экспериментальная оценка фотокаталитической активности добавки, содержащей наночастицы TiO_2 . Получены зависимости изменения интенсивности окраски органических пигментов метиленовый красный и метиленовый синий от времени воздействия ультрафиолетового излучения. Установленное изменение оптической плотности покрытия от 0,328 до 0,093 (в 3,5 раза) свидетельствует о снижении концентрации органического пигмента на подложке добавки нанодисперсного диоксида титана, подтверждая интенсивность прохождения фотокаталитической реакции за счет высокой окислительной способности среды, образовавшейся на поверхности частиц TiO_2 под действием УФ света.

Ключевые слова: добавка, диоксид титана, анатазная форма диоксида титана, наночастицы, органические пигменты, фотокаталитические свойства, ультрафиолетовое излучение.

N.P. LUKUTTSOVA, Doctor of Sciences (Engineering) (nutluk58@mail.ru), O.A. POSTNIKOVA, Engineer (Chudakovachka@mail.ru), G.N. SOBOLEVA, Candidate of Sciences (Engineering) (soboleva.g.n@mail.ru), D.V. ROTAR', Engineer (karanecho@rambler.ru), E.V. OGLOBLINA, Master student (ekaterina.vladimirovna6@gmail.com)
Bryansk State Engineering-Technological University (3, Stanke Dimitrova Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation)

Photo-Catalytic Pavement on the Basis of Additive of Nano-Disperse Titanium Dioxide

The possibility to use the additive of nano-disperse titanium dioxide in the structural form of anatase, obtained by the ultra-sound dispersion of pigment powder in water medium of sodium oleate, as a photo-catalytic pavement on the concrete surface ensuring its high self-cleaning capacity is theoretically and experimentally substantiated. Theoretical and experimental assessment of the photo-catalytic activity of the additive containing nano-particles TiO_2 is made. The dependences of changing the intensity of coloring of organic pigments, methylene red and methylene blue, on the duration of the ultraviolet radiation exposure are obtained. The established change in optical density of the coating from 0.328 to 0.093 (by 3.5 times) demonstrates the decrease in the concentration of the organic pigment on the substrate of the additive of nano-dispersed titanium dioxide confirming the intensity of the photocatalytic reaction due to the high oxidizing capacity of the medium formed on the surface of particles TiO_2 under the impact of UV light.

Keywords: additive, titanium dioxide, anatase form of titanium dioxide, nano-particles, organic pigments, photo-catalytic properties, ultraviolet radiation.

В настоящее время индустрия строительных материалов широко применяет ультрадисперсные и наноструктурирующие добавки органического и минерального происхождения для улучшения качества производимой продукции. Практический интерес представляют исследования модификации строительных композитов наноразмерными частицами диоксида титана [1, 2], а также возможность их использования в качестве активных фотокатализаторов, позволяющих под действием ультрафиолетового излучения удалить вредные компоненты окружающей среды [3, 4].

Анализ научно-технической литературы показал, что диоксид титана применяют в промышленных целях в трех распространенных модификациях: анатаз, рутил, брукит. Брукит представляет собой форму диоксида титана более сложную, но наименее плотную и в основном не применяется в областях научных изысканий. Высокую фотокаталитическую активность частицы TiO_2 проявляют в кристаллической структуре – анатаз [5–7].

Целью исследования явилась разработка нанодисперсной добавки на основе диоксида титана анатазной

Таблица 1

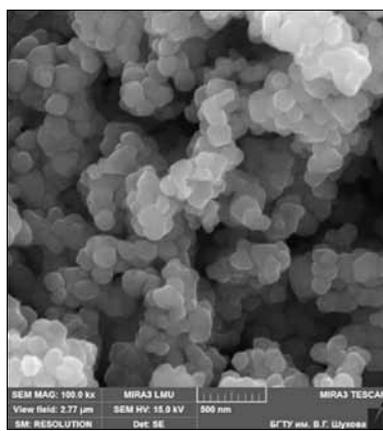


Рис. 1. Общий вид микрочастиц диоксида титана в структурной форме анатаза

Показатели	Физико-химические характеристики
Содержание TiO_2 , %	93
Влажность, %	1,5
Удельное сопротивление, Ом·см	10000
Остатки фильтровки, %	0,05
pH водного раствора	6,5
Впитываемость масла, г/100·г	44
Дисперсность частиц, мкм	28
Осветляющая способность, точка	1720
Содержание Al_2O_3 , %	2,1
Содержание SiO_2 , %	1,18

структурной модификации и исследование фотокаталитических свойств полученной дисперсии.

В работе применялся диоксид титана анатазной структурной модификации, общий вид и физико-химические характеристики которого представлены на рис. 1 и табл. 1.

Добавку получали путем ультразвукового диспергирования пигментного порошка TiO_2 анатазной структурной модификации в различных органических средах. Установлено, что использование в качестве стабилизатора добавки олеата натрия по сравнению с другими модификаторами способствует получению наиболее устойчивой во времени суспензии с равномерным распределением частиц диоксида титана в объеме жидкости [8].

Для оценки фотокаталитической активности по методике [9] поверхность бетона методом набрызга по-

крывали добавкой, полученной ультразвуковым диспергированием анатазного TiO_2 в водной среде стабилизатора олеата натрия.

После высушивания на подготовленную поверхность наносили следующие органические пигменты: метиловый красный, кристаллический фиолетовый, метиленовый синий, а также автомобильную пыль с концентрацией твердой фазы 50 г/л. Образцы подвергали воздействию ультрафиолетового (УФ) излучения в течение 60 мин с фиксированием изменений интенсивности окраски через каждые 5 мин.

Визуальная оценка подтверждает факт деструкции красителей (рис. 2), но учитывая, что интенсивность цветовой окраски является качественным параметром, используя методы обработки оцифрованных изображений, можно поставить в соответствие каждой фотографии значения математической функции, выражающей общую интенсивность цвета. Для этого использовался подход многокритериальной оптимизации, в частности метод интегрального критерия. В соответствии с принципом аддитивности цвета и известным законом Грассмана [10] для описания цвета необходимы три компонента. В частности, в широко распространенной системе кодирования цветов RGB такая функция может быть построена как линейная комбинация количественных оценок по каждой составляющей (соответственно красному, зеленому и синему цветам):

$$I = aR + bG + cB, \quad (1)$$

где a , b , c – коэффициенты линейной комбинации, являющиеся весовыми параметрами, отражающими цветовое восприятие человеческого глаза.

Обработке подвергались цветные цифровые фотографии образцов с нанесенными на предварительно окрашенную поверхность (светло-серый фон) красителями двух видов: метиловый красный и метиленовый синий. Средствами компьютерной программы ImageJ определялись составляющие трехмерного вектора, описывающего интенсивность окраски I , т. е. величины R , G , B в формуле (1). Далее вычислялись значения I при соответствующих тройках значений a , b , c . Графики зависимости интенсивности окраски пигментов от времени представлены на рис. 3.

Как показали визуальные наблюдения, деструкция различных органических красителей существенно отличается в течение времени. Установлено, что разрушение метиленового синего превосходит интенсивнее вплоть до его исчезновения по сравнению с метиленовым красным через 60 мин экспозиции. Это подтверждает тот факт, что метиленовый красный является наиболее стабильным и трудно поддающимся окислению пигментом.

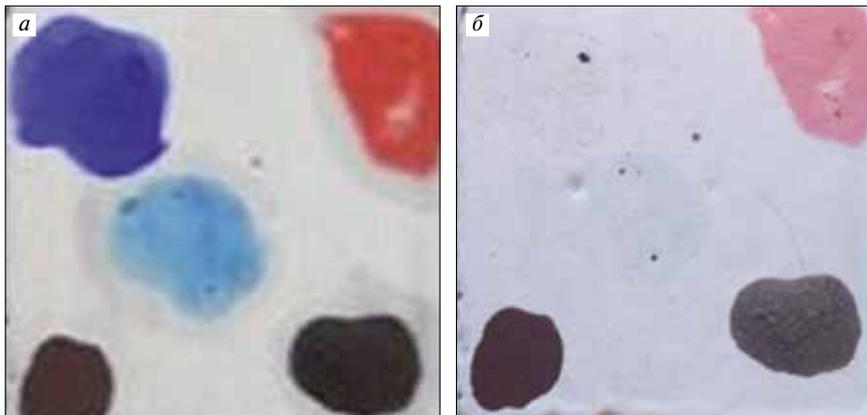


Рис. 2. Вид бетонной поверхности до (а) и после (б) УФ излучения в течение 60 мин

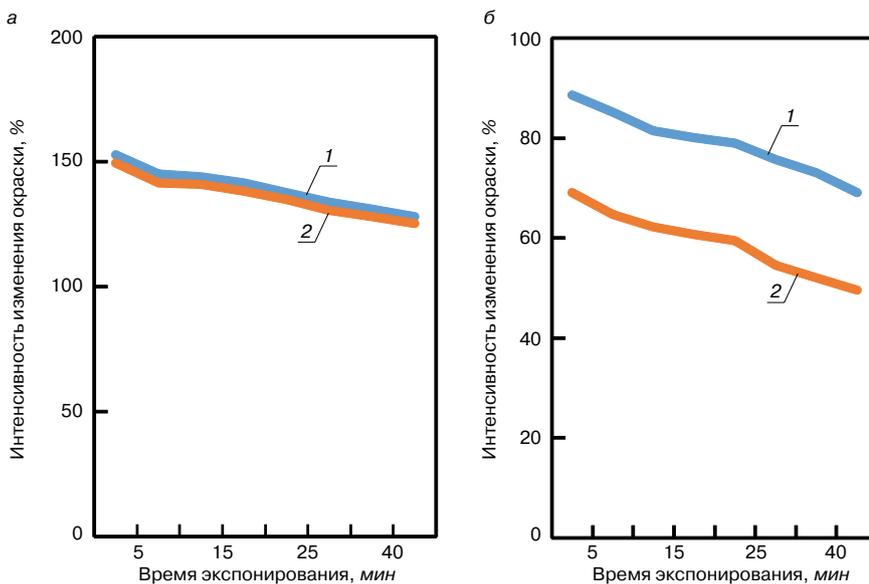


Рис. 3. Графики зависимости интенсивности окраски пигмента от времени УФ излучения: а – метиленовый красный; б – метиленовый синий; 1 – ряд 1; 2 – ряд 2

Таблица 2

Показатели	Концентрация, %	Среднее значение оптической плотности серии измерений
Без раствора	0	0
Эталонный раствор	50	0,328
Раствор метиленового синего на поверхности нанодисперсного диоксида титана	50	0,093

Изменения концентрации красящего вещества на поверхности нанодисперсного диоксида титана после воздействия ультрафиолетового облучения подтверждено экспериментально методом сравнения оптических плотностей эталонного и исследуемого растворов. Эталонный раствор метиленового синего готовили с концентрацией, равной 50 г/л, и наносили на стеклянные подложки в количестве 1 мл, одна из которых предварительно была покрыта добавкой с наночастицами TiO_2 . Оптическую плотность определяли при длине волны, равной 648 нм, установленную экспериментально, после экспонирования в течение 220 мин. Стеклянные пластины промывали 100 мл дистиллированной воды до полного вымывания красителя. Полученные растворы заливали в предварительно подготовленные кюветы и измеряли оптическую плотность на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ, данные которого представлены в табл. 2.

Изменение оптической плотности покрытия от 0,328 до 0,093 (в 3,5 раза) свидетельствует о снижении концентрации органического пигмента на подложке добавки нанодисперсного диоксида титана, подтверждая интенсивность прохождения фотокаталитической реакции за счет высокой окислительной способности среды, образовавшейся на поверхности частиц TiO_2 под действием УФ света.

Таким образом, теоретически и экспериментально обоснована возможность использования добавки нанодисперсного диоксида титана в структурной форме анатаза, получаемой ультразвуковым диспергированием пигментного порошка в водной среде олеата натрия, в качестве фотокаталитического покрытия на поверхности бетона, обеспечивая его высокую самоочищающуюся способность. Проведены теоретическая и экспериментальная оценки фотокаталитической активности добавки, содержащей наночастицы TiO_2 . Получены зависимости изменения интенсивности окраски органических пигментов от времени воздействия ультрафиолетового излучения.

Список литературы

1. Лукутцова Н.П., Постникова О.А., Николаенко А.Н., Мацаенко А.А., Тузикова М.Ю. Повышение экологической безопасности декоративного мелкозернистого бетона на основе использования техногенного глауконитового песка // *Строительство и реконструкция*. 2014. № 1. С. 79–83.
2. Фаликман В.Р. Об использовании нанотехнологий и наноматериалов в строительстве. Часть 2 // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2009. № 1. С. 24–34. http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_1_2009_RUS.pdf (дата обращения 08.10.2015 г.)
3. Алексеев И.С., Миклис Н.И., Клименков С.С. Исследование бактерицидных свойств нанопокровов на основе диоксида титана // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2012. № 2. С. 91–94.
4. Степанов А.Ю., Сотникова Л.В., Владимиров А.А., Дягилев Д.В., Ларичев Т.А., Пугачев В.М., Титов Ф.В. Синтез и исследование фотокаталитических свойств материалов на основе TiO_2 // *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2013. № 2. Т. 1. С. 249–255.
5. Linsebigler A. L., Lu G., Yates J. T. Photocatalysis on TiO_2 Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results // *Chemical Reviews*. 1995. Vol. 95, pp. 735–758.
6. Tanaka K., Mario F.V. Capule, Hisanaga T. Effect of crystallinity of TiO_2 on its photocatalytic action //

Chemical Physics Letters. 1991. Vol. 187. No. 1, pp. 73–76.

7. Munuera G., Gonzalez-Elipe A.R., Rives-Arnau V., Navio A., Malet P., Sokia J., Conesa J.C., Sanz J. Photoadsorption of oxygen on acid and basic TiO_2 surfaces // *Adsorption and Catalysis on Oxide Surfaces*. 1985. Vol. 21, pp. 113–120.
8. Чудакова О.А., Лукутцова Н.П., Хотченков П.В. Наночастицы диоксида титана в условиях различных стабилизаторов. *Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: материалы II Международной научно-практической конференции*. Брянск: БГИТА. 2010. Т. 1. С. 273–278.
9. Хела Р., Боднарова Л. Исследование возможности тестирования эффективности фотокатализа TiO_2 в бетоне // *Строительные материалы*. 2015. № 2. С. 77–81.
10. Порев В.Н. Компьютерная графика. СПб: БХВ-Петербург, 2002. 432 с.

References

1. Lukutcova N.P., Postnikova O.A., Nikolaenko A.N., Macaenko A.A., Tuzhikova M.Ju. Increase of ecological safety of decorative fine concrete through the use of man-made sand glauconite. *Stroitel'stvo i rekonstrukcija*. 2014. No. 1, pp. 79–83. (In Russian).
2. Falikman V.R. On the use of nanotechnology and nanomaterials in construction. Part 2. *Nanotehnologii v stroitel'stve: scientific online journal*. 2009. No. 1, pp. 24–34. http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_1_2009_RUS.pdf (date of access 08.10.2015). (In Russian).
3. Alekseev I.S., Miklis N.I., Klimenkov S.S. Study of bactericidal properties of coatings based on titanium dioxide. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta*. 2012. No. 2, pp. 91–94. (In Russian).
4. Stepanov A.Ju., Sotnikova L.V., Vladimirov A.A., Djagilev D.V., Larichev T.A., Pugachev V.M., Titov F.V. Synthesis and study of the properties of the photocatalytic TiO_2 based materials. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013. No. 2. Vol. 1, pp. 249–255. (In Russian).
5. Linsebigler A. L., Lu G., Yates J. T. Photocatalysis on TiO_2 Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results. *Chemical Reviews*. 1995. Vol. 95, pp. 735–758.
6. Tanaka K., Mario F.V. Capule, Hisanaga T. Effect of crystallinity of TiO_2 on its photocatalytic action. *Chemical Physics Letters*. 1991. Vol. 187. No. 1, pp. 73–76.
7. Munuera G., Gonzalez-Elipe A.R., Rives-Arnau V., Navio A., Malet P., Sokia J., Conesa J.C., Sanz J. Photoadsorption of oxygen on acid and basic TiO_2 surfaces. *Adsorption and Catalysis on Oxide Surfaces*. 1985. Vol. 21, pp. 113–120.
8. Chudakova, O.A., Lukutcova, N.P., Hotchenkov, P.V. Nanoparticles of titanium dioxide in the conditions of various stabilizers. *Problems of innovative biosphere-compatible social and economic development in the construction, housing and communal and road complex: Proceedings of the 2-nd International Scientific and Practical Conference*. Brjansk: BGITA. 2010. Vol. 1, pp. 273–278. (In Russian).
9. Hela R., Bodnarova L. Research of possibilities of testing effectiveness of photoactive TiO_2 in concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 2, pp. 77–81. (In Russian).
10. Porev V.N. Komp'yuternaja grafika [Computer graphics]. SPb: BHV-Peterburg. 2002. 432 p.

Новые цементные декоративные штукатурки КНАУФ в России

В сентябре 2015 г. компания КНАУФ начала в России производство расширенной линейки декоративных штукатурных смесей на основе цемента «КНАУФ-Диамант» для внешних и внутренних работ. Теперь «КНАУФ-Диамант» – это четыре продукта, которые позволяют создать различные варианты поверхностей, устойчивых к воздействию влаги и разных погодных условий. «КНАУФ-Диамант» – важная составная часть системы утепления фасадов «КНАУФ – Теплая стена».

«КНАУФ-Диамант» – хорошо знакомый потребителю продукт. За более чем десятилетие производства и применения в России смесь прекрасно зарекомендовала себя, в первую очередь при создании структурированного штукатурного фасада, устойчивого к воздействию неблагоприятных погодных факторов, который можно окрасить в любой цвет. Но если раньше в ассортименте «КНАУФ-Диамант» был единственный вариант состава для создания структурированной поверхности, то теперь есть четыре продукта с шероховатой зернистой структурой («шуба») с фракцией зерна 3 или 1,5 мм и бороздоч-

вой структурой («короед») с фракцией зерна 2,5 или 1,5 мм. Смесь можно наносить вручную или механизированным способом при помощи штукатурных машин КНАУФ-ПФТ.

Базовый цвет у «КНАУФ-Диамант» белый, но после нанесения структурированного слоя его можно окрасить в любой нужный оттенок, и это значительно расширяет декоративные возможности материала. Поверхность, созданная «КНАУФ-Диамант», обладает водоотталкивающими свойствами, устойчива к неблагоприятным погодным условиям. Смеси можно применять снаружи и изнутри зданий. Целесообразно использовать эти смеси в общественных зданиях, местах с повышенной влажностью, при воздействии пара или конденсата.

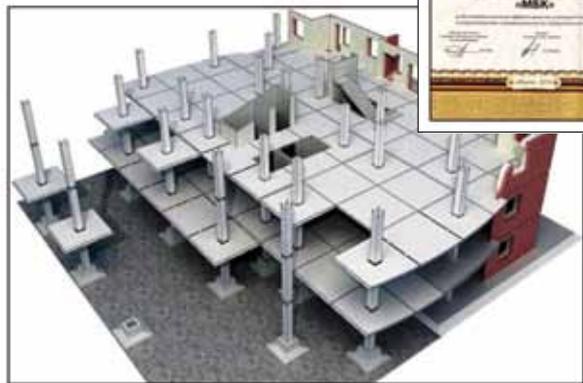
Цементные штукатурные смеси производятся на двух предприятиях группы КНАУФ в России – в г. Красногорске (Московская область) и Челябинске. В настоящее время обновленная линейка продуктов «КНАУФ-Диамант» уже появилась в розничных и оптовых центрах продаж отделочных материалов

Реклама



ООО «МБК»

Завод железобетонных изделий



ООО «МБК» – преемник Брянского завода железобетонных изделий, основанного в 1983 г.

Сегодня завод ООО «МБК» – это более 300 рабочих мест, обеспечивающих полный цикл гражданского строительства изделиями из железобетона.

В 2014 г. проведена реконструкция бетонно-смесительного узла и потока по изготовлению пустотных плит длиной до 7 м, введена в эксплуатацию вторая линия по производству забивных железобетонных свай.

ООО «МБК» – единственное в Брянской области предприятие, изготавливающее железобетонные изделия по системе безригельного каркаса КУБ–2,5

В настоящее время завод совместно со строительной компанией «ООО Брянскстройразвитие» производит активное внедрение системы безригельного каркаса, обеспечивая доступность цен на квадратный метр и свободу в выборе планировки при покупке квартиры

В 2013 г. ООО «МБК» отмечено дипломом 1 степени во Всероссийском конкурсе на лучшее предприятие стройиндустрии и строительный материалов.

241903, г. Брянск, пос. Б. Полпино, ул. Инженерная, д. 21

Тел.: (4832) 77-75-50, 72-62-42 <http://www.ooo-mbk.ru> e-mail: ooo-mbk@mail.ru

Представительство в Москве: ул. Рябиновая, д. 28а, стр. 3; тел.: +7-906-696-12-12

УДК 519.85:669.9.031

Е.Г. КАРПИКОВ, инженер (johnjk@mail.ru), В.С. ЯНЧЕНКО, канд. техн. наук (vsy50@mail.ru),
Е.Л. КОРОЛЕВА, канд. техн. наук (korolewael@yandex.ru), С.М. СЕМИЧЕВ, инженер (s.semichev@bk.ru),
В.И. НОВИКОВА, магистрант (nviktorya@rambler.ru), А.С. ПАТУГИН, магистрант (mr.patugin@mail.ru)

Брянский государственный инженерно-технологический университет (241037, г. Брянск, пр-т Станке Димитрова, 3)

Экстремальное моделирование оптимального состава и содержания микронаполнителя в бетоне

На базе среды инженерных и научных вычислений Scilab разработаны программы экстремального моделирования экспериментальных данных Extr.sce и Interp.sce. Программа Extr.sce позволяет оптимизировать исходные составы микронаполнителей, используя данные центрального композиционного ортогонального плана полного факторного эксперимента. На основе результатов экспериментальных данных по определению физико-механических характеристик МЗБ, модифицированного микронаполнителями оптимального состава, программа Interp.sce позволяет определить наиболее рациональное содержание наполнителей в составе мелкозернистого бетона. Решение оптимизационных задач осуществляется при помощи алгоритма поиска максимальных элементов Max_z массива интерполяционных данных с получением их координат, соответствующих содержанию исходных компонентов микронаполнителя max_x и max_y , и выводом визуальных моделей обработки данных в виде контурных графиков и 3d-графиков интерполяционной поверхности для программы Extr.sce, а также поиска максимальных элементов Max_y с получением координат, соответствующих содержанию микронаполнителя в составе МЗБ max_x , с выводом графиков интерполяционной поверхности для программы Interp.sce. В результате применения микронаполнителя состава, оптимизированного при помощи разработанной программы Extr.sce, основываясь на результатах экстремального моделирования в программе Interp.sce, возможно получение мелкозернистого бетона с пределом прочности при изгибе 10,5 МПа при содержании наполнителя 10,3% от массы цемента; пределом прочности при сжатии 47,37 МПа – 11,82%; плотностью 2300,36 кг/м³ – 9,24%. Наиболее оптимальное содержание микронаполнителя на основе волластонита для получения эффективного мелкозернистого бетона с высокими физико-механическими характеристиками составляет 10%.

Ключевые слова: экстремальное моделирование, оптимизация, микронаполнитель, волластонит, мелкозернистый бетон.

E.G. KARPIKOV, Engineer (johnjk@mail.ru), V.S. YANCHENKO, Candidate of Sciences (Engineering) (vsy50@mail.ru),
E.L. KOROLEVA, Candidate of Sciences (Engineering) (korolewael@yandex.ru), S.M. SEMICHEV, Engineer (s.semichev@bk.ru),
V.I. NOVIKOVA, Master student (nviktorya@rambler.ru), A.S. PATUGIN, Master student (mr.patugin@mail.ru)
Bryansk State Engineering-Technological University (3, Stanke Dimitrova Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation)

Extreme Simulation of Optimal Composition and Content of Micro-Filler in Concrete

On the basis of the environment of engineering and scientific computations Scilab, the programs of extreme simulation of experimental data Extr.sce and Interp.sce have been developed. The program Extr.sce makes it possible to optimize the initial compositions of micro-fillers with the use of data of the central composite orthogonal design of the full factorial experiment. On the basis of results of experimental data on determining physical-mechanical characteristics of fine concrete modified with micro-fillers of an optimal composition, the program Interp.sce makes it possible to define the optimal content of fillers in the composition of fine concrete. The solution of optimization problems is performed with the help of the search algorithm of maximal elements Max_z of interpolation data massive with obtaining their coordinates corresponding to the content of primary components of the micro-filler max_x and max_y , and plotting of visual models of data processing in the form of contour plots and 3d-plots of the interpolation surface for the program Extr.sce, as well as the search for maximal elements Max_y with obtaining coordinates corresponding to the content of the micro-filler in the composition of МЗБ max_x , with plotting of interpolation surface plots for the program Interp.sce. As a result of the use of the micro-filler content of which is optimized with the help of the developed program Extr.sce, on the basis of the extreme simulation in the program Interp.sce, it is possible to obtain the fine concrete with flexural strength 10.5 MPa at the filler content 10.3% of cement mass, compressive strength 47.37 MPa – 11.82%, density 2300.36 kg/m³ – 9.24%. The most optimal content of the micro-filler on the basis of wollastonite for producing the efficient fine concrete with high physical-mechanical characteristics is 10%.

Keywords: extreme simulation, optimization, micro-filler, wollastonite, fine concrete.

В процессе оптимизации получения эффективного мелкозернистого бетона (МЗБ), модифицированного микронаполнителями различного состава, исследователь, как правило, получает большой объем данных зависимости целевых функций от входных параметров. Для отыскания оптимальных входных параметров, способствующих получению наиболее продуктивной целевой функции, исследователю необходим эффективный инструмент поиска, основанный на получении экстремумов из массивов выходных данных математического планирования эксперимента на основе современных интеллектуальных систем на базе высокопроизводительных средств вычисления [1–3].

Целью работы является разработка программного комплекса экстремального моделирования экспериментальных данных на базе среды инженерных и научных вычислений Scilab.

Scilab – одна из самых интересных свободных математических программ. Это система компьютерной математики, которая предназначена для выполнения ин-

женерных и научных вычислений. По возможностям пакет Scilab практически не уступает Mathcad, а по интерфейсу близок к Matlab. В Scilab реализованы численные методы решения следующих задач вычислительной математики [4, 5].

Для достижения поставленной цели при получении матриц исходных данных использовался центральный композиционный ортогональный план полного факторного эксперимента с целью определить оптимальное соотношение исходных сырьевых компонентов микронаполнителя на основе волластонита, а также их влияние на физико-механические и технологические характеристики МЗБ.

Исследуемый микронаполнитель получен путем совместного помола в шаровой мельнице в течение 60 мин суперпластификатора С-3 и волластонита в различных соотношениях соответственно.

Математической моделью процесса является функция, связывающая параметры оптимизации: предел прочности при изгибе и сжатии через 3 и 28 сут тверде-

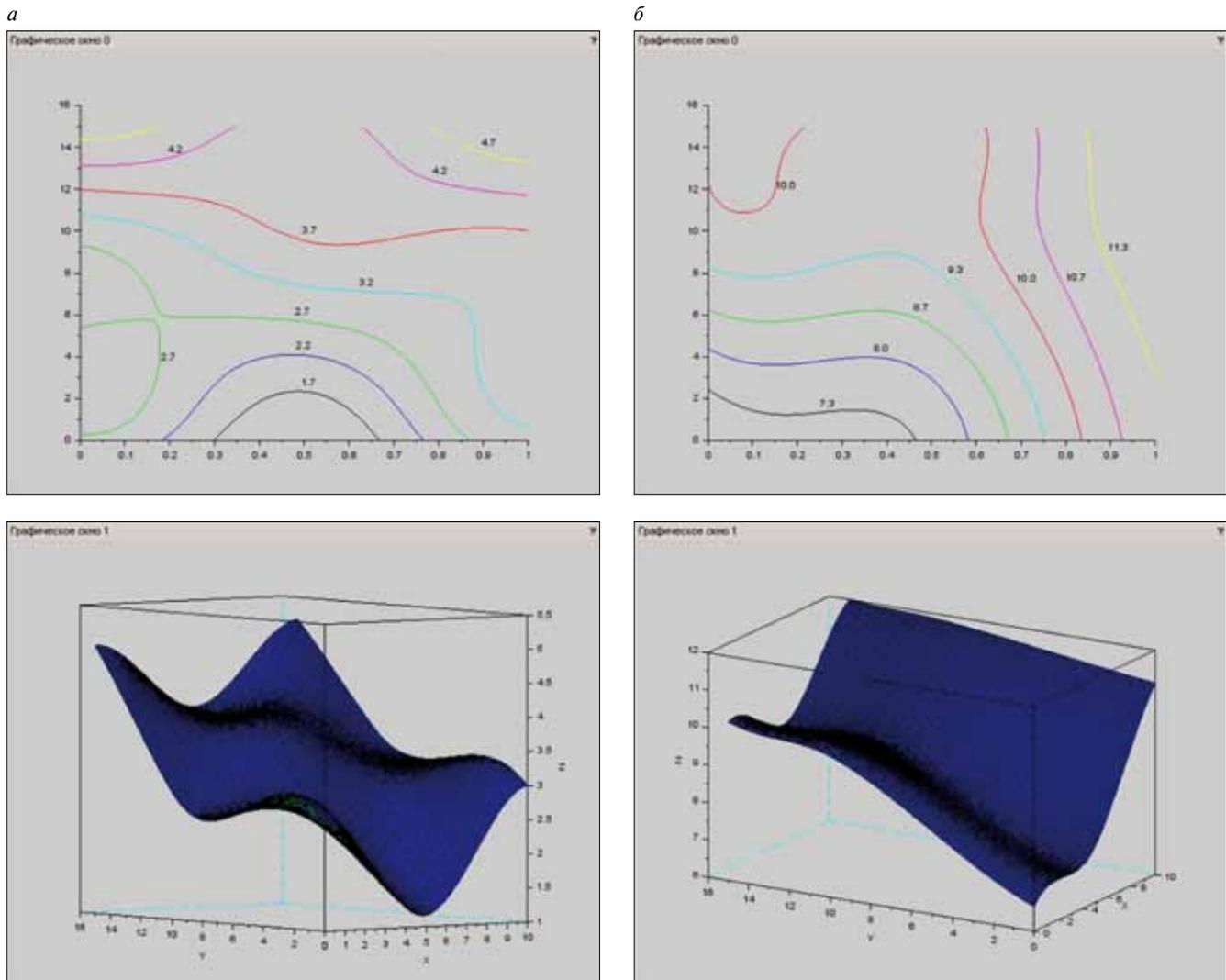


Рис. 1. Графики моделей зависимостей пределов прочности МЗБ от содержания волластонита и С-3 через 28 сут твердения при содержании цемента 0,5 кг: а – предел прочности при изгибе; б – предел прочности при сжатии

ния с переменными факторами содержания цемента, суперпластификатора С-3 и волластонита. При проведении эксперимента интервалы варьировались в следующих пределах: цемент – от 200 до 500 г; суперпластификатор С-3 – от 0 до 1%; волластонит – от 0 до 15%.

Функции отклика выходных параметров МЗБ от влияющих факторов описываются следующими уравнениями [6]:

$$y_1(R_{из}^3) = 0,405 + 0,586x_1 + 0,235x_2 - 0,234x_3 + 0,256x_1^2 + 0,049x_2^2 + 0,328x_3^2 + 0,174x_1x_2 - 0,234x_1x_3 - 0,176x_2x_3; \quad (1)$$

$$y_2(R_{из}^{28}) = 0,809 + 1,336x_1 + 0,562x_2 - 0,235x_3 + 0,728x_1^2 - 0,046x_2^2 + 0,797x_3^2 + 0,585x_1x_2 - 0,235x_1x_3 + 0,06x_2x_3; \quad (2)$$

$$y_3(R_{сж}^3) = 0,496 + 2,932x_1 + 0,484x_2 - 1,832x_3 + 1,356x_1^2 + 0,3x_2^2 + 1,752x_3^2 + 0,575x_1x_2 - 1,505x_1x_3 - 0,282x_2x_3; \quad (3)$$

$$y_4(R_{сж}^{28}) = 3,38 + 4,308x_1 + 0,644x_2 - 0,704x_3 + 1,176x_1^2 - 0,348x_2^2 + 1,932x_3^2 + 0,378x_1x_2 - 0,327x_1x_3 + 0,618x_2x_3. \quad (4)$$

Для обработки и анализа экспериментальных данных разработана программа экстремального моделирования Extr.sce на базе среды инженерных и научных вычислений Scilab. Ввод исходных данных для обра-

ботки в программной среде осуществляется при помощи матриц зависимостей переменных, заданных функцией вида:

$$z = f(x, y, w), \quad (5)$$

где z – искомая величина; x – содержание суперпластификатора С-3, %; y – содержание волластонита, %; w – содержание цемента, кг.

Для построения трехмерной модели функции содержание цемента было принято за постоянную величину $w = const$.

В результате прогонки загруженных моделей в разработанной программе Extr.sce получены экстремумы искомых характеристик мелкозернистого бетона Max_z и их координаты max_x ; max_y , соответствующие содержанию суперпластификатора С-3 (x) и волластонита (y), представленные в табл. 1.

Основываясь на результатах экстремального моделирования экспериментальных данных, наиболее оптимальным для получения эффективного микронаполнителя является состав: суперпластификатор С-3 – 1% и волластонит – 15%, молотые совместно в шаровой мельнице в течение 60 мин. Разработанный микронаполнитель оптимального состава при содержании цемента 0,5 кг позволяет получить мелкозернистый бетон с прочностью при изгибе 5,18 МПа, при сжатии –

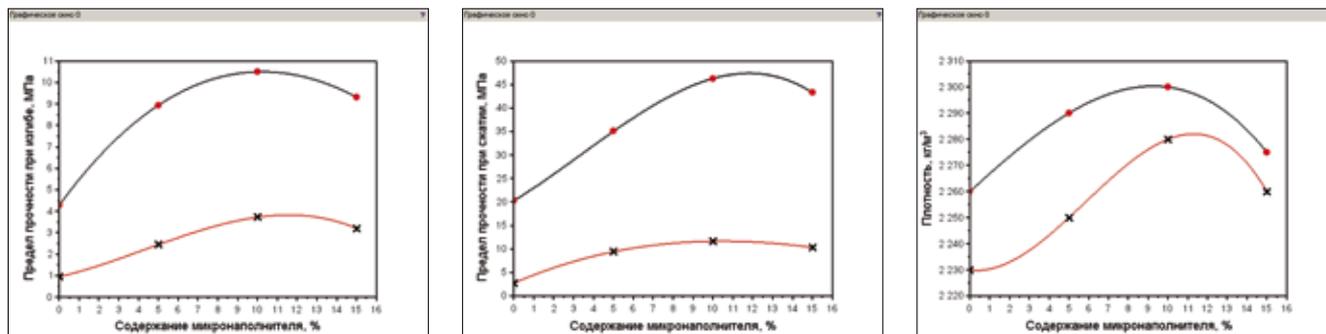


Рис. 2. Графики интерполяционной поверхности зависимости физико-механических характеристик МЗБ от содержания микронаполнителя на основе волластонита: а – предел прочности при сжатии; б – предел прочности при изгибе; в – плотность; \times – 3 сут; \bullet – 28 сут

Таблица 1

Экстремумы искомых характеристик мелкозернистого бетона

Характеристика	Максимальное значение Max_z	Координаты (содержание)		
		w (цемент), кг	max_x (С-3), %	max_y (волластонит), %
Предел прочности при изгибе через 3 сут, МПа	0,68	0,2	1	15
	1,43	0,35	1	15
	2,8	0,5	1	15
Предел прочности при изгибе через 28 сут, МПа	1,47	0,2	1	15
	2,3	0,35	1	10,8
	5,18	0,5	1	15
Предел прочности при сжатии через 3 сут, МПа	1,02	0,2	1	15
	5,4	0,35	1	10,4
	11,5	0,5	1	15
Предел прочности при сжатии через 28 сут, МПа	2,56	0,2	1	15
	9,5	0,35	1	15
	12	0,5	1	15

Таблица 2

Результаты моделирования в программе Interp.sce

Характеристика	Максимальный элемент интерполяционного массива Max_z	Координата максимального элемента массива max_x , содержание микронаполнителя, %
Прочность при изгибе через 3 сут, МПа	3,83	11,52
Прочность при изгибе через 28 сут, МПа	10,5	10,3
Прочность при сжатии через 3 сут, МПа	11,65	10,45
Прочность при сжатии через 28 сут, МПа	47,37	11,82
Плотность через 3 сут, кг/м ³	2282,03	11,36
Плотность через 28 сут, кг/м ³	2300,36	9,24

12 МПа, что подтверждает результаты, полученные с помощью математического планирования эксперимента. Модели обработки данных в разработанной программе Extr.sce представлены на рис. 1 в виде контурных графиков и 3d-графиков интерполяционной поверхности.

Для проверки расчетных данных изготавливали образцы мелкозернистого бетона размером 4×4×16 см, модифицированного микронаполнителем состава волластонит (15%) + суперпластификатор С-3 (1%), которые твердели в нормальных условиях. Содержание микронаполнителя в мелкозернистом бетоне варьировалось от 0 до 15% [7–10].

На базе среды инженерных и научных вычислений Scilab разработана программа Interp.sce для поиска наиболее оптимального содержания микронаполнителя на

основе волластонита состава, определенного программой Extr.sce.

Ввод исходных данных для обработки в программной среде осуществляется при помощи матриц зависимостей переменных, заданных функцией вида:

$$z = \Phi(x, y), \quad (6)$$

где z – искомая величина; x – содержание микронаполнителя расчетного состава, %; y – матрица экспериментальных значений искомой величины.

В результате прогонки загруженных моделей в разработанной программе Interp.sce получен максимальный элемент интерполяционного массива Max_u и его координата max_x , соответствующая оптимальному содержанию микронаполнителя (X).

Модели обработки данных в разработанной программе Interp.sce представлены на рис. 2.

Таким образом, для получения МЗБ с наиболее высокими физико-механическими характеристиками целесообразно применять микронаполнитель на основе волластонита в количестве 10% от массы цемента.

В ходе проведенной работы решены следующие задачи.

1. На базе среды инженерных и научных вычислений Scilab разработаны программы экстремального моделирования экспериментальных данных Extr.sce и Interp.sce. Программа Extr.sce позволяет оптимизировать исходные составы микронаполнителей, используя данные центрального композиционного ортогонального плана полного факторного эксперимента. На основе результатов экспериментальных данных по определению физико-механических характеристик МЗБ, модифицированного микронаполнителями оптимального состава, программа Interp.sce позволяет определить наиболее рациональное содержание наполнителей в составе мелкозернистого бетона. Решение оптимизационных задач осуществляется при помощи алгоритма поиска максимальных элементов Max_z массива интерполяционных данных с получением их координат, соответствующих содержанию исходных компонентов микронаполнителя max_x и max_y , и выводом визуальных моделей обработки данных в виде контурных графиков и 3d-графиков интерполяционной поверхности для про-

граммы Extr.sce, а также поиска максимальных элементов Max_u с получением координат, соответствующих содержанию микронаполнителя в составе МЗБ max_x с выводом графиков интерполяционной поверхности для программы Interp.sce.

2. Основываясь на результатах экстремального моделирования экспериментальных данных при помощи разработанной программы Extr.sce, наиболее оптимальным для получения эффективного микронаполнителя является состав: суперпластификатор С-3 – 1% и волластонит – 15%, молотые совместно в шаровой мельнице в течение 60 мин. Разработанный микронаполнитель оптимального состава при содержании цемента 0,5 кг позволяет получить мелкозернистый бетон с прочностью при изгибе 5,18 МПа, при сжатии – 12 МПа.

3. В результате применения микронаполнителя состава, оптимизированного при помощи разработанной программы Extr.sce, основываясь на результатах экстремального моделирования в программе Interp.sce, возможно получение мелкозернистого бетона с пределом прочности при изгибе 10,5 МПа при содержании наполнителя 10,3% от массы цемента; пределом прочности при сжатии 47,37 МПа – 11,82%; плотностью 2300,36 кг/м³ – 9,24%. Наиболее оптимальное содержание микронаполнителя на основе волластонита для получения эффективного мелкозернистого бетона с высокими физико-механическими характеристиками составляет 10%.

Список литературы

1. Бухановский А.Е., Иванов С.В., Нечаев Ю.И. Особенности планирования эксперимента при моделировании экстремальных ситуаций в интеллектуальной системе исследовательского проектирования // *Искусственный интеллект*. 2012. № 3. С. 228–240.
2. Емельянов, В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.Н. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003. 432 с.
3. Thom R. Catastrophe theory: Its present state and future perspectives // *Commutation on the ASM*. 1994. Vol. 37. No. 3, pp. 77–84.
4. Янченко В.С. Основы работы в математической среде Scilab. Брянск: БГИТА, 2013. 124 с.
5. Алексеев Е.Р. Scilab: решение инженерных и математических задач. М.: ALT Linux, 2008. 260 с.
6. Высокопрочный мелкозернистый бетон с нанодисперсной добавкой на основе волластонита. *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научн. труды III Всероссийской (II Международной) конф. по бетону и железобетону*. М.: МГСУ. 2014. С. 180–184.
7. Lukutsova N., Luginina I., Karpikov E., Pykin A., Ystinov A., Pinchukova I. High-performance fine concrete modified with nano-dispersion additive // *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*. 2014. Vol. 9. No. 22, pp. 15825–15833.
8. Баженов Ю.М. Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г. Мелкозернистый бетон, модифицированный комплексной микродисперсной добавкой // *Вестник МГСУ*. 2013. № 2. С. 94–100.
9. Гегер В.Я., Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г. и др. Повышение эффективности мелкозернистого бетона комплексной микродисперсной добавкой // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2013. № 3. С. 15–18.
10. Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г. Энергоэффективный мелкозернистый бетон с комплексным микронаполнителем // *Строительство и реконструкция*. 2014. № 5 (55). С. 94–100.

References

1. Bukhanovskii A.E., Ivanov S.V., Nechaev Yu.I. Characteristics of experimental design while simulating extreme situations in the intelligent system of design research. *Iskusstvennyi intellekt*. 2012. No. 3, pp. 228–240. (In Russian).
2. Emel'yanov V.V., Kureichik V.V., Kureichik V.N. Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya [Theory and practice of evolutionary modeling]. Moscow: Fizmatlit. 2003. 432 p.
3. Thom R. Catastrophe theory: Its present state and future perspectives. *Commutation on the ASM*. 1994. Vol. 37. No. 3, pp. 77–84.
4. Yanchenko V.S. Osnovy raboty v matematicheskoi srede Scilab [Basics of mathematical environment Scilab]. Bryansk: BGITA. 2013. 124 p.
5. Alekseev E.R. Scilab: Reshenie inzhenernykh i matematicheskikh zadach [Scilab: Solving engineering and mathematical problems]. Moscow: ALT Linux. 2008. 260 p.
6. Lukutsova N.P., Karpikov E.G., Dyagterev E.V., Tuzhikova M.Yu. High-performance fine concrete modified with nano-disperse wollastonite-based additive. *Concrete and reinforced concrete – prospection: Materials of III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete*. Moscow: MGSU. 2014, pp. 180–184. (In Russian).
7. Lukutsova N., Luginina I., Karpikov E., Pykin A., Ystinov A., Pinchukova I. High-performance fine concrete modified with nano-dispersion additive. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*. 2014. Vol. 9. No. 22, pp. 15825–15833.
8. Bazhenov Yu.M., Lukutsova N.P., Karpikov E.G. Fine concrete modified by complex micro-dispersed additive. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 2, pp. 94–100. (In Russian).
9. Geger V.Ya., Lukutsova N.P., Karpikov E.G., Petrov R.O. Improving the efficiency of fine concrete by complex micro-dispersed additive. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2013. No. 3, pp. 15–18. (In Russian).
10. Lukutsova N.P., Karpikov E.G. Energy-efficient fine concrete with complex microfiller. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2014. No. 5 (55), pp. 94–100. (In Russian).

УДК УДК691.115

Е.Ю. ГОРНОСТАЕВА, канд. техн. наук (egomostay@mail.ru),
И.А. ЛАСМАН, канд. техн. наук (i.lasman@mail.ru),
Е.А. ФЕДОРЕНКО, канд. техн. наук (e.a.fedorenko@yandex.ru),
Е.В. КАМОЗА, магистрант (lena.kamoza@bk.ru)

Брянский государственный инженерно-технологический университет (241037, г. Брянск, пр-т Станке Димитрова, 3)

Древесно-цементные композиции с модифицированной структурой на макро-, микро- и наноровнях

Рассмотрена возможность улучшения физико-технических характеристик древесно-цементных композиций путем оптимизации структуры на макро-, микро- и наноровнях за счет регулирования размеров частиц древесного наполнителя, применения добавок микро- и нанодисперсного кремнезема. Установлено, что оптимизация зернового состава органического наполнителя позволяет получать древесно-цементные композиции с пределом прочности при сжатии 3,24 МПа, что на 45–49% превышает прочность образцов, изготовленных без оптимизации зернового состава наполнителя. Доказано, что максимальное увеличение предела прочности при сжатии до 9,4 МПа происходит при введении в состав композиции микрокремнезема в количестве 30%. Это вызвано двумя факторами: наличием диоксида кремния аморфной модификации в добавке микрокремнезема, вступающего в реакцию с гидроксидом кальция с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция; уплотняющим действием микрочастиц, заполняющих пространство между частицами цемента в тесте и продуктами гидратации в цементном камне. Использование добавок обусловлено их способностью взаимодействовать с портландитом и другими продуктами гидратации цемента, образуя труднорастворимые смешанные соли, коагулирующие поры. Создаются структуры с более плотной упаковкой и, как следствие, получают ДЦК с высокими физико-техническими характеристиками.

Ключевые слова: микрокремнезем, древесно-цементные композиции, добавки с наноразмерными частицами, ультразвуковое диспергирование, золь-гель-метод.

E.Yu. GORNOSTAEVA, Candidate of Sciences (Engineering) (egomostay@mail.ru),
I.A. LASMAN, Candidate of Sciences (Engineering) (i.lasman@mail.ru),
E.A. FEDORENKO, Candidate of Sciences (Engineering) (e.a.fedorenko@yandex.ru),
E.V. KAMOZA, Master student (lena.kamoza@bk.ru)
Bryansk State Engineering-Technological University (3, Stanke Dimitrova Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation)

Wood-Cement Compositions with Structures Modified at Macro-, Micro-, and Nano-Levels

The possibility of improvement of physical-technical characteristics of wood-cement compositions (WCC) by optimizing the structure at micro-, macro-, and nano-levels due to the regulation of sizes of wood filler particles and the use of additives of micro- and nano-dispersed silica is considered. It is established that the optimization of the grain composition of an organic filler makes it possible to obtain wood-cement compositions with compressive strength of 3.24 MPa that exceeds the compressive strength of samples produced without optimizing the grain composition of the filler by 45–49%. It is proved that the maximum increase of the compressive strength up to 9.4 MPa takes place when 30% of micro-silica is introduced into the composition. This is caused by two factors: the presence of silicon dioxide of amorphous modification in the additive of micro-silica which reacts with calcium hydroxide with formation of low-basic calcium hydro-silicates; compacting action of micro-particles filling the space between cement particles in the paste and products of hydration in the cement stone. The use of additives is due to their ability to interact with Portlandite and other products of cement hydration forming hardly soluble mixed salts which seal the pores. The structures with more dense packing are created and, as a result, WCCs with high physical-technical characteristics are produced.

Keywords: micro-silica, wood-cement compositions, additives with nano-size particles, ultrasound dispersion, sol-gel method.

Для производства древесно-цементных композиций (ДЦК) в настоящее время применяются различные целлюлозосодержащие наполнители растительного происхождения. Органические наполнители наряду с присущими им ценными свойствами (малая средняя плотность, хорошая смачиваемость и др.) обладают рядом специфических свойств, оказывающих существенное влияние на процессы структурообразования, структурно-механические и строительные характеристики композитов.

Анализ литературных источников показал, что из всех специфических особенностей органических наполнителей наиболее хорошо изучена их агрессивность по отношению к цементу [1, 2].

Известно, что наиболее вредное воздействие оказывают легкорастворимые простейшие сахара: сахароза, глюкоза, фруктоза и часть гемицеллюлозы, способной в определенных условиях перейти в форму таких сахаров; в меньшей степени опасны крахмал, таннины и смолы.

С целью уменьшения отрицательного влияния водорастворимых экстрактивных и легкогидролизующих веществ на прочность ДЦК были предложены различные способы и технологические приемы, сущность которых

заключалась в частичном удалении легкогидролизующих веществ из древесного наполнителя, а также в переводе простейших сахаров в нерастворимые или безвредные для вяжущего соединения, а также в ускорении твердения, т. е. в сокращении времени воздействия сахаров на процессы твердения. Однако применяемые способы «минерализации» древесного наполнителя, хотя и повышают скорость нарастания прочности в начальный период, все же не позволяют получать достаточно прочный материал.

Еще одним недостатком является крупнопористая структура древесно-цементных композиций с незаполненным межзерновым пространством (80–90% объема твердого тела занимает древесный наполнитель, и только 10–20% приходится на цементный камень), характеризующаяся недостаточным для заполнения пустот между частицами органического целлюлозного наполнителя объемом цементного камня.

Целью работы являлось изучение возможности улучшения физико-технических характеристик древесно-цементных композиций путем оптимизации структуры на макро-, микро- и наноровнях за счет регулирования размеров частиц древесного наполнителя, применения добавок микро- и нанодисперсного кремнезема.

Таблица 1

Состав композиции	ρ_0 , кг/м ³	$R_{сж}$, МПа
Контрольный состав – ДЦК (нефракционированный наполнитель)	720	2,17
ДЦК (смесь фракций от 10 до 20 мм, от 5 до 10 мм)	730	3,15
ДЦК (смесь фракций от 10 до 20 мм, от 2,5 до 5 мм)	731	3,2
ДЦК (смесь фракций от 20 до 40 мм, от 10 до 20 мм, от 5 до 10 мм, от 2,5 до 5 мм)	733	3,19
ДЦК (смесь фракций от 10 до 20 мм, от 5 до 10 мм, от 2,5 до 5 мм)	750	3,24

Одним из направлений улучшения физико-технических свойств древесно-цементных композиций является совершенствование их макроструктуры, направленное на уменьшение межзерновой пустотности. В основном это достигается путем подбора оптимального гранулометрического состава древесного наполнителя, при котором некоторая часть межзернового пространства заполняется древесными частицами меньших размеров, в результате чего увеличивается поверхность контакта отдельных зерен наполнителя в объеме материала.

В этой связи была произведена оптимизация зернового состава органического наполнителя с помощью математического и компьютерного моделирования с использованием пакета ModelVisionStudium (MvS, версия 4), позволяющего в динамическом режиме проанализировать и подобрать оптимальный зерновой состав древесного наполнителя.

Для этого использовали органический наполнитель следующего фракционного состава, полученного при помощи математического моделирования (табл. 1).

Анализ полученных результатов показывает, что оптимизация зернового состава органического наполнителя позволяет получать ДЦК с пределом прочности при сжатии 3,24 МПа, что на 45–49% превышает прочность образцов, изготовленных без оптимизации зернового состава наполнителя.

Среди активных минеральных добавок техногенного происхождения, применяемых в современной технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, особое место принадлежит микрокремнезему (МК), который позволяет снизить расход цемента и получать материалы высокой прочности. Поэтому для улучшения физико-технических характеристик ДЦК в ее состав вводили добавку МК в количестве от 10 до 50% от массы цемента вместе с водой затворения (табл. 2).

Установлено, что микрокремнезем положительно влияет на свойства ДЦК. Максимальное увеличение предела прочности при сжатии 9,4 МПа происходит при введении в состав ДЦК микрокремнезема в количестве 30%, что вызвано двумя основными факторами: наличием диоксида кремния аморфной модификации в добавке микрокремнезема, вступающего в реакцию с гидроксидом кальция с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция, и уплотняющего действия микрочастиц, заполняющих пространство между частицами цемента в тесте и продуктами гидратации в цементном камне.

Оба фактора играют определенную роль в механизме действия МК на процессы гидратации и структурообразования цементного камня. Первый фактор способствует в основном пуццолановому процессу, который заключается в связывании диоксидом кремния свободной извести, образовавшейся при гидролизе C_3S . Второй

Таблица 2

Состав композиции	ρ_0 , кг/м ³	λ , (Вт/м·К)	$R_{сж}$, МПа	Влажность, %
ДЦК (контрольный)	747	0,322	3,2	56,5
ДЦК+МК (10%)	732	0,313	6,1	36,8
ДЦК+МК (20%)	799	0,353	7,8	30
ДЦК+МК (30%)	815	0,362	9,4	29,3
ДЦК+МК (40%)	840	0,377	7,1	25,2
ДЦК+МК (50%)	876	0,399	6,5	24,1

Таблица 3

Состав образца	Средний диаметр пор, мкм	Объем пор, см ³ /г	Общая площадь пор, см ² /г
Контрольный	0,011	0,066	16050
ДЦК+микрокремнезем	0,009	0,043	22560

фактор способствует в основном уплотнению структуры цементного теста и камня ультрадисперсными частицами [3–5].

Исследования микроструктуры методом сканирующей электронной микроскопии подтвердили, что на образце контрольного состава древесно-цементной композиции (рис. 1, а) образующиеся гидросиликаты кальция неравномерно покрывают поверхность органического наполнителя. При введении в состав ДЦК добавки микрокремнезема кроме образования гидросиликатов кальция, равномерно и плотно покрывающих древесный наполнитель, наблюдаются шарообразные включения микрокремнезема (рис. 1, б), заполняющие пространство между новообразованными цементного камня и органическим наполнителем.

Методом ртутной порометрии установлено, что использование МК приводит к снижению среднего диаметра пор на 18%, объема пор на 35%, при этом общая площадь поверхности пор увеличивается от 16050 см²/г до 22560 см²/г, т. е. на 41% (табл. 3).

Для изучения возможности использования добавок с наноразмерными частицами кремнезема применяли: добавку с наноразмерными частицами кремнезема, получаемыми путем ультразвукового диспергирования микрокремнезема (НМК), и добавку с наноразмерными частицами кремнезема, получаемыми по золь-гель методу (НК), которые вводились в состав ДЦК вместе с водой затворения в количестве от 0,03 до 0,2% (в пересчете на сухое вещество).

Методом лазерной гранулометрии установлено, что содержание в добавке НК частиц размером 20–100 нм составляло 56% при диапазоне частиц от 33,43

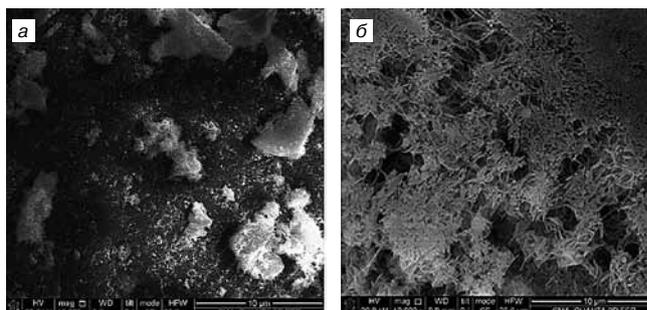


Рис. 1. Микроструктура древесно-цементной композиции: а – без добавок; б – с добавкой микрокремнезема

Таблица 4

Состав композиции	ρ_0 , кг/м ³	λ , (Вт/м·К)	$R_{сж}$, МПа	V_m , %
ДЦК (контрольный)	747	0,322	3,24	86,5
ДЦК+НМк (0,03%)	608	0,242	4,77	98,1
ДЦК+НМк (0,06%)	610	0,243	4,85	87,3
ДЦК+НМк (0,09%)	614	0,245	4,92	81
ДЦК+НМк (0,13%)	619	0,248	5,02	72,3
ДЦК+НМк (0,16%)	622	0,25	5,1	69,6
ДЦК+НМк (0,2%)	628	0,253	5,27	62,3
ДЦК+НК (0,03%)	712	0,302	5,86	49,2
ДЦК+НК (0,06%)	715	0,303	6,1	47,4
ДЦК+НК (0,09%)	734	0,314	6,49	46,9
ДЦК+НК (0,13%)	745	0,321	6,7	45,9
ДЦК+НК (0,16%)	757	0,328	6,76	44,1
ДЦК+НК (0,2%)	759	0,329	7,15	43,5

Таблица 5

Состав образца	Средний диаметр пор, мкм	Объем пор, см ³ /г	Общая площадь пор, см ² /г
Контрольный	0,011	0,066	16050
ДЦК+добавка НМк	0,012	0,017	25730
ДЦК+добавка НК	0,014	0,016	26540

до 497 нм, а в добавке НМк – колебался от 86,36 до 337,75 нм при среднем значении 258,2 нм (рис. 2).

Выявлено, что увеличение содержания добавки с наноразмерными частицами кремнезема в составе ДЦК, полученной ультразвуковым диспергированием, до 0,2% приводит к возрастанию предела прочности при сжатии на 63%, при этом водопоглощение древесно-цементных композиций снижается на 28% (табл. 4).

Для добавки НК при ее содержании 0,03% предел прочности возрастает на 81%, а водопоглощение снижа-

ется на 40%. При увеличении НК до 0,2% происходит увеличение прочности от 3,24 до 7,15 МПа, а водопоглощение снижается на 50%.

Исследования пористости ДЦК, модифицированных нанодисперсными добавками, показали, что при модифицировании структуры ДЦК добавкой НМк объем пор снижается на 74%, общая площадь поверхности пор увеличивается в 1,6 раза, а средний диаметр пор увеличивается в 1,1 раза по сравнению с контрольным образцом (табл. 5).

Для ДЦК с наноразмерными частицами кремнезема, получаемых золь-гель-методом, происходит снижение объема пор на 76%, увеличение общей площади поверхности пор в 1,7 раза, а средний диаметр пор при этом увеличивается в 1,3 раза.

Подобное влияние добавки НК на структуру цементного камня древесно-цементных композиций предположительно связано с тем, что побочным продуктом добавки с наноразмерными частицами кремнезема, полученной золь-гель-методом, является ацетат натрия, входящий в маточный раствор. При взаимодействии гидроксида кальция с ацетатом натрия образуется ацетат кальция, который вступает в реакцию

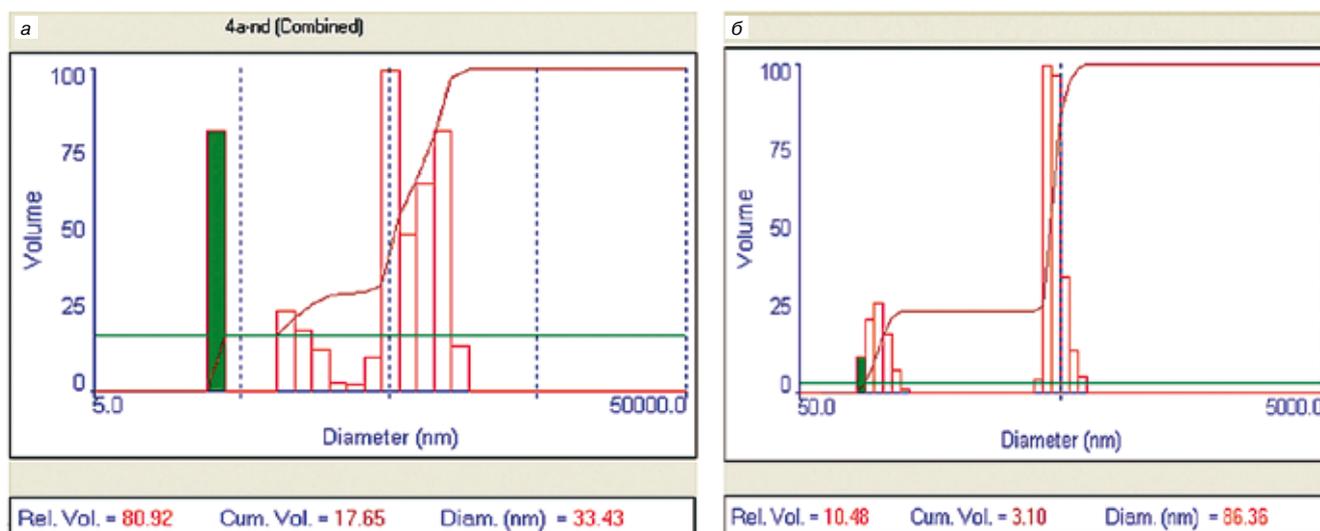


Рис. 2. Гистограммы распределения частиц нанокремнезема по размерам в возрасте 3 мес: а – получаемых по золь-гель-технологии; б – получаемого ультразвуковым диспергированием по размерам в водной среде ПАВ

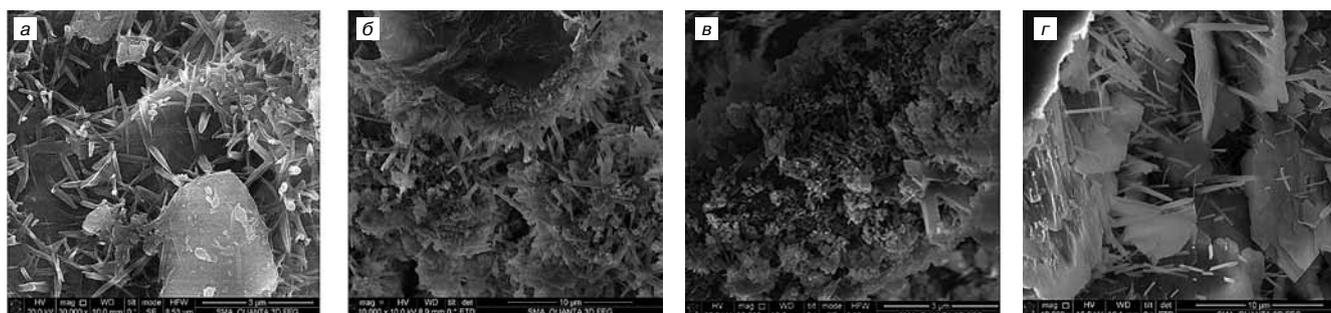


Рис. 3. Микроструктура древесно-цементной композиции: а, б – с добавкой НМк; в, г – с добавкой НК

присоединения с образованием труднорастворимых смешанных солей – гидратов [6, 7].

В начальный период гидратации скорость кристаллизации гидроацетоалюминатов и гидроацетосиликатов кальция выше скорости образования этtringита. Кристаллы этих образований оказывают микроармирующее действие на цементный камень, повышая его плотность и прочность. Золь кремниевой кислоты в сочетании с образующимися гидроацетоалюминатами кальция принимает непосредственное участие в формировании структуры цементного камня, кольматируя поры, и повышает непроницаемость ДЦК, а также приводит к образованию первичного каркаса, что обеспечивает кинетику набора прочности цемента на ранних сроках твердения.

Методом сканирующей электронной микроскопии (рис. 3) установлено, что структура цементного камня, модифицированного нанодисперсными добавками, отличается от контрольного образца цементного камня наличием в микропорах дополнительного количества волоконистых столбчатых кристаллов, морфология которых характерна для гидросиликатов кальция типа CSH (I).

На рисунке 3 (б, в) видно, что поверхность пор кольматруется плоскими игольчатыми новообразованиями труднорастворимых смешанных солей – гидроацетоалюминатами кальция и пучками волокон с суживающимися концами, характерными для CSH. Также установлено, что поверхность древесного заполнителя полностью покрыта новообразованиями, характерными для CSH.

При отсутствии добавки НМк (контрольный состав ДЦК) образуются крупные кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ориентированные параллельно поверхности заполнителя. Кристаллы портландита обладают меньшей прочностью, чем гидратированные силикаты кальция CSH, именно поэтому переходная зона является самым слабым местом в структуре конгломератов [3, 4]. Использование добавки НМк приводит к уплотнению структуры переходной зоны за счет заполнения свободного пространства. Поэтому уменьшается как величина кристаллов портландита, так и степень их ориентации относительно зерен заполнителя, что обуславливает улучшение переходной зоны.

Таким образом, доказана возможность улучшения физико-технических характеристик древесно-цементных композиций путем оптимизации структуры на макро-, микро- и наноуровнях за счет регулирования размеров частиц древесного заполнителя, применения добавок микро- и нанодисперсного кремнезема.

Список литературы

1. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. Л.: Стройиздат. 1990. 415 с.
2. Руденко Б.Д. Свойства древесно-цементной композиции при использовании прямоугольной стружки // *Лесной журнал*. 2009. № 1. С. 90–94.
3. Уголев Б.Н. Экспериментальные исследования влияния наноструктурных изменений древесины на ее деформативность // *Вестник МГУЛ*. 2012. Т. 90. № 7. С. 124–126.
4. Lukutsova N., Lukashov S., Matveeva E. Research of the fine-grained concrete modified by nanoadditive. // *SITA*. 2010. No. 3. Vol. 12, pp. 36–39.
5. Лукутцова Н.П., Горностаева Е.Ю., Поляков С.В., Петров Р.О. Модифицирование древесно-цементных композиций комплексными добавками // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2013. № 2. С. 13–16.
6. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификатора-

ми на основе техногенных отходов. Монография. М.: МГСУ, 2013. 204 с.

7. Доржиева Е.В. Исследования влияния золь-гель процессов на свойства цементного камня // *Нанотехнологии в строительстве*. 2011. № 6. С. 66–73.

References

1. Nanazashvili I.H. Stroitelnye materialy iz drevesno-tsementnoi kompozitsii [Building materials of wood-cement composition]. Leningrad: Stroyizdat. 1990. 415 p.
2. Rudenko B.D. Characteristics of wood-cement composite when using square chips. *Lesnoy Zhurnal*. 2009. No. 1, pp. 90–94. (In Russian).
3. Ugolev B.N. Experimental research of the influence of the nanostructure changes on wood deformability. *Vestnik MGUL*. 2012. Vol. 90. No. 7, pp. 124–126. (In Russian).
4. Lukutsova N., Lukashov S., Matveeva E. Research of the fine-grained concrete modified by nanoadditive. *SITA*. 2010. Vol. 12. No. 3, pp. 36–39.
5. Lukutsova N.P., Gornostaeva E.Y., Polyakov S.V., Petrov R.O. Modification of wood-cement compositions with complex additives. *Vestnik BGTU im V.G. Shukhova*. 2013. No. 2, pp. 13–16. (In Russian).
6. Bazhenov Y.M., Alimov L.A., Voronin V.V. Struktura i svoystva betonov s nanomodifikatorami na osnove tekhnogennykh otkhodov. Monografiya [The structure and properties of concrete with nanomodifiers based on anthropogenic wastes. Monograph]. Moscow: MGSU. 2013. 204 p.
7. Dorzhieva E.V. Effect studies of sol-gel processes on the properties of cement stone. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2011. No. 6, pp. 66–73. (In Russian).

Защита деревянных конструкций



Автор – А.Д. Ломакин, канд. техн. наук, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2013. 424 с.

В книге приведены результаты исследований, проведенных автором и разработанные им рекомендации по конструкционной и химической защите деревянных конструкций. Большое внимание уделено защите несущих ДКК и конструкций из ЛВЛ от эксплуатационных воздействий и возгорания.

Приведены известные и разработанные автором методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натуральных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Описаны результаты мониторинга влажностного состояния несущих КДК в таких крупных объектах, как ЦВЗ «Манеж», крытый конькобежный центр в Крылатском в Москве и др., при проведении которого использована разработанная автором методика оценки влажности древесины с использованием модельных образцов.

Книга рассчитана на специалистов и научных работников, работающих в области защиты деревянных конструкций, технологов предприятий по производству КДК и заводов деревянного домостроения, сотрудников проектных организаций и преподавателей вузов. Она может быть полезна также и для организаций, занимающихся строительством зданий и сооружений с применением деревянных конструкций.

Цена 1000 р. без почтовых расходов.

Заявки для приобретения направлять по тел./факсу: (499) 976-20-36, 976-22-08
E-mail: mail@rifsm.ru

УДК 666.972.11

Н.П. ЛУКУТЦОВА, д-р техн. наук (natluk58@mail.ru), А.Г. УСТИНОВ, инженер (allexian@mail.ru),
И.Ю. ГРЕБЕНЧЕНКО, магистрант (grebenchencko2015@yandex.ru)

Брянский государственный инженерно-технологический университет (241037, г. Брянск, пр-т Станке Димитрова, 3)

Новый вид модификатора структуры бетона – добавка на основе биосилифицированных нанотрубок

Представлены результаты исследований нового вида модификатора структуры бетона – нанодисперсной добавки на основе биосилифицированных нанотрубок из цианобактерий видов *Leptolyngbya* sp. 0511, *Leptolyngbya laminosa* 0412, *Leptolyngbya* sp. 0612 Байкальской рифтовой зоны. Изучены различные виды стабилизаторов добавки. Показано, что зависимость размеров частиц биосилифицированных нанотрубок и устойчивость дисперсных фаз суспензий в водной среде суперпластификатора С-3 и поливинилового спирта от времени ультразвукового диспергирования носит экстремальный характер. Установлено, что максимальный эффект от применения нанодисперсной добавки на основе биосилифицированных нанотрубок и С-3 наблюдается при ее содержании 0,3–0,5% от массы цемента. При этом предел прочности при сжатии бетона возрастает через 3 сут твердения в 1,7–2,5 раза, через 28 сут твердения – в 1,6–2 раза, при изгибе – в 2–3,6 раза, водопоглощение снижается в 2,3–4 раза.

Ключевые слова: цианобактерии, биосилифицированные нанотрубки, ультразвуковое диспергирование, стабилизаторы, нанодисперсная добавка, бетон, прочность.

N.P. LUKUTTSOVA, Doctor of Sciences (Engineering) (natluk58@mail.ru), A.G. USTINOV, Engineer (allexian@mail.ru),
I.Yu. GREBENCHENKO, Master student (grebenchencko2015@yandex.ru)

Bryansk State Engineering-Technological University (3, Stanke Dimitrova Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation)

A New Type of the Modifier of Concrete Structure is an Additive on the Basis of Bio-Silicified Nano-Tubes

Results of the study of a new type of the modifier of concrete structure, a nano-disperse additive on the basis of bio-silicified nano-tubes from cyanobacteria of *Leptolyngbya* sp. 0511, *Leptolyngbya laminosa* 0412, *Leptolyngbya* sp. 0612 of the Baikal Rift Zone, are presented. Various types of stabilizers of the additive have been studied. It is shown that the dependence of sizes of bio-silicified nanotubes particles and the stability of dispersed phases of suspensions in water medium of the superplasticizer C-3 and polyvinyl alcohol on the duration of ultrasound dispersion has an extreme character. It is established that the maximum effect of the use of the nano-dispersed additive on the basis of bio-silicified nanotubes and C-3 is achieved when the additive content is 0.3–0.5% of the cement mass. At that, the concrete compressive strength increases after 3 days of hardening by 1.7–2.5 times, after 28 days of hardening – by 1.6–2 times, flexural strength – by 2–3.6 times, water absorption reduces by 2.3–4 times.

Keywords: cyanobacteria, bio-silicified nano-tubes, ultra-sound dispersion, stabilizers, nano-disperse additive, concrete, strength.

В настоящее время необходимым условием создания высокопрочных и долговечных строительных композиционных материалов конструкционного и декоративно-го назначения является целенаправленное формирование плотной и бездефектной структуры не только на макро- и микро-, но и на наноуровне. Это условие может быть реализовано путем использования активных нанодисперсных добавок, выполняющих роль центров кристаллизации, вступающих в химические реакции с минералами цементного клинкера и приводящих к образованию дополнительного количества гидросиликатов кальция в поровом пространстве бетонов и растворов [1–3].

К наиболее распространенным способам синтеза большинства нанодобавок для композиционных материалов относятся технологии, для которых характерно применение дорогостоящего и энергоемкого оборудования, повышенных давления и температуры, плазмы и дугового разряда, а также токсичных реактивов с многостадийной химической очисткой. Это приводит к значительному увеличению стоимости данного класса добавок и препятствует их широкомасштабному внедрению.

Синтез наночастиц с использованием биологических источников вызывает огромный интерес вследствие ряда преимуществ перед традиционными технологиями. В качестве биологических объектов выступают бактерии, вирусы и водоросли.

Целью работы является исследование нанодисперсной добавки на основе биосилифицированных нанотрубок цианобактерий рифтовой зоны озера Байкал.

При проведении исследований использовались следующие материалы: смесь культур цианобактерий видов *Leptolyngbya* sp. 0511, *Leptolyngbya laminosa* 0412, *Leptolyngbya* sp. 0612; органические стабилизаторы: су-

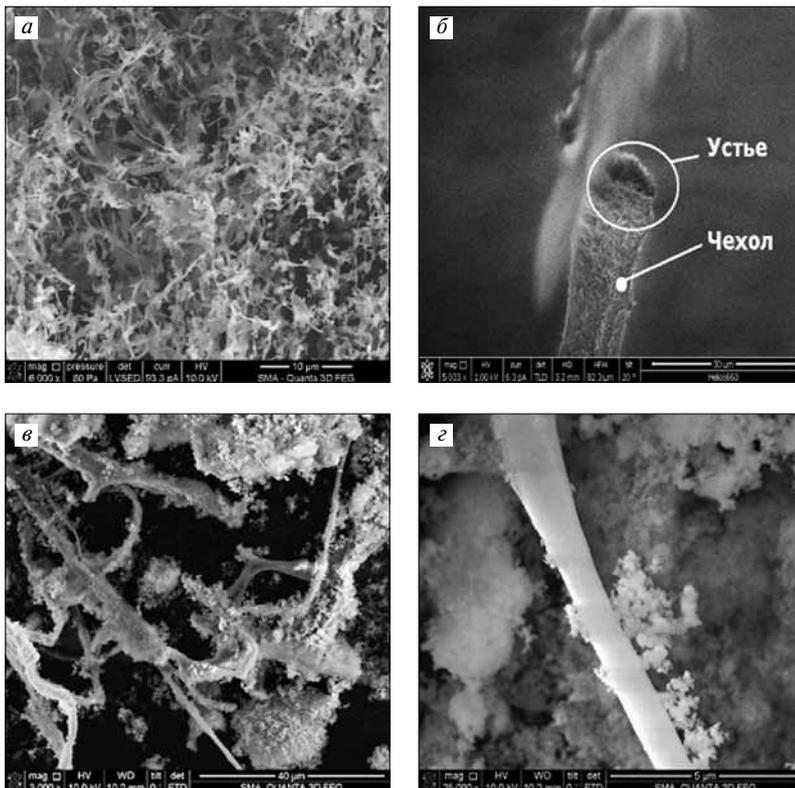
перпластификатор С-3 в виде сухого вещества (ОАО «Полипласт», г. Новомосковск, Тульская обл.); поливиниловый спирт (ПВС) марки 16/1 (ЗАО «Научно-производственная компания ЕрмакХим», г. Москва); дистиллированная вода; химические реактивы для получения питательной среды (ООО «РусХим», г. Москва).

Цианобактерии – это значительная группа крупных грамотрицательных бактерий термальных источников Байкальской рифтовой зоны.

Культура цианобактерий видов *Leptolyngbya* sp. 0511, *Leptolyngbya laminosa* 0412, *Leptolyngbya* sp. 0612 Байкальской рифтовой зоны выращивалась в модифицированной синтетической среде Z-8 при постоянном освещении и температуре 25°C с введением в состав питательной среды микродисперсной метакремниевой кислоты. Для ускорения роста цианобактерий их культивирование производилось в биореакторе при температуре 25°C при постоянном освещении и перемешивании в течение 10–24 сут, а в питательную среду дополнительно вводился хлорид аммония из расчета 0,05 г/л.

Ранее в работе [4] было установлено, что минерализацию кремния цианобактерии осуществляют тремя способами: откладывают аморфный кремнезем вокруг своих нитей, уплотняют и утолщают чехлы или формируют их из сфер субмикронных размеров (наносфер).

Исследование цианобактерий с помощью сканирующей электронной микроскопии показало, что под воздействием модифицированной питательной среды происходит постепенное окремнение цианобактерий. Через 5 сут образуется ажурная сетчатая структура (рисунок а), через 10 сут – минерализация сопровождается утолщением чехлов и формированием биосилифицированных трубок (БСТ) с круглыми отверстиями на кон-



Биосилифицированные нанотрубки: а – биосилифицированные нанотрубки, $\times 800$; б – чехол биосилифицированной нанотрубки через 10 сут экспозиции в модифицированной синтетической питательной среде, $\times 5000$; в – биосилифицированные нанотрубки и агрегаты кремнезема, $\times 3000$; г – биосилифицированная нанотрубка, $\times 25000$

Таблица 1

Суспензия биосилифицированных нанотрубок		Размеры частиц дисперсной фазы, нм		
Стабилизатор	Время ультразвукового диспергирования, мин	Минимальный	Максимальный	Средний
Без стабилизаторов	10	438	4384	1249
	15	381	1834	593
С-3	5	259	972	448
	10	61	742	320
С-3	15	81	915	502
	5	2135	11651	7136
ПВС	10	1450	5530	3830
	15	1560	10914	4510
ПВС	20	3197	26185	6400
	30	4660	52200	39910

Таблица 2

Показатель	Содержание добавки, %				
	0	0,3	0,4	0,5	0,6
Подвижность (ОК), см	3	5,4	8,9	10,4	11,7
Средняя плотность, кг/м ³	2190	2212	2234	2282	2245
Предел прочности при сжатии через 3 сут твердения, МПа	13,1	21,9	24,7	32,5	30,7
Предел прочности при сжатии через 28 сут твердения, МПа	21,3	34,6	37,8	43,8	37,6
Предел прочности при изгибе через 28 сут твердения, МПа	1,9	3,9	4,4	6,8	4,5
Водопоглощение, %	14,8	6,4	5,9	3,6	3,9

Примечание. Портландцемент ПЦ500-Д0.

цах. На этом этапе отчетливо различимы устье и кремнеземистый чехол (рисунок б). На 24-е сут экспозиции в минерализованной питательной среде поверхность БСТ становится плотной с гладкой внешней поверхностью (рисунки в, г).

Для дальнейшего использования БСТ подвергалась термической обработке при температуре 70°C в растворе пероксида водорода концентрацией 37% в течение 0,3 ч. Полученную массу промывали в дистиллированной воде и высушивали [5].

Исследование полученных БСТ методом рентгенофазного анализа (дифрактометр ARL X'TRA) показало, что они преимущественно состоят из аморфного кремнезема 97,6%, а химический состав представлен кислородом (44,15%), кремнием (46,66%), углеродом (6,77%), натрием (1,13%), магнием (0,74%) и фосфором (0,55%). Присутствие углерода подтверждает наличие остатков цианобактерий.

Получение нанодисперсной добавки на основе БСТ осуществлялось в два этапа. На первом этапе производился помол в лабораторной мельнице биосилифицированных трубок до удельной поверхности частиц 360–380 м²/кг. На втором этапе БСТ измельчали в водной среде в присутствии стабилизатора с помощью механоактиватора в течение 5–30 мин при частоте ультразвука 35 кГц и концентрации твердой фазы 5–15%.

Установлено, что ультразвуковое диспергирование способствует разделению и разрушению переплетенных БСТ, а также получению нано- и микродисперсных объектов размерами от 61 до 4384 нм трех типов: нанотрубки и их агрегаты, обломки трубчатых образований и агрегированные частицы кремнезема (рисунки в, г).

Ранее выполненные исследования [3, 6] показали, что ультразвуковое диспергирование минеральных частиц в водной среде без стабилизаторов приводит к получению суспензий, дисперсные фазы которых агрегативно неустойчивы, что подтверждается средним значением ζ -потенциала дисперсной системы (-3,48 мВ), которое ниже критического (-30 мВ), в то время как для стабильных систем величина ζ -потенциала колеблется в интервале $\pm(30-70)$ мВ [7].

Для повышения агрегативной устойчивости нанодисперсных добавок на основе биосилифицированных нанотрубок в водной дисперсионной среде исследовали влияние различных по механизму действия и в то же время наиболее распространенных модификаторов: суперпластификатора С-3 и поливинилового спирта.

Результаты фотонно-корреляционной спектроскопии показали, что зависимость размеров частиц и устойчивости дисперсных фаз суспензий БСТ, стабилизированных С-3 и ПВС, от времени УЗД носит экстремальный характер, а время ультразвукового диспергирования 10 мин является оптимальным для получения добавок с минимальными размерами частиц (табл. 1).

Было установлено, что при ультразвуковом диспергировании биосилифицированных нанотрубок в присутствии С-3 в течение

ние 5–10 мин средний размер частиц снижается от 448 до 320 нм при минимальном их размере 61 нм, а при времени диспергирования от 10 до 15 мин размеры частиц повышаются от 320 до 502 нм.

Анализ влияния времени УЗД на величину ζ -потенциала дисперсных фаз нанодисперсной добавки БСТ, стабилизированных С-3, показал, что их устойчивость к агрегации повышается пропорционально продолжительности УЗД от 5 до 10 мин, что подтверждается изменением среднего значения ζ -потенциала от -38,5 до -74,2 мВ. Эффект стабилизации добавки на основе биосилифицированных нанотрубок с С-3 вызван главным образом тем, что адсорбционные слои повышают абсолютную величину ζ -потенциала, т. е. агрегативная устойчивость частиц обеспечивается преимущественно их электростатическим отталкиванием.

Ультразвуковое диспергирование биосилифицированных нанотрубок в водной среде поливинилового спирта в течение 5–10 мин приводит к получению добавок, средний размер частиц которых снижается от 7136 до 3830 нм при минимальном значении 1450 нм, а при возрастании времени УЗД от 10 до 15 мин он увеличивается от 3830 до 4510 нм. Дальнейшее изменение времени ультразвуковой обработки от 10 до 30 мин нецелесообразно, так как приводит к агрегированию частиц и образованию агрегатов с размерами частиц до 39910 нм. При этом ζ -потенциал изменяется незначительно, от -38,5 до -44,4 мВ. Однако для неионогенных высокомолекулярных стабилизаторов, к которым относится поливиниловый спирт, фактор электростатического отталкивания, как показали ранее выполненные исследования, не имеет значения [6].

Надо отметить, что использование в качестве стабилизатора нанодисперсной добавки поливинилового спирта приводит к образованию больших по размеру адсорбционных слоев, что увеличивает «кажущиеся» размеры частиц дисперсной фазы* по сравнению с С-3 от 320 до 3830 нм, т. е. более чем в 10 раз, а агрегативная устойчивость обеспечивается главным образом за счет адсорбционно-сольватного и структурно-механического факторов.

На основании выполненных исследований запатентован способ получения нанодисперсной добавки на основе биосилифицированных нанотрубок, стабилизированных суперпластификатором С-3 [8].

Добавку, полученную ультразвуковым диспергированием, перемешивали с водой затворения и готовили бетонную смесь состава цемент:песок:щебень = 1:2,8:5,6, из которой формировали образцы, твердевшие в нормальных условиях 28 сут (табл. 2).

Установлено, что максимальный эффект от применения нанодисперсной добавки на основе биосилифицированных нанотрубок наблюдается при ее содержании 0,3–0,5% от массы цемента (в пересчете на сухое вещество). При этом предел прочности при сжатии возрастает через 3 сут твердения в 1,7–2,5 раза, через 28 сут – в 1,6–2 раза, при изгибе – в 2–3,6 раза, водопоглощение снижается в 2,3–4 раза.

Кроме того, нанодисперсная добавка позволяет уменьшить расход цемента до 30%.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. Монография. Москва: МГСУ, 2013. 204 с.
2. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А. Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных

добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона. Монография. Брянск: БГИТА, 2014. 216 с.

3. Lukutsova N., Luginina I., Karpikov E., Pykin A., Ystinov A., Pinchukova I. High-performance fine concrete modified with nano-dispersion additive // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2014. Vol. 9. No. 22, pp. 16725–16733.
4. Сороковникова Е.Г., Даниловцева Е.Н., Анненков В.В., Каресоя М., Лихошвай Е.В. Изучение окремнения цианобактерий методами химического анализа и электронной микроскопии // *Тез. докл. IV съезда Российского общества биохимиков и молекулярных биологов*. Новосибирск, 2008. С. 484–486.
5. Патент РФ 2539734 *Способ получения биосилифицированных нанотрубок* / Лукутцова Н.П., Устинов А.Г. Заявлено 22.11.2013. Опубл. 27.01.2015. Бюл. № 3.
6. Lukutsova N., Pykin A. Stability of nanodisperse additives based on metakaolin // *Glass and Ceramics*. 2015. Vol. 71. No. 38, pp. 383–386.
7. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии: поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Альянс, 2009. 464 с.
8. Патент РФ 2557412 *Способ получения нанодисперсной добавки для бетона* / Лукутцова Н.П., Устинов А.Г. Заявлено 12.12.2013. Опубл. 20.07.2015. Бюл. № 20.

References

1. Bazhenov Y.M., Alimov L.A., Voronin V.V. *Struktura i svoistva betonov s nanomodifikatorami na osnove tekhnogennykh otkhodov*. Monografiya [The structure and properties of concrete with nanomodifiers based on anthropogenic wastes. Monograph]. Moscow: MGSU. 2013. 204 p.
2. Lukutsova N.P., Pykin A.A. *Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty polucheniya mikro- i nanodispersnykh dobavok na osnove shungitosoderzhashchikh porod dlya betona*. Monografiya [Theoretical and technological aspects of production of schungite-based micro- and nano-disperse additives to concrete. Monograph]. Bryansk: BGITA. 2014. 216 p.
3. Lukutsova N., Luginina I., Karpikov E., Pykin A., Ystinov A., Pinchukova I. High-performance fine concrete modified with nano-dispersion additive. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2014. Vol. 9. No. 22, pp. 16725–16733.
4. Sorokovnikova E.G., Danilovceva E.N., Annenkov V.V., Karesoja M., Lihoshvaj E.V. Learning silicification cyanobacteria by chemical analysis and electron microscopy. *Abstracts of the IV Congress of the Russian Society of Biochemistry and Molecular Biology*. Novosibirsk. 2008, pp. 484–486. (In Russian).
5. Patent RF 2539734 *Sposob polucheniya biosilificirovannykh nanotrubok* [The process for producing biosilicified nanotubes]. Lukutsova N.P., Ustinov A.G. Declared 22.11.2013. Published 27.01.2015. Bulletin No. 3. (In Russian).
6. Lukutsova N., Pykin A. Stability of nanodisperse additives based on metakaolin. *Glass and Ceramics*. 2015. Vol. 71. No. 38, pp. 383–386.
7. Frolov Ju.G. *Kurs kolloidnoj himii: poverhnostnye javlenija i dispersnye sistemy* [Course of Colloid Chemistry: Surface phenomena and disperse systems]. Moscow: Al'jans. 2009. 464 p.
8. Patent RF 2557412 *Sposob polucheniya nanodispersnoj dobavki dlja betona* [A method for producing nano-dispersed additives for concrete]. Lukutsova N.P., Ustinov A.G. Declared 12.12.2013. Published 20.07.2015. Bulletin No. 20. (In Russian).

* Следует иметь в виду, что при определении размеров частиц методом фотонно-корреляционной спектроскопии не учитываются отдельно диаметр и длина биосилифицированных нанотрубок.

УДК 691.327.32

А.А. ПЫКИН, канд. техн. наук (alexem87@yandex.ru),
С.В. ВАСЮНИНА, канд. техн. наук (lady-vasunina@yandex.ru),
А.А. КАЛУГИН, инженер (karanecho@rambler.ru), А.А. СПОДЕНЕЙКО, инженер (aly-spodenejko@yandex.ru),
Ю.А. АВЕРЬЯНЕНКО, магистрант (missjuly93@mail.ru),
М.Н. АЛЕКСАНДРОВА, магистрант (m.semen4enko028@yandex.ru)

Брянский государственный инженерно-технологический университет (241037, г. Брянск, пр-т Станке Димитрова, 3)

Повышение эффективности крупнопористого керамзитобетона нанодисперсными добавками*

Изучены физико-механические свойства и структура крупнопористого (беспесчаного) керамзитобетона (ККБ) с использованием керамзитового гравия, модифицированного нанодисперсными добавками-суспензиями, получаемыми в результате ультразвукового диспергирования метакаолина в водных средах органических стабилизаторов – суперпластификатора С-3 и поливинилового спирта. Установлено, что насыщение керамзитового гравия разработанными добавками перед смешиванием с портландцементом приводит к повышению (на 55–75%) предела прочности при сжатии крупнопористого керамзитобетона. Повышение прочности ККБ обусловлено взаимодействием наночастиц метакаолина с портландитом с формированием в цементном камне на поверхности керамзита и в поверхностном слое керамзитовых гранул дополнительного количества кристаллических новообразований, идентичных гидросиликатам и гидроалюминатам кальция, а также этtringиту, способствующих уплотнению и упрочнению зоны контакта цементной матрицы с заполнителем.

Ключевые слова: крупнопористый керамзитобетон, нанодисперсные добавки, метакаолин, керамзит, портландит, ультразвуковое диспергирование.

A.A. PYKIN, Candidate of Sciences (Engineering) (alexem87@yandex.ru), S.V. VASYUNINA, Candidate of Sciences (Engineering) (lady-vasunina@yandex.ru), A.A. KALUGIN, Engineer (karanecho@rambler.ru), A.A. SPODENEYKO, Engineer (aly-spodenejko@yandex.ru), Yu.A. AVER'YANENKO, Master student (missjuly93@mail.ru), M.N. ALEKSANDROVA, Master student (m.semen4enko028@yandex.ru)
Bryansk State Engineering-Technological University (3, Stanke Dimitrova Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation)

Improvement of Efficiency of No-Fines Haydite Concrete with Nano-Disperse Additives*

Physical-mechanical properties and structure of no-fines (no-sand) haydite concrete (NHC) with the use of haydite gravel modified by nano-disperse additive-suspensions obtained as a result of the ultra-sound dispersion of meta-kaolin in water media of organic stabilizer: the superplasticizer C-3 and polyvinyl alcohol have been studied. It is established that the saturation of haydite gravel with developed additives before mixing with Portland cement leads to increase (by 55–75%) in the compressive strength of no-fines haydite concrete. Increasing the strength of NHC is due to the interaction of meta-kaolin particles with Portlandite with formation, on the haydite surface and in the surface layer of haydite granules, of additional quantity of crystal new-formations identical to hydrosilicate and calcium hydro-aluminate, as well as ettringite facilitating compaction and strengthening of a contact zone of the cement matrix with a filler.

Keywords: no-fines haydite concrete, nano-disperse additives, meta-kaolin, haydite, Portlandite.

Увеличение нормативных показателей теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий определяет высокий объем использования легких бетонов (бетонов на пористых заполнителях, ячеистых бетонов) в строительстве. Их широкая номенклатура позволяет достичь современных требований по теплоизоляции в совокупности с необходимыми прочностными характеристиками. При этом с позиции технико-экономической эффективности перспективным является использование легких бетонов с крупнопористой структурой, представляющих собой беспесчаные бетоны с зернистым строением и открытой непрерывной (сквозной) пористостью, в которых небольшое количество цементного камня, обволакивая и скрепляя тонким слоем зерна крупного пористого заполнителя, не заполняет межзерновую пустотность.

В настоящее время среди легких беспесчаных бетонов наиболее изученным и широко применяемым в малоэтажном и коттеджном строительстве является крупнопористый керамзитобетон (ККБ). Значительный вклад в развитие теоретических и практических основ его получения внесли исследования сотрудников ЗАО «НИИКерамзит» (г. Самара), ОАО «Московский ИМЭТ» (г. Москва), ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» (Республика Беларусь).

Обзорный анализ ранее выполненных исследований показывает, что несмотря на высокие теплозащитные характеристики, существует необходимость повышения прочности при сжатии изделий на основе ККБ без увеличения их средней плотности [1].

Одним из решений этой проблемы является усиление прочности сцепления (адгезии) цементного камня с зернами керамзитового заполнителя путем создания на их поверхности реакционного слоя, способного вступить в химическое взаимодействие с новообразованием цемента при его гидратации, что может быть достигнуто в результате модификации гранул керамзита активными химическими и минеральными добавками [2].

В данном направлении большой научно-практический интерес представляют собой нанодисперсные добавки (НД), получаемые активацией природного и техногенного силикатного (опал-кristобалитовые породы, биогенный кремнезем, микрокремнезем, золы-уноса, отвальные золошлаковые смеси, отсева дробления бетонного лома и др.), углерод-силикатного (шунгитовые породы) или алюмосиликатного сырья (глины, метакаолин и др.) [3–5].

Целью данной работы являлось исследование влияния керамзитового заполнителя, модифицированного нанодисперсными добавками-суспензиями, получае-

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-03-97511-р_центр_a).

* This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project №13-03-97511-r_tsentr_a).

Таблица 1

Состав суспензии		Диаметр частиц дисперсной фазы, нм				Полидисперсность, %	ζ-потенциал, мВ
Минеральный компонент	Стабилизатор	Минимальный	Максимальный	Средний	Эффективный		
Метакаолин	–	80,8	834,9	593,6	578,9	22,8	-4,9
	С-3	39,4	223,6	29,3	150,2	18,3	-72,8
	ПВС	11,2	561,2	70,8	269,8	30,5	-41,4

Таблица 2

Расход материалов на 1 м ³ ККБ			В/Ц	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
Портландцемент, кг	Керамзитовый гравий, кг	Нанодисперсная добавка-суспензия, л			
Контрольный состав ККБ					
230	530	–	0,39	780	2,8
ККБ на керамзите, модифицированном наночастицами метакаолина со стабилизатором С-3					
230	530	116	0,3	778	4,35
ККБ на керамзите, модифицированном наночастицами метакаолина со стабилизатором ПВС					
230	530	116	0,32	777	4,91

мыми способом ультразвукового диспергирования (УЗД) метакаолина в водных средах органических стабилизаторов, на физико-механические свойства и структуру ККБ.

В качестве исходных компонентов для получения НД использовались: метакаолин (ООО «Синерго», г. Магнитогорск) в виде тонкодисперсного порошкообразного материала, включающего более 50% оксида алюминия Al₂O₃ и около 43% оксида кремния SiO₂; органический стабилизатор анионного типа – суперпластификатор С-3 в виде сухого вещества (ОАО «Полипласт», г. Новомосковск); органический стабилизатор неионогенного типа – поливиниловый спирт (ПВС) марки 16/1 (ЗАО «Научно-производственная компания ЕрмакХим»); дистиллированная вода.

Ультразвуковое диспергирование исходного метакаолина (удельная поверхность 1200 м²/кг, средний диаметр частиц 13810 нм) в водных средах органических стабилизаторов осуществлялось с помощью импульсного активатора ванного типа ПСБ-4035-04 при температуре 20±2°С и частоте ультразвука 35 кГц [6].

Результаты фотонно-корреляционной спектроскопии и электрофоретического светорассеяния на лазерном анализаторе ZetaPlus показали, что УЗД метакаолина в водной среде стабилизатора С-3 приводит к получению суспензии, средний диаметр частиц которой составляет 29,3 нм в интервале 39,4–223,6 нм, а в водной среде стабилизатора ПВС – 70,8 нм в интервале 11,2–561,2 нм. Размеры частиц и показатели устойчивости дисперсных фаз суспензий метакаолина после ультразвукового диспергирования представлены в табл. 1.

Эффект стабилизации С-3 вызван тем, что адсорбционные слои повышают абсолютную величину ζ-потенциала от -4,9 до -72,8 мВ, т. е. агрегативная устойчивость наночастиц метакаолина обеспечивается преимущественно их электростатическим отталкиванием. В то же время использование стабилизатора ПВС приводит к образованию больших по протяженности адсорбционных слоев, что увеличивает эффективный (кажущийся) диаметр наночастиц метакаолина от 150,2 до 269,8 нм, по сравнению с С-3. В этом случае агрегативная устойчивость обеспечивается главным образом за счет адсорбционно-соляватного и структурно-механического факторов [7].

Исследование влияния керамзитового заполнителя, модифицированного разработанными нанодисперсными добавками, на физико-механические свойства (предел прочности при сжатии, среднюю плотность) и структуру ККБ проводилось на образцах размерами 10×10×10 см, изготовленных из равноподвижных (маркой по удобо-



Рис. 1. Микроструктура крупнопористого керамзитобетона: а – контрольный образец (×10000); б – с керамзитом, модифицированным наночастицами метакаолина со стабилизатором С-3 (×10000); в – с керамзитом, модифицированным наночастицами метакаолина со стабилизатором ПВС (×10000)



Рис. 2. Микроструктура цементного камня в контактной зоне с керамзитом в крупнопористом керамзитобетоне: а – контрольный образец (×20000); б – с керамзитом, модифицированным наночастицами метакаолина со стабилизатором С-3 (×30000); в – с керамзитом, модифицированным наночастицами метакаолина со стабилизатором ПВС (×30000)

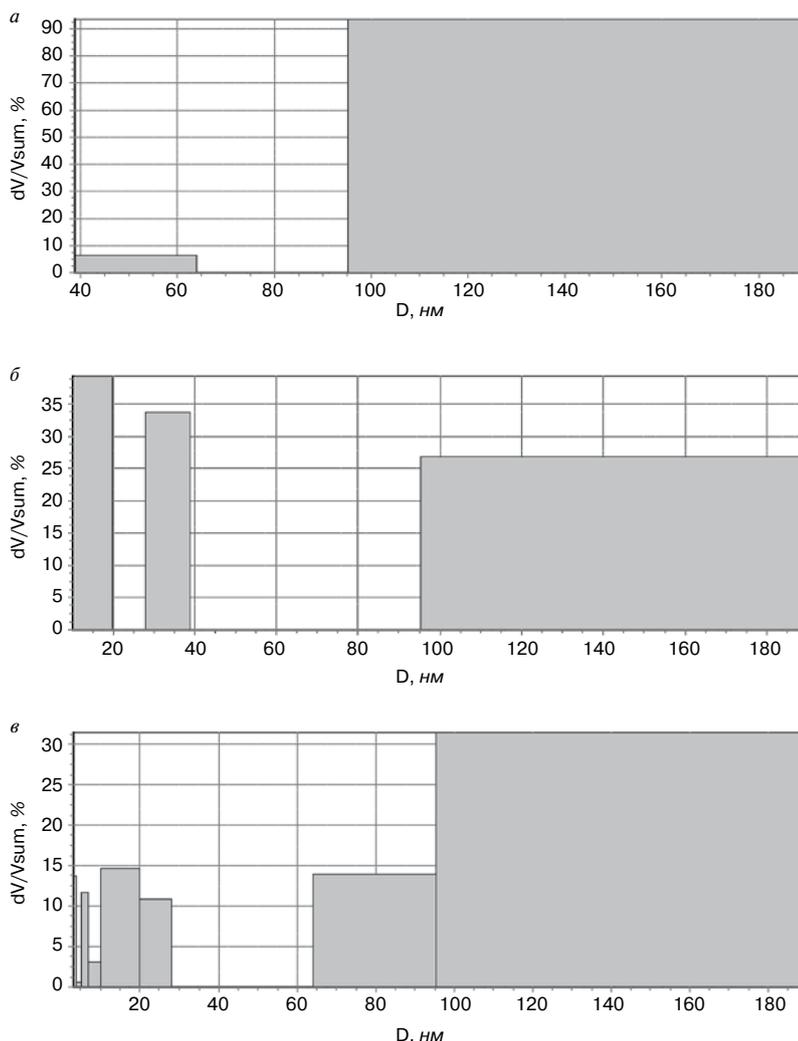


Рис. 3. Распределение пор по размерам в цементном камне из контактной зоны с керамзитом в крупнопористом керамзитобетоне: а – контрольный образец; б – с керамзитом, модифицированным наночастицами метакаолина со стабилизатором С-3; в – с керамзитом, модифицированным наночастицами метакаолина со стабилизатором ПВС

укладываемости П1) смесей: портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н (ЗАО «Мальцовский портландцемент», г. Фокино), керамзит фракции 10–20 мм насыпной плотностью 300 кг/м³ (ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль») и питьевая вода.

Приготовление керамзитобетонных смесей осуществлялось в следующей последовательности: дозирование сырьевых компонентов, предварительное насыщение керамзитового гравия нанодисперсными добавками-суспензиями в течение 15 мин (объемное поглощение нанодобавок составляло 6%), перемешивание модифицированного заполнителя с портландцементом и частью воды затворения в течение 1,5 мин.

Средняя плотность и предел прочности при сжатии контрольных и модифицированных образцов ККБ в возрасте 28 сут твердения определялись по стандартным методикам. Структура образцов исследовалась методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) на приборе TESCAN MIRA 3 LMU и азотной порометрии на приборе Sorbi-M.

Анализ влияния керамзитового гравия, насыщенного нанодобавками, на прочность крупнопористого керамзитобетона показал (табл. 2), что при использовании суспензии, содержащей наночастицы метакаолина со стабилизатором ПВС, предел прочности при сжатии модифицированных образцов ККБ возрастает

на 75% по сравнению с контрольным составом бетона и составляет 4,91 МПа, а со стабилизатором С-3 – на 55% и составляет 4,35 МПа.

При этом модификация керамзита нанодобавками практически не влияет на изменение средней плотности крупнопористого керамзитобетона.

Результаты РЭМ контактных зон цементного камня (ЦК) и керамзитового заполнителя в образцах бездобавочного и модифицированного ККБ показали различие в их структуре. В зоне контакта ЦК с поверхностью керамзита в образце контрольного состава зафиксировано наличие рыхлой и дефектной структуры с четко выраженной границей раздела фаз (рис. 1, а).

Образцы ККБ на керамзитовом гравии, насыщенном нанодобавками, отличаются более монолитным срастанием цементной матрицы с гранулами керамзита (рис. 1, б, в), что обусловлено взаимодействием наночастиц метакаолина с портландитом с формированием дополнительного количества кристаллических новообразований, идентичных гидросиликатам и гидроалюминатам кальция, а также этрингиту, способствующих уплотнению зоны контакта ЦК с заполнителем. Следствием этого является повышение прочности бетона в целом.

По данным РЭМ установлено, что цементный камень из контактной зоны с керамзитом в ККБ контрольного состава характеризуется крупнокристаллической структурой с микротрещинами и рыхлыми скоплениями в порах мелкодисперсных волокон, идентичных гидросиликатам кальция С–S–Н [8, 9] (рис. 2, а).

Образцы цементного камня, взятые из контактных зон с гранулами керамзита, предварительно насыщенного наночастицами метакаолина, представлены мелкокристаллической структурой с содержанием в порах близких к аморфным новообразований, идентичных С–S–Н-гелю. Кроме того, в присутствии стабилизатора С-3 в порах цементного камня образуются крупные гексагональные пластинки, переходящие в слабоспаянные тонкие частицы (рис. 2, б), а в присутствии стабилизатора ПВС – мелкие пластинчатые и частично кубовидные кристаллы (рис. 2, в). В обоих случаях морфология новообразований идентична гидроалюминатам кальция [10].

Результаты азотной порометрии показали, что в цементном камне из контактной зоны с керамзитовым гравием в ККБ контрольного состава содержатся поры размерами 51,406 и 142,29 нм, приходящиеся на долю макропор (согласно классификации, утвержденной Международным союзом по теоретической и прикладной химии IUPAC [11]), общий объем которых составляет $4 \cdot 10^{-3}$ см³/г. При этом распределение пор относительно их общего объема выглядит следующим образом: 6,54% ($0,26 \cdot 10^{-3}$ см³/г) составляют поры размером 51,406 нм; 93,46% ($3,74 \cdot 10^{-3}$ см³/г) – поры размером 142,29 нм (рис. 3, а).

Цементный камень в зоне контакта с керамзитом, модифицированным наночастицами метакаолина со стабилизатором С-3, содержит поры общим объемом $3 \cdot 10^{-3}$ см³/г, из которых 73,1% ($2,19 \cdot 10^{-3}$ см³/г) составляют мезопоры размерами 14,998 и 33,434 нм; 26,9% ($0,81 \cdot 10^{-3}$ см³/г) – макропоры размером 142,29 нм (рис. 3, б).

В то же время цементный камень из контактной зоны с керамзитом, модифицированным наночастицами метаксаолина со стабилизатором ПВС, характеризуется содержанием пор общим объемом $3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$, из которых 54,63% ($1,64 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$) приходится на долю мезопор размерами от 3,496 до 23,943 нм; 45,37% ($1,36 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$) — на долю макропор размерами 79,642 и 142,29 нм (рис. 3, в).

Таким образом, выполненные исследования подтвердили возможность повышения эффективности крупнопористого керамзитобетона путем модификации керамзитового гравия нанодисперсными добавками, получаемыми в виде суспензий способом ультразвукового диспергирования метаксаолина в водных средах органических стабилизаторов (суперпластификатора С-3 и поливинилового спирта). Насыщение керамзита данными добавками перед смешиванием с порландцементом приводит к повышению предела прочности при сжатии крупнопористого керамзитобетона на 55–75% без увеличения средней плотности.

Полученный результат является следствием направленного воздействия наночастиц метаксаолина на формирование структуры цементного камня в зоне контакта с керамзитовым заполнителем за счет дополнительного образования уплотняющих и упрочняющих кристаллических сростков, идентичных гидросиликатам и гидроксидам кальция, а также этрингиту, которые способствуют перераспределению пористости цементной матрицы в сторону уменьшения объема макропор размером от 50 до 100 нм и более (в 2–5 раз) и увеличения доли мезопор размером от 2 до 50 нм, что обуславливает повышение физико-механических свойств крупнопористого керамзитобетона.

Список литературы

1. Горин В.М., Вытчиков Ю.С., Шиянови Л.П., Беляков И.Г. Исследование теплозащитных характеристик стеновых ограждающих конструкций зданий коттеджей, построенных с применением беспесчаного керамзитобетона // *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 28–31.
2. Патент РФ 2448930. Керамзитобетон на модифицированном керамзитовом гравии / Минаков Ю.А., Кононова О.В., Софронов С.П. Заявл. 09.11.2010. Оpubл. 27.04.2012. Бюл. № 12.
3. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А. Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона. Монография. Брянск: БГИТА, 2014. 216 с.
4. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. Монография. Москва: МГСУ, 2013. 204 с.
5. Кирсанова А.А., Крамар Л.Я. Органоминеральные модификаторы на основе метаксаолина для цементных бетонов // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 54–56.
6. Патент РФ 2563264. Способ изготовления комплексной нанодисперсной добавки для высокопрочного бетона / Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Суглобов А.В. Заявл. 30.07.2014. Оpubл. 20.09.2015.
7. Кошевар В.Д. Органоминеральные дисперсии. Регулирование их свойств и применение. Монография. Минск: Белорусская наука, 2008. 312 с.
8. Merlin A. Etzold, Peter J. McDonald, Alexander F. Routh. Growth of sheets in 3D confinements — a model for the C–S–H meso structure. *Cement and Concrete Research*. 2014. Vol. 63, pp. 137–142.
9. Papatzani S., Paine K., Calabria-Holley J. A comprehensive review of the models on the nanostructure of calcium silicate hydrates. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 74, pp. 219–234.
10. Романенков В.Е. Физико-химические основы гидратационного твердения порошковых сред. Монография. Минск: Белорусская наука, 2012. 197 с.
11. Гришина А.Н., Королев Е.В. Эффективность модифицирования цементных композитов наноразмерными гидросиликатами бария // *Строительные материалы*. 2015. № 2. С. 72–76.

References

1. Gorin V.M., Vytchikov Y.S., Shiyonovi L.P., Belyakov I.G. Study of heat protection characteristics of wall enclosing structures of cottage buildings built with the use of no-sand haydite concrete. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 7, pp. 28–31. (In Russian).
2. Patent RF 2448930. *Keramzitobeton na modifitsirovannom keramzitovom gravii* [Ceramsite concrete on the modified claydite gravel]. Minakov Y.A., Kononova O.V., Sofronov S.P. Declared 09.11.2010. Published 27.04.2012. Bulletin No. 12. (In Russian).
3. Lukutsova N.P., Pykin A.A. Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty polucheniya mikro- i nanodispersnykh dobavok na osnove shungitosoderzhashchikh porod dlya betona. Monografiya [Theoretical and technological aspects of production of shungite-based micro- and nano-disperse additives to concrete. Monograph]. Bryansk: BGITA. 2014. 216 p.
4. Bazhenov Y.M., Alimov L.A., Voronin V.V. Struktura i svoystva betonov s nanomodifikatorami na osnove tekhnogennykh otkhodov. Monografiya [The structure and properties of concrete with nanomodifiers based on anthropogenic wastes. Monograph]. Moscow: MGSU. 2013. 204 p.
5. Kirsanova A.A., Kramar L.Y. Organomineral modifiers on the basis of meta-kaolin for cement concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2013. No. 11, pp. 54–56. (In Russian).
6. Patent RF 2563264. *Sposob izgotovleniya kompleksnoi nanodispersnoi dobavki dlya vysokoprochnogo betona* [The Method for producing of complex nano-disperse additive for high-performance fine concrete]. Lukutsova N.P., Pykin A.A., Suglobov A.V. Declared 30.07.2014. Published 20.09.2015. (In Russian).
7. Koshevar V.D. Organo-mineral'nye dispersii. Regulirovanie ikh svoystv i primenenie. Monografiya [Organo-mineral dispersion. Their properties and applications control. Monograph]. Minsk: Belorusskaya nauka. 2008. 312 p.
8. Merlin A. Etzold, Peter J. McDonald, Alexander F. Routh. Growth of sheets in 3D confinements — a model for the C–S–H meso structure. *Cement and Concrete Research*. 2014. Vol. 63, pp. 137–142.
9. Papatzani S., Paine K., Calabria-Holley J. A comprehensive review of the models on the nanostructure of calcium silicate hydrates. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 74, pp. 219–234.
10. Romanenkov V.E. Fiziko-khimicheskie osnovy gidratatsionnogo tverdeniya poroshkovykh sred. Monografiya [Physical and chemical bases of hydration hardening of powder media. Monograph]. Minsk: Belorusskaya nauka. 2012. 197 p.
11. Grishina A.N., Korolev E.V. Effectiveness of cement composite nanomodification with nanoscale barium hydrosilicates. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 2, pp. 72–76. (In Russian).

УДК 691:539.2

Л.И. ЕВЕЛЬСОН, канд. техн. наук (levelmoscow@mail.ru), Н.П. ЛУКУТЦОВА, д-р техн. наук (natluk58@mail.ru),
А.Н. НИКОЛАЕНКО, инженер (wnav111@yandex.ru), Е.Н. ХОМЯКОВА, химик (kat-himik@inbox.ru),
Я.А. РИВОНЕНКО, магистрант (riyanaone@yandex.ru)

Брянский государственный инженерно-технологический университет (241037, г. Брянск, пр-т Станке Димитрова, 3)

Некоторые практические аспекты фрактального моделирования структуры нанокomпозиционного материала*

Рассмотрены некоторые практические аспекты фрактального моделирования структуры наномодифицированных бетонов, содержащих серпентинит, волластонит, шунгит и метакаолин, с целью последующего их применения при решении оптимизационных задач. Изучены две фрактальные характеристики микроструктуры наномодифицированных бетонов: фрактальная размерность D и лакуарность L с использованием программы ImageJ с установленным расширением (плагином) FracLac. Установлено, что величина фрактальной размерности является значительно более инвариантной, чем лакуарность. Показано, что важной особенностью является тот факт, что при ранжировании результатов по фрактальной размерности и лакуарности порядок следования наномодификаторов не изменяется при разных увеличениях и настройках. Используемая методика применения фрактального анализа для моделирования структуры композитных материалов является унифицированной и может быть пригодной для описания подобных характеристик для других объектов подобного рода.

Ключевые слова: фрактальное моделирование, лакуарность, структура, наномодификаторы, наномодифицированный бетон.

L.I. EVEL'SON, Candidate of Sciences (Engineering) (levelmoscow@mail.ru), N.P. LUKUTTSOVA, Doctor of Sciences (Engineering) (natluk58@mail.ru),
A.N. NIKOLAENKO, Engineer (wnav111@yandex.ru), E.N. KHOMYAKOVA, Chemist (kat-himik@inbox.ru),
Ya.A. RIVONENKO, Master student (riyanaone@yandex.ru)
Bryansk State Engineering-Technological University (3, Stanke Dimitrova Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation)

Some Practical Aspects of Fractal Simulation of a Structure of Nano-Composite Material*

Some practical aspects of the fractal simulation of a structure of nano-modified concretes containing serpentinite, wollastonite, schungite, and meta-kaolin are considered for the purpose to apply them for solving optimization problems. Two fractal characteristics of the micro-structure of nano-modified concretes are studied; they are fractal dimension D and lacunarity L with the use of the ImageJ program with a set extension (plugin) FracLac. It is established that the value of fractal dimension is more significantly invariant than lacunarity. It is shown that the important feature is the fact that when ranking results according to fractal dimension and lacunarity, the sequence order of nano-modifiers doesn't change at various enlargements and adjustments. The applied methods for using the fractal analysis for simulation of the structure of composite materials is standardized and can be suitable for the description of similar characteristics of other objects of this kind.

Keywords: fractal simulation, lacunarity, structure, nano-modifiers, nano-modified concrete.

В ранее выполненных исследованиях [1] авторами были представлены теоретические основы управления свойствами наномодифицированного бетона, базирующиеся на математических моделях, учитывающих разные количественные и качественные признаки. Для качественных признаков, связанных со структурой материала, было предложено использовать фрактальное моделирование с целью заменить качественные факторы на количественные. В той же работе было предложено для оптимизации свойств наномодифицированного бетона по условиям прочности использовать ранее предложенный одним из авторов и описанный в [2–3] метод регрессионной нелокальной квадратичной аппроксимации. Для того чтобы этот метод можно было эффективно использовать в ситуации, когда часть управляющих факторов определяется из натурного эксперимента, а другие вычисляются по математической фрактальной модели, требуется провести предварительные исследования, чтобы оценить изменчивость (статистическую устойчивость) фрактальных характеристик. Такие оценки важны как для последующего решения вопроса об адекватности формирующихся регрессионных моделей, так и для выявления тех фрактальных характеристик, которые целесообразно принимать в качестве управляющих факторов.

Объектом исследования являлся бетон с включенными в его состав различными наномодификаторами (НМ). Предметом исследования выступали некоторые фрактальные характеристики и методы (алгоритмы и

параметры) их вычисления. Массовое соотношение цемента и песка, водоцементное отношение, содержание НМ и другие физические входные факторы системы принимались одинаковыми для разных НМ. В качестве физического выхода системы рассматривался предел прочности при сжатии бетона, модифицированного нанодисперсными добавками на основе серпентинита, волластонита, шунгита и метакаолина, через 28 сут твердения.

На рис. 1 представлены характерные фотографии микроструктуры наномодифицированного бетона, сделанные при разных увеличениях, даваемых электронным микроскопом. Визуально эти фотографии сильно различаются. Поэтому далее исследовался вопрос о том, как влияет увеличение на фрактальные характеристики.

В проводившихся в рамках настоящей работы расчетах изучались прежде всего две фрактальные характеристики микроструктуры наномодифицированных бетонов: фрактальная размерность D и лакуарность L с использованием программы ImageJ с установленным расширением (плагином) FracLac (<http://imagej.net/Welcome> дата обращения 15.02.2015).

Рассмотрим подробнее различные аспекты их определения. Фрактальная размерность (D) показывает, насколько плотно и равномерно элементы данного множества заполняют евклидово пространство размерности E ($D \leq E$). Величина D может использоваться в качестве количественной меры геометрической сложности [4]. Фрактальная размерность в отличие от евклидовой при-

* Работа была выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-03-97511-р_центр_а).
* The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project №13-03-97511-r_tsentr_a).

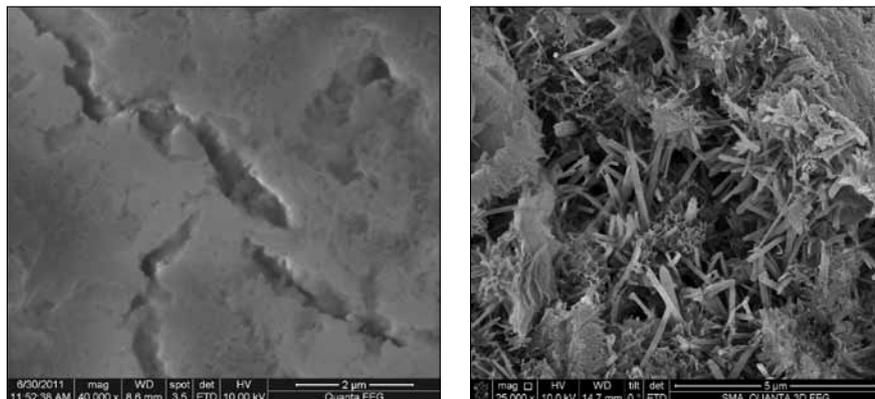


Рис. 1. Микроструктура бетона через 28 сут твердения

нимает дробные значения. Имеются различные виды дробной размерности и соответствующие методы и алгоритмы их определения. Наиболее известны следующие три вида: размерность подобия, размерность Хаусдорфа, размерность Минковского. Рассмотрим каждую из них.

Размерность подобия основана на следующем принципе: если фигуру уменьшить в M раз (отмасштабировать), то она будет укладываться в исходной M^D раз, т. е.

$$N = M^D, \quad (1)$$

где N – количество уменьшенных частей.

Выполним логарифмическое преобразование ф. (1) для получения формулы вычисления фрактальной размерности D :

$$\ln N = \ln M^D \Rightarrow D = \frac{\ln N}{\ln M}. \quad (2)$$

Для правильных идеальных геометрических фигур вычисленная таким образом размерность совпадает с евклидовой целой размерностью.

Размерность Хаусдорфа обобщает понятие размерности действительного векторного пространства и является естественным способом определения размерности подмножества в метрическом пространстве. Например, размерность Хаусдорфа n -мерного (размерность в смысле векторного пространства) унитарного пространства (особый случай векторного пространства) будет тоже равна n . Представим полное покрытие множества X шарами радиуса не более чем r и обозначим количество этих шаров за $N(r)$. Значение $N(r)$ будет расти при уменьшении r (для полного покрытия будет требоваться все больше шаров). Размерностью Хаусдорфа (D_H) множества X будет являться такое уникальное число d , что $N(r)$ будет расти как $1/r^d$ при стремлении r к нулю.

Размерность Минковского – это один из способов задания фрактальной размерности ограниченного множества в метрическом пространстве, который определяется следующим образом:

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\epsilon)}{\ln 1/\epsilon} = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\epsilon)}{-\ln \epsilon}, \quad (3)$$

где $N(\epsilon)$ – минимальное число множеств диаметра ϵ , которыми можно покрыть исходное множество.

Если предел не существует, то рассматривают верхний и нижний пределы и говорят соответственно о верхней и нижней размерностях Минковского. Верхняя и нижняя размерности Минковского тесно связаны с размерностью Хаусдорфа.

В вышеупомянутом программном обеспечении, применявшемся авторами для фрактального моделирования, путем выбора соответствующих настроек можно

реализовать тот или иной алгоритм вычисления фрактальной размерности. Для анализа структуры наномодифицированного бетона [5] предполагается использовать алгоритм определения фрактальных размерностей по box-count (BC) методу, при котором изображение разбивается сеткой на ячейки заданных размеров. Сканирование изображения осуществляется за несколько циклов, при этом на каждом последующем цикле размеры ячеек сетки увеличиваются.

Фрактальная размерность анализируемого бинарного изображения вычисляется по ф. (3) с подстановкой величин: ϵ – размер ячейки сетки; $N(\epsilon)$ – количество ячеек размера ϵ , содержащих пиксели изображения агрегата. Размер ячейки (ϵ) определяется как отношение площади ячейки к общей площади изображения. Геометрически фрактальная размерность D_B в программном модуле FracLac определяется по наклону регрессионной линии [6], рассчитанной по методу наименьших квадратов, в координатах $(-\ln \epsilon) - \ln N(\epsilon)$. График получается неидеально ровным. Наклон этого графика вычисляется методом наименьших квадратов. Недостатком этого метода является то, что используемое покрытие неминимально. Поиск минимального покрытия – нетривиальная задача. Затраты на его вычисление могут оказаться огромными, а полученное улучшение небольшим. Также одним из эффектов вычислений может служить ступенчатое поведение графика. Этот эффект проявляется при плавном изменении ϵ между итерациями. На приведенном рис. 2 разница ϵ между соседними точками составляет около 1%. Описанный способ расчета фрактальной размерности для BC метода не единственный. Другая процедура в отличие от описанной основана на зависимости суммы пикселей (среднего числа точек в ячейке сетки, μ) от размера ячейки (ϵ).

$$D_M = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} [\ln \mu_\epsilon / \ln \epsilon]. \quad (4)$$

Геометрически такая размерность определяется аналогично стандартной – наклоном линии регрессии $(-\ln \epsilon) - \ln \mu_\epsilon$.

Для получения среднестатистического значения фрактальной размерности изображения месторасположение точки отсчета для сканирования изображения сеткой изменяется несколько раз. Такие начальные позиции генерируются случайным образом. Число расчетных позиций сетки указывается в настройках FracLac. Чем выше число позиций, тем больше вероятность нахождения более эффективного покрытия и тем меньше скорость расчета. После определения фрактальных размерностей для различных точек отсчета вычисляется

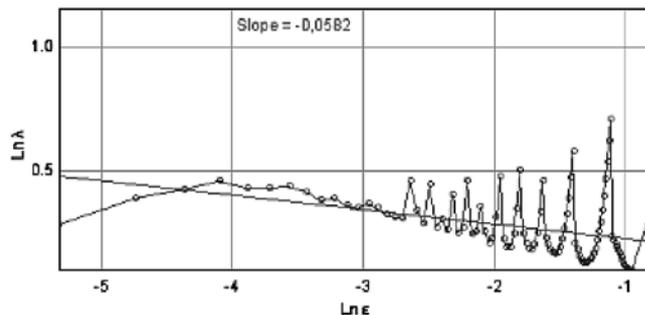


Рис. 2. Линия регрессии лакуарности

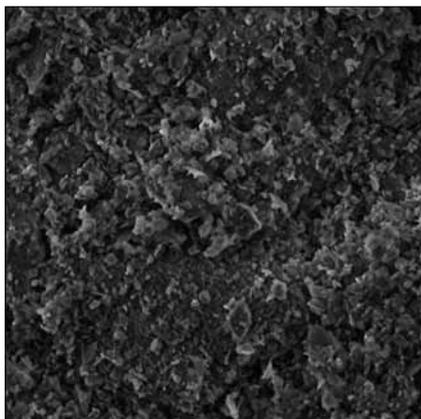


Рис. 3. Микроструктура наномодифицированного бетона с добавлением метакаолина

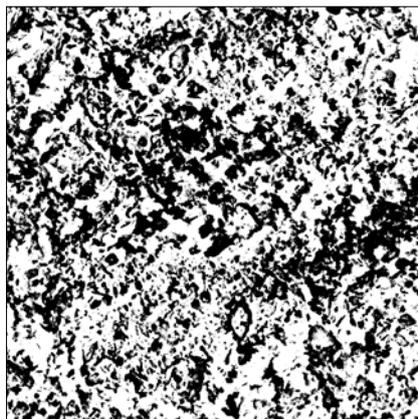


Рис. 4. Вид микроструктуры после бинаризации

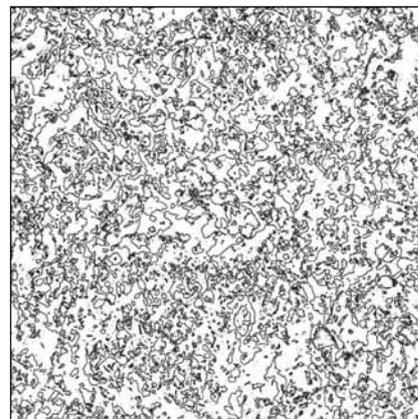


Рис. 5. Вид микроструктуры после выделения контуров

среднее значение, которое и является фрактальной размерностью изображения:

$$\bar{D} = \sum_{g=1}^G Dg / G, \quad (5)$$

где Dg – фрактальная размерность; g – положения сетки; G – общее число положений сетки.

Важным параметром для описания фрактальных структур является лакуарность. Термин «лакуарность» был впервые использован Б. Мандельбротом [4] для описания неравномерности распределения галактик в наблюдаемой части Вселенной. Фактически лакуарность является мерой неоднородности заполнения пространства объектом. Чем выше лакуарность, тем больше в изучаемом распределении имеется пустых областей. Мерой лакуарности (L) в использованной программе является изменение плотности изображения при сканировании сеткой с ячейками различных размеров. Таким образом, лакуарность зависит от размера ячейки сетки (ϵ) и, очевидно, позиции сетки (g). Для ее расчета используется следующая формула:

$$L = (\sigma/\mu)^2, \quad (6)$$

где σ – стандартное отклонение количества пикселей (для бинарного изображения) фрактального агрегата в ячейках сетки заданного размера ϵ ; μ – среднее значение массы агрегата в ячейках заданного размера ϵ .

Как и фрактальная размерность, лакуарность определяется по наклону регрессионной линии в координатах $(-\ln\epsilon) - \ln L$.

При построении графиков лакуарность рассчитывается по формуле:

$$L = (\sigma/\mu)^2 + 1. \quad (7)$$

Единица в данную формулу включена для равномерного отображения графика при нулевом стандартном отклонении ($\sigma = 0$). В таком случае лакуарность будет равна нулю:

$$L = (\sigma/\mu)^2 + 0. \quad (8)$$

Описанная ситуация возможна при некоторых размерах ячейки сетки ϵ .

Возникает вопрос о влиянии выбора алгоритма на результат. Для реализации фрактального моделирования в рассматриваемом случае необходимо выполнить предварительно некоторые подготовительные действия. Рассмотрим их на примере анализа микроструктуры бетона с метакаолином в качестве НМ. На рис. 3 представлен исходный снимок.

Сначала выполнялась процедура бинаризации изображения (рис. 4).

Далее выполнялась процедура, выделяющая контуры окрашенных областей. Для этого также используется программа ImageJ. Результат представлен на рис. 5.

В результате вычислений были получены фрактальные характеристики, представленные в табл. 1. Анализ показывает, что во всех случаях, кроме шунгита, введение НМ привело к увеличению фрактальной размерности и уменьшению лакуарности.

В табл. 2 представлены значения предела прочности при сжатии после 28-суточной выдержки бетона и пористости. Эти результаты получены с помощью натуральных экспериментов.

В бетоне с НМ по сравнению с контрольным образцом зафиксировано перераспределение пор по размеру в сторону его уменьшения, о чем свидетельствует повышение общей площади поверхности пор от 30940 до 43660 $\text{см}^2/\text{г}$ (в 1,4 раза) при снижении их объемной доли от 0,0803 до 0,065 $\text{см}^3/\text{г}$ (в 1,2 раза). Этот вопрос требует отдельного исследования, причем фрактальное моделирование может сыграть здесь существенную роль.

Далее осуществлялось вычисление фрактальных характеристик при различных параметрах алгоритмов и соответствующих настройках компьютерной программы.

Результаты с настройками программы, принятыми по умолчанию, представлены в табл. 3.

Таблица 1

Образец	D	L
Контрольный	1,82	0,244
Волластонит	1,835	0,24
Метакаолин	1,827	0,21
Серпентинит + ПВС	1,825	0,237
Серпентинит + СЗ	1,828	0,244
Шунгит	1,799	0,256
Шунгит + ПВС	1,812	0,284

Таблица 2

Название добавки	Прочность (контр.), МПа	Пористость (контр.), $\text{см}^3/\text{г}$	Прочность с добавкой, МПа	Пористость с добавкой, $\text{см}^3/\text{г}$
Метакаолин	19,93	0,054	43,8	0,041
Волластонит	26,7	0,061	46,3	0,052
Шунгит	27,7	0,055	57,2	0,045

Таблица 3

Добавка	D	L
Метакаолин	1,827	0,21
Волластонит	1,835	0,24
Шунгит	1,799	0,256

Таблица 4

Добавка	D	L
Метакаолин	1,822	0,226
Волластонит	1,832	0,252
Шунгит	1,791	0,273

Таблица 5

Добавка	D	L
Метакаолин	1,88	0,106
Волластонит	1,884	0,12
Шунгит	1,838	0,139

Таблица 6

Кратность увеличения	D	L
×100	1,848	0,308
×200	1,85	0,262
×10к	1,835	0,24

Результаты расчетов с изменением настроек (анализ с помощью окружностей) см. в табл. 4.

Рассматривалось также отбрасывание ячеек сетки, у которых плотность закрашенных пикселей меньше заданной (коэффициент минимальной плотности 0,2). Фрактальные характеристики (сканирование с отбрасыванием ячеек) представлены в табл. 5.

Из полученных результатов следует, что настройки анализа по-разному влияют на D и L. Величина фрактальной размерности является значительно более инвариантной, чем лакуарность. Важно, что ранжирование образцов по фрактальной размерности и лакуарности совпадает при любых настройках.

Далее осуществлялась проверка влияния увеличения при съемке на фрактальные характеристики на примере наномодифицированного бетона с добавкой волластонита. Для вычислительного эксперимента использовались три изображения структуры материала при увеличении ×100, ×200 и ×10к. Результаты анализа представлены в табл. 6.

Как видно, лакуарность с ростом увеличения съемки уменьшается, а фрактальная размерность меняется мало.

На основе полученных результатов по фрактальному моделированию микроstructures различных образцов наномодифицированного бетона можно сделать следующие выводы.

Увеличение, с которым сделаны фотографии микроstructures электронным микроскопом, а также выбор алгоритма, его параметров и соответствующих настроек программы обработки изображений влияют на фрактальные характеристики. Фрактальная размерность меняется сравнительно мало, в то время как лакуарность изменяется сильно. Этот вопрос нуждается в дополнительном изучении.

Важной особенностью является тот факт, что если проранжировать результаты по фрактальной размерности и лакуарности, порядок следования разных НМ не изменится при разных увеличениях и настройках.

Использованная методика применения фрактального анализа для моделирования структуры композитных материалов является унифицированной и может быть пригодной для описания подобных характеристик для других объектов подобного рода.

Целесообразно проведение дальнейших исследований, направленных на совершенствование фрактальных моделей микроstructures наномодифицированных бетонов, чтобы эти модели можно было более эффективно использовать для оптимизации.

Список литературы

1. Evelson L., Lukuttsova N. Application of statistical and multi-fractal models for parameter optimization of nano-modified concrete. *International // Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No. 5, pp. 12363–12370.
2. Евельсон Л.И. Параметрическая оптимизация гидрогазового поглощающего аппарата ГА-500 // *Динамика, нагруженность и надежность подвижного состава: Межвуз. сб. научн. тр.* Днепропетровск: ДИИТ, 1985. С. 29–36.
3. Евельсон Л.И., Рыжикова Е.Г. Численный метод оптимизации на основе планирования вычислительного эксперимента // *Вестник БГТУ*. 2015. № 1. С. 14–19.
4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
5. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А. Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона. Монография. Брянск: БГИТА, 2014. 216 с.
6. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных. Л.: Судостроение, 1980. 384 с.

References

1. Evelson L., Lukuttsova N. Application of statistical and multi-fractal models for parameter optimization of nano-modified concrete. *International. Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No. 5, pp. 12363–12370.
2. Evel'son L.I. Parametric optimization of thermal gas absorbing apparatus HA-500. *Dynamics, loading and reliability of rolling stock. Interuniversity collection of scientific papers*. Dnepropetrovsk: DTIS. 1985, pp. 29–36. (In Russian).
3. Evel'son L.I., Ryzhikova E.G. A numerical method for optimization through planning computational experiment. *Vestnik BGTU*. 2015. No. 1, pp. 14–19. (In Russian).
4. Mandel'brot B. *Fraktal'naya geometriya prirody* [Fractal Geometry of Nature]. Moscow: Institute of Computer Science. 2002. 656 p.
5. Lukuttsova N.P., Pykin A.A. *Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty polucheniya mikro- i nanodispersnykh dobavok na osnove shungitosoderzhashchikh porod dlya betona*. Monografiya [Theoretical and technological aspects of production of shungite-based micro- and nano-disperse additives to concrete. Monograph]. Bryansk: BGITA. 2014. 216 p.
6. Montgomeri D.K. *Planirovanie eksperimenta i analiz dannykh*. [Experimental Design and Analysis]. Leningrad: Sudostroenie. 1980. 384 p.

И.Ю. МАРКОВА, инженер (irishka-31.90@mail.ru), В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук,
Т.В. ДМИТРИЕВА, инженер

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

Влияние зол-уноса на вязкоупругие характеристики дорожного битума*

Рассматривается влияние добавок тонкодисперсного алюмосиликатного техногенного сырья из отходов топливно-энергетических предприятий в виде зол-уноса ТЭС различных генетических типов на вязкоупругие характеристики битума. Оценивалась устойчивость модифицированного вяжущего к колееобразованию по методу Supergrave (США) в интервале температуры 46–76°C. Установлена зависимость изменения параметра устойчивости к колееобразованию от состава, свойств и концентрации в составе вяжущего, применяемых зол-уноса ТЭС. Проведено ранжирование алюмосиликатного техногенного сырья по степени эффективности использования в качестве добавок, структурирующих битум. Показано, что использование низкокальциевых и высококальциевых зол-уноса позволяет повысить температуру перехода битума из вязкого состояния в жидкое, что приводит к повышению устойчивости битума к сдвиговым нагрузкам. Полученные результаты можно использовать как прогнозную оценку сдвигоустойчивости асфальтобетона на основе модифицированного битума.

Ключевые слова: колееобразование, реологические характеристики, битум, зола-уноса, техногенное сырье.

I.Yu. MARKOVA, Engineer (irishka-31.90@mail.ru), V.V. STROKOVA, Doctor of Sciences (Engineering), T.V. DMITRIEVA, Engineer
Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (46, Kostukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

Influence of Fly Ashes on the Viscoelastic Characteristics of the Bitumen*

The influence of the addition of fly ashes as fine-grained silica-alumina industrial raw materials of fuel and energy enterprises (power plants) of various genetic types on the visco-elastic characteristics of the bitumen was studied. Rutting resistance of the modified binder was measured by method Superpave (USA) in the temperature range 46–76°C. The dependence of the rutting resistance on the composition, characteristics and concentration in the composition of used thermal power plants fly ashes was determined. A ranking of aluminosilicate industrial materials according to the degree of efficiency of its use as bitumen structuring additive was performed. It is shown that the use of low calcium and high calcium fly ashes allows raising the temperature of transformation of bitumen from viscous state into liquid state, that leads to increased resistance of the bitumen binder to shear stresses. The obtained results can be used as a predictive parameter of shear resistance of asphalt concrete based on modified bitumen.

Keywords: rutting, reological characteristics, bitumen, fly ash, industrial raw materials.

Образование колеи – одна из распространенных и серьезных проблем для покрытий автомобильных дорог из битумоинеральных композиций. Дорожный битум является типичным представителем вязкоупругих материалов, свойства которого зависят от температуры и времени действия нагрузок. Регулировать свойства битума позволяет использование модифицирующих добавок, воздействующих на его структуру и свойства и, как следствие, позволяющих повысить качество дорожно-строительных композитов.

Ранее была показана эффективность использования природного и техногенного алюмосиликатного сырья для производства битумоинеральных композиций с улучшенными физико-механическими характеристиками. Среди многообразия алюмосиликатного сырья, применяемого в дорожном строительстве, золы-уноса показали достаточную эффективность как компонент

асфальтобетона [1–7], но возможность и эффективность применения этих материалов в качестве добавок, структурирующих битум в зависимости от состава и свойств, недостаточно изучены.

В данной работе представлены результаты исследования влияния различных видов зол-уноса на реологические свойства органического вяжущего, применяемого в дорожном строительстве, и ранжирование их по степени эффективности.

Несмотря на то что реологические испытания битумов не являются нормируемыми и практически не проводятся в нашей стране, изучение реологических (или вязкоупругих) свойств битумов, определяемых экспериментально при различной температуре и скорости нагружения (деформации), моделирующих условия эксплуатации покрытия автомобильной дороги, позволяет прогнозировать устойчивость асфальтобетонного по-

Таблица 1

Производитель ЗУ	Троицкая ГРЭС (РФ)	Рефтинская ГРЭС (РФ)	Новотроицкая ТЭС (РФ)	WE Energies (США)	Columbia Energy Center (США)	Назаровская ТЭС (РФ)
	1	2	3	4	5	6
Содержание CaO, мас. %	0,61	1,28	1,35	3,36	26,63	37,8
Вид применяемого топлива	Каменный уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Бурый уголь	Бурый уголь
Зольность применяемого топлива, %	≈40	≈40	≈40	≈40	6–12	6–12
Способ сжигания топлива	Сухой	Сухой	Мокрый	Сухой	Сухой	Сухой
Способ удаления образовавшихся зольных отходов	Сухой	Сухой	Мокрый	Сухой	Сухой	Сухой

* Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.
* Work carried out in the framework of the Strategic Development Program BSTU named after V.G. Shukhov.

Таблица 2

№ п/п	Наименование производителя техногенного сырья	Истинная плотность, кг/м ³	Удельная поверхность по Блэйну, м ² /кг	Удельная поверхность по БЭТ, м ² /кг	Пористость, %	Влажность, %
1	Троицкая ГРЭС (РФ)	2110	492	3200	43	0,27
2	Рефтинская ГРЭС (РФ)	2020	327	2900	36	0,15
3	Новотроицкая ТЭС (РФ)	2080	301	4200	42	0,59
4	WE Energies (WEE)(США)	2450	271	1200	35	0,25
5	Columbia Energy Center (СЕС) (США)	3140	509	1500	36	0,1
6	Назаровская ТЭС (РФ)	3370	449	1600	47	0,4
7	Известняковый минеральный порошок	2620	418	400	27	0,4

Таблица 3

Состав	Зола						Известняк
	Низкокальциевая			Высококальциевая			
	Троицкая ГРЭС (РФ)	Рефтинская ГРЭС (РФ)	Новотроицкая ТЭС (РФ)	WE Energies (США)	Columbia Energy Center (США)	Назаровская ТЭС (РФ)	
SiO ₂	62,53	60,2	56,2	47,83	30,03	31,55	3,14
Al ₂ O ₃	28,75	30,92	27,7	28,7	20,68	8,84	1,12
CaO	0,612	1,28	1,35	3,36	26,63	37,8	51,42+41,89 CO ₂
Fe ₂ O ₃	4,1	3,35	6,18	13,16	4,67	8,99	0,534
SO ₃	0,209	0,153	0,102	1,42	2,01	4,4	0,026
MgO	1,06	0,577	4,64	1,04	7,6	6,31	1,43
Na ₂ O	1,05	0,525	1,16	0,874	3,34	0,761	0,035
K ₂ O	0,291	0,75	1,18	1,65	0,391	0,204	0,162
TiO ₂	0,588	1,17	0,684	1,07	1,29	0,261	0,026
P ₂ O ₅	0,485	0,482	0,358	0,476	2,19	–	–
RuO ₄	0,028	0,219	0,014	–	–	–	–
BaO	–	–	–	–	0,35	0,046	–
SrO	0,042	–	–	–	0,355	0,185	0,032
F	–	–	–	–	0,213	–	–
MnO	0,082	–	0,061	–	–	0,368	0,011
ППП	4,95	1,9	4,85	1,9	0,7	3,15	39,1

крытия к образованию колеи и способность асфальтобетона противостоять усталости под действием повторных нагрузок.

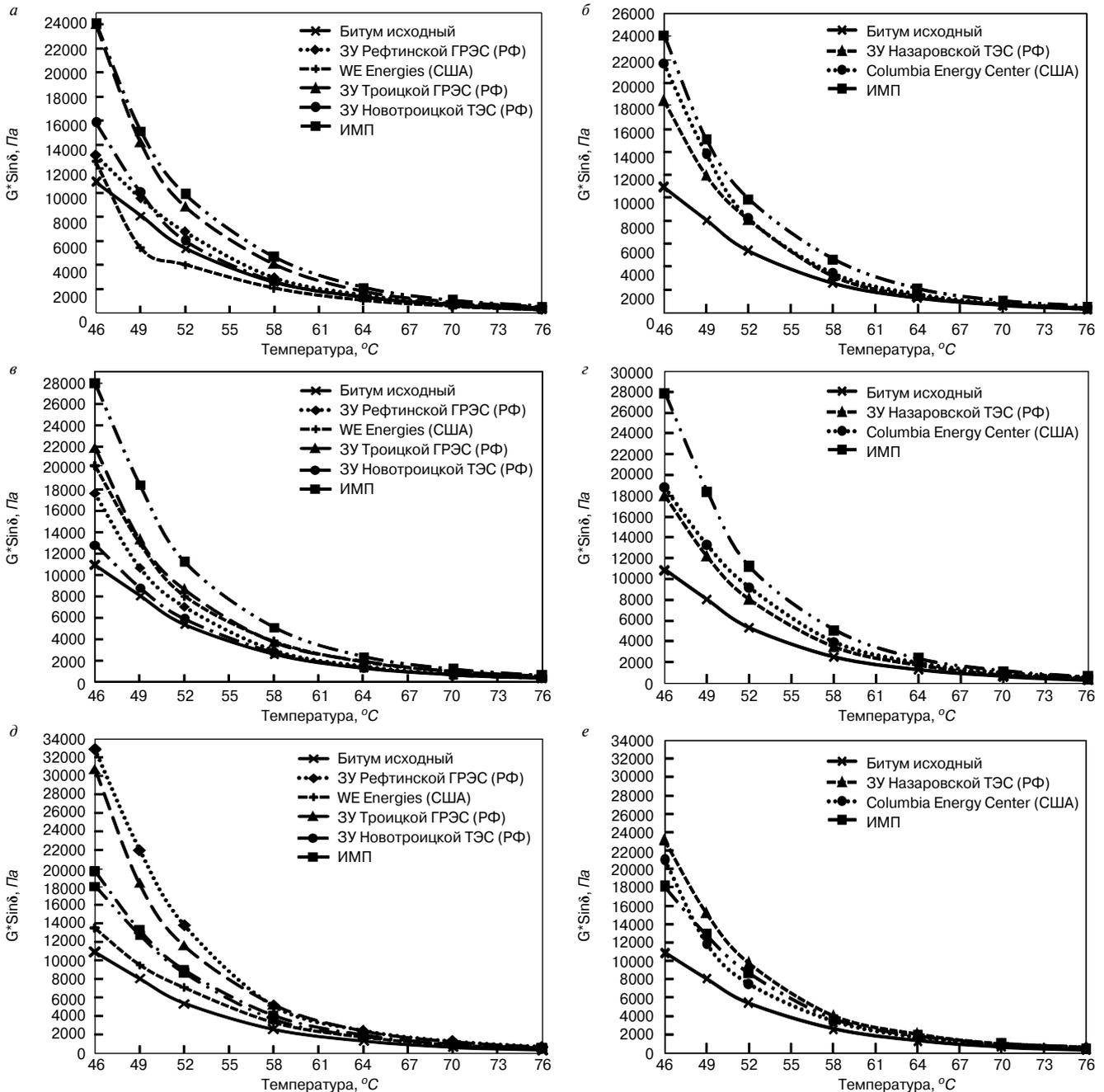
В качестве вяжущего в работе использовался битум нефтяной дорожный марки БНД 60/90 (ООО «Газпромнефть – Московский НПЗ»), который соответствовал требованиям ГОСТ 22245–90.

Для модификации битума в качестве структурирующих добавок использовалось шесть представителей зол-уноса (четыре отечественных и два зарубежных), четыре из которых низкокальциевые и два высококальциевые. Критериями выбора сырьевых компонентов явился комплекс факторов, оказывающий важнейшее значение на состав и свойства зол-уноса: вид исходного топлива; способы сжигания топлива и золоудаления (мокрый или сухой); содержание CaO в составе золы-уноса (низкокальциевые – <10% CaO, высококальциевые – >10% CaO) (табл. 1). Основные свойства зол-уноса ТЭС приведены в табл. 2.

Для сравнения качества исследуемых отходов топливно-энергетической промышленности использовался известняковый минеральный порошок (ИМП), традиционно применяемый для производства дорожно-строительных материалов и соответствующий требованиям ГОСТ Р 52129–2003. Химический состав ИМП и алюмосиликатных наполнителей из отходов от сжигания твердого топлива приведен в табл. 3.

Для проведения испытаний были подготовлены образцы из смеси битума с золой – золобитумное вяжущее (ЗБВ). Навески битума массой 0,5 кг разогревались до температуры 160°C и смешивались с 5, 10 и 15% (от массы смеси) каждого из наполнителей. В качестве контрольных образцов использовали составы битума без наполнителя и с наполнителем в виде ИМП. Гомогенизация наполнителей с битумом проводилась с применением смесителя с низкой скоростью (140±5 об/мин) в течение 5 мин до получения однородной массы. После смешивания изготавливались образцы битума, модифицированного золами-уноса диаметром 36 мм и высотой 1,5–2 мм; после остывания до комнатной температуры образцы испытывали.

Реологические свойства модифицированного битума определяли в соответствии со спецификацией TP538 SHRP [8] и AASHTO T315 [9] по методу Superpave (США). Измерения проводились в диапазоне температуры 46–76°C с использованием ротационного вискозиметра Rheotest RN4.1 (Германия) и измерительной системы пластина/пластина. Эти исследования относятся к группе колебательных измерений, в которых задают напряжение сдвига в виде функции времени гармонических колебаний синусоидальной формы и измеряют получаемое в результате изменение деформации во времени. В данной работе измерения проводили при постоянных колебаниях. В ходе эксперимента задавали постоянную



Параметр устойчивости покрытия к колееобразованию с применением вяжущего, модифицированного: *a* – 5% низкокальциевых зол-уноса; *b* – 5% высококальциевых зол-уноса; *в* – 10% низкокальциевых зол-уноса; *г* – 10% высококальциевых зол-уноса; *д* – 15% низкокальциевых зол-уноса; *е* – 15% высококальциевых зол-уноса

амплитуду и частоту и измеряли вязкоупругие свойства как функцию времени. Среди задаваемых параметров устанавливали не менее 10 циклов колебаний с радианной частотой $\omega = 10$ рад/с (c^{-1}) с использованием соответствующей амплитуды. Для испытания с контролируемой деформацией сдвига выбирали амплитуду деформации в интервале $\gamma = 9-15\%$ (предпочтительно 12%).

На основании полученных данных построены диаграммы (рисунок *a, б, в, г, д, е*). В общем виде кривые имеют следующий характер: повышение температуры снижает способность вяжущего сопротивляться напряжению сдвига. Однако состав, свойства зол-уноса и их концентрация в битуме влияют на величину параметра устойчивости покрытия к колееобразованию ($G^* \sin \delta$) в заданном диапазоне температуры.

При концентрации золы-уноса 5% среди низкокальциевых представителей значительно выделяется ЗУ № 1

(РФ). Ее использование позволяет повысить $G^* \sin \delta$ при $t=64^\circ C$ (рисунок *a*) на 39% по сравнению с исходным битумом и сопоставим с битумом, модифицированным ИМП. Применение ЗУ № 4 (США) в количестве 5% от массы вяжущего (рисунок *a*) нецелесообразно, так как $G^* \sin \delta$ увеличивается только при $t=46^\circ C$ на 15%. Повышение температуры приводит к снижению $G^* \sin \delta$ и значения исследуемого параметра ниже, чем у исходного битума.

С увеличением концентрации низкокальциевых зол-уноса до 10% (рисунок *в*) вяжущее, структурированное ЗУ № 4 (США) и ЗУ № 1 (РФ), лучше сопротивляется напряжениям сдвига при $t=64^\circ C$ в сравнении с золоуноса ЗУ № 2 (РФ) и ЗУ № 3 (РФ).

Концентрация низкокальциевых зол в количестве 15% в составе ЗБВ приводит к следующим изменениям (рисунок *д*): отмечается скачок $G^* \sin \delta$ при $t=46-58^\circ C$

у ЗБВ с использованием ЗУ № 2 (РФ) и ЗУ № 1 (РФ), на 46 и 29% соответственно в сравнении с 10%-й концентрацией. При температуре 64°C данные материалы показывают результаты в среднем на 55% лучше, чем ИМП. ЗУ № 4 (США) в количестве 15% практически не влияет на $G^* \sin \delta$ ЗБВ в сравнении с 5 и 10%-й концентрацией.

Использование высококальциевых зол-уноса в качестве структурирующей добавки к битуму даже в небольших количествах (5%) позволяет добиться более заметного результата в улучшении реологических свойств битума (рисунок б), но при $t=64^\circ\text{C}$ ЗБВ с их использованием переходит в жидкое состояние и сопротивление напряжениям сдвига стремится к нулю.

Повышение концентрации высококальциевого техногенного сырья до 10% (рисунок з) несколько снижает вязкоупругие свойства ЗБВ при $t=46^\circ\text{C}$: с ЗУ № 5 (США) – на 13%, с ЗУ № 6 (РФ) – на 2%. Однако при $t=64^\circ\text{C}$ $G^* \sin \delta$ с использованием обеих зол повышается в среднем на 15%.

При 15%-й концентрации высококальциевых ЗУ в битуме (рисунок е) происходит повышение сопротивления напряжениям сдвига в сравнении с битумом, модифицированным ИМП, при этом наиболее высокие результаты показывает ЗУ № 6.

Список литературы

1. Sobolev K., Ismael F., Saha R., Wasiuddin N., Saltibus N. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous material // *Fuel*. January 2014. Vol. 116, pp. 471–477.
2. Sobolev K., Florens I., Bohler J., Faheem A., Covi A. Application of fly ash in asphalt concrete: from challenges to opportunities. <http://www.flyash.info/2013/012-Sobolev-2013.pdf> (Дата обращения 11.02.2015).
3. Маркова И.Ю., Дмитриева Т.В., Кожухова Н.И., Марков А.Ю. Состав и свойства зол-уноса как модификаторов битумного вяжущего. *Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: Сборник трудов IX межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов вузов*. Апатиты, 2015. С. 77–79.
4. Лебедев М.С., Строкова В.В., Потапова И.Ю., Котлярский Э.В. Влияние добавок низкокальциевой золы-уноса ТЭС на характеристики дорожного битумного вяжущего // *Строительные материалы*. 2014. № 11. С. 8–11.
5. Ярмолинская Н.И., Цупикова Л.С. Повышение коррозийной стойкости асфальтобетонов на основе отходов ТЭС // *Строительные материалы*. 2007. № 9. С. 46–47.
6. Путилин Е.И., Цветков Л.С. Применение зол-уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог: обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения золошлаков от сжигания твердого вида топлива на ТЭС. М.: СоюздорНИИ, 2003. 58 с.
7. Nagesh Tatoba Suryawanshi, Samitinjay S. Bansode, Pravin D. Nemade Use of Eco-Friendly Material like Fly Ash in Rigid Pavement Construction & It's Cost Benefit Analysis // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2012. Vol. 2. № 12. pp. 795–800.
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.

Таким образом, исследование реологических характеристик битума с использованием зол-уноса различных генетических типов с различной концентрацией их в составе вяжущего (5, 10 и 15%) позволяет сделать вывод, что рассматриваемые добавки являются эффективными модификаторами. Их применение позволяет увеличить вязкость битума и тем самым повысить устойчивость вяжущего к деформациям при температуре, моделирующей условия работы дорожного покрытия. Наибольший эффект наблюдается при использовании низкокальциевых зол-уноса в количестве 15%, а высококальциевых – 10%. Введение зол-уноса в битум позволяет повысить устойчивость вяжущего к напряжениям сдвига в диапазоне температуры 46–76°C. Это, в свою очередь, обеспечивает повышение деформативной устойчивости дорожного покрытия и увеличение сроков его службы.

По степени повышения устойчивости золобитумного вяжущего к напряжениям сдвига при рациональных концентрациях исследуемые материалы проранжированы в следующей последовательности: ЗУ № 4 (США) → ЗУ № 3 (РФ) → ЗУ № 1 (РФ) → ЗУ № 2 (РФ) → ИМП → ЗУ № 5 (США) → ЗУ № 6 (РФ).

References

1. Sobolev K., Ismael F., Saha R., Wasiuddin N., Saltibus N. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous material. *Fuel*. January 2014. Vol. 116, pp. 471–477.
2. Sobolev K., Florens I., Bohler J., Faheem A., Covi A. Application of fly ash in asphalt concrete: from Challenges to Opportunities. <http://www.flyash.info/2013/012-Sobolev-2013.pdf> (date of access 11.02.2015).
3. Markova I.Yu., Dmitrieva T.V., Kozhuhova N.I., Markov A.Yu. The composition and properties of fly ashes as modifiers of bitumen. *Scientific and practical problems in the field of chemistry and chemical technology: Proceedings of the IX inter-regional scientific-technical conference of young scientists, professionals and university students*. Apatity. 2015, pp. 77–79. (In Russian).
4. Lebedev M.S., Strokov V.V., Potapova I.Yu., Kotlyarskii E.V. Effect of additives of CHP low-calcium fly ash on characteristics of a road bitumen binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 11, pp. 8–11. (In Russian).
5. Jarmolinskaya N.I., Cupikova L.S. Improving of resistance to corrosive attack for asphalt concrete based on power station wastes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2007. No. 9, pp. 46–47. (In Russian).
6. Putilin E.I., Cvetkov V.S., Primenenie zol unosa i zoloshlakovykh smesey pri stroitel'stve avtomobil'nyh dorog: obzornaya informacija otechestvennogo i zarubezhnogo opyta primeneniya othodov ot szhiganiya tverdogo topliva na TJeS. [Application of fly ash and bottom-ash mixture when road construction: review information of domestic and abroad experience of application of solid fuel combustion wastes]. Moscow: Sojuzdornii. 2003. 60 p.
7. Nagesh Tatoba Suryawanshi, Samitinjay S. Bansode, Pravin D. Nemade Use of Eco-Friendly Material like Fly Ash in Rigid Pavement Construction & It's Cost Benefit Analysis. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2012. Vol. 2. No. 12, pp. 795–800.
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.

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СКБ СТРОЙПРИБОР
ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



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

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

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

автоматическая обработка
 измерений



диапазон 3...100 МПа

УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С
 ультразвуковой

поверхностное и сквозное
 прозвучивание



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

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

отрыв со скалыванием
 и скалывание ребра



предельное
 усилие 60 кН
 диапазон 5...100 МПа

ПОС-2МГ4 П

испытание прочности
 ячеистых бетонов



предельное
 усилие вырыва 2,5 кН

ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ
ДИНАМИЧЕСКИЕ

ПДУ-МГ4 "Удар"
 и ПДУ-МГ4 "Импульс"

определение динамического
 модуля упругости грунтов
 и оснований дорог
 методом штампа,

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



Прессы испытательные
 малогабаритные

ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4
/ ПГМ-1000МГ4

с гидравлическим приводом
 для испытания бетона,
 асфальтобетона, кирпича

■ предельная нагрузка
 100 / 500 / 1000 кН

■ масса 70 / 120 / 180 кг



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

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

■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН

■ масса 20 / 25 кг

ПСО-10МГ4 КЛ

испытание прочности
 сцепления в каменной
 кладке



предельное усилие
 отрыва 15 кН

АДГЕЗИМЕТРЫ

ПСО-МГ4

испытание прочности
 сцепления покрытия
 с основанием



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

ИЗМЕРИТЕЛИ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"

стационарный
 и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ

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

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



ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01
 термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ
ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ИТП-МГ4.03 "Поток"

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



диапазон 10...999 Вт/м²
 -40...+70 °С

ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

ВЛАГОМЕР-МГ4

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



ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ
ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

ИПА-МГ4

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



ТЕРМОМЕТРЫ

ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01

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



ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ
АРМАТУРЫ

ДО-40 / 60 / 80МГ4

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых
 усилий 2...120 кН

диаметр
 арматуры 3...12 мм



ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ
В АРМАТУРЕ

ЭИН-МГ4

частотный метод

диаметр
 арматуры 3...32 мм

диапазон 100...1800 МПа



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

Реклама

УДК 625.861

А.В. КОЧЕТКОВ¹, д-р техн. наук, Л.В. ЯНКОВСКИЙ¹, канд. техн. наук;
Н.Е. КОКОДЕЕВА², д-р техн. наук; Ш.Н. ВАЛИЕВ³, канд. техн. наук

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614600, г. Пермь, Комсомольский просп., 29а)

² Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

³ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (125319, Москва, Ленинградский просп., 64)

Проектирование легких насыпей на слабых основаниях с применением геокомпозиционных материалов для строительства транспортных сооружений

Рассмотрены вопросы проектирования легких насыпей на слабых основаниях с применением легких геокомпозиционных материалов, в том числе из вспененного полистирола (EPS). Основная область применения облегченных насыпей из EPS-блоков: линейные участки сооружений на слабом основании; подходы к мостовым сооружениям на слабом основании; уширение насыпей на слабом основании; строительство дорог на участках возможных оползней; устройство заполнения за подпорными стенками. Критерием при проектировании сооружения из EPS-блоков является предотвращение преждевременных разрушений покрытия, таких как образование колеи, трещин и т. п., выходящих за пределы требований предельного состояния эксплуатационной пригодности. Представляется перспективной апробация данной инновационной технологии строительства, поскольку применение освоенных отечественным производством современных EPS-блоков позволяет оказывать комплексное влияние на работоспособность конструкции гидротехнического или транспортного сооружения.

Ключевые слова: вспененный полистирол, легкие насыпи, гидротехническое строительство, устойчивость.

A.V. KOCHETKOV¹, Doctor Sciences (Engineering), L.V. YANKOVSKY¹, Candidate of Sciences (Engineering);

N.E. KOKODEEVA², Doctor Sciences (Engineering); Sh.N. VALIEV³, Candidate of Sciences (Engineering);

¹ Perm National Research Polytechnic University (29a Komsomolsky Avenue, 614600, Perm, Russian Federation)

² Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin (77 Politekhnicheskaya Street, 410054, Saratov, Russian Federation)

³ Moscow Automobile and Road Construction University (64 Leningradsky Avenue, 125319, Moscow, Russian Federation)

Design of Lightweight Mounds on Weak Bases with the Use of Geo-Composite Materials for Construction of Transport Structures

Issues of the design of lightweight mounds with the use of light geo-composition materials including expanded polystyrene (EPS) are considered. The main sphere of using lightweight mounds constructed of EPS blocks: linear sections of structures on lightweight base, approaches to bridge structures on lightweight base, widening of a bank on lightweight base, construction of roads on areas of possible landslides, infilling behind retaining walls. A criterion when designing the structure made of EPS blocks is a prevention of premature failures of pavement such as the rutting, cracks etc. which are beyond the requirements for the limit state of serviceability. It seems to be prospective to appraise this innovative technique of construction since the use of up-to-date EPS blocks, mastered by domestic production, makes it possible to complexly influence on the workability of hydrotechnic or transport structures.

Keywords: expanded polystyrene, lightweight mounds, hydrotechnic construction, sustainability.

В зарубежной практике (США, Скандинавские страны, Германия и др.) находит все большее применение технология устройства легких насыпей из EPS-блоков (из вспененного полистирола). Франция, Германия, Япония, Норвегия (начиная с 1972 г.), Великобритания работают в этом направлении. В США существует руководство с общим описанием принципов расчета и проектирования облегченных насыпей из EPS-блоков. Основные области их применения – участки насыпей на слабых основаниях, устройство заполнения за подпорными стенками [1, 2]. В дорожном строительстве применяют изделия из пенополистирола в виде плит толщиной до 100 мм, изготавливаемых методом экструзии (XPS плиты), и в виде блоков вспененного полистирола (EPS-блоки) [3].

Основные области применения облегченных насыпей из EPS-блоков:

- линейные участки автомобильных дорог на слабом основании;
- подходы к мостовым сооружениям на слабом основании;
- уширение насыпей на слабом основании;
- строительство автомобильных дорог на участках возможных оползней;
- устройство заполнения за подпорными стенками.

EPS-блоки имеют геотехническое назначение. Их функции: сжимаемое включение; дренаж; снижение мас-

сы, шума и вибрации до пониженной амплитуды; структурное разделение сред; тепловая изоляция.

Мировая практика свидетельствует, что из всех легких материалов для устройства облегченных насыпей наибольший эффект дает применение EPS-блоков, широкое внедрение насыпей из которых за рубежом началось в середине 1980-х гг. С тех пор применение EPS-блоков ежегодно растет, особенно в Японии, а также в Скандинавских странах, США, Германии, Англии, Франции, других странах. По имеющимся данным, в мире построено более 3 тыс. дорожных объектов с применением EPS-блоков в объеме более 2,5 млн м³. Отечественный опыт применения EPS-блоков ограничен [3].

Блок из экспандированного полистирола (EPS) – это жесткое теплоизоляционное изделие прямоугольной формы, толщина которого ненамного меньше его ширины. Блоки поставляют с обрезными или необрезными кромками, толщиной 0,5–1 м, шириной 1–1,2 м, длиной 2–5 м.

Устройство легких насыпей может применяться для обеспечения устойчивости основания; снижения осадки и ускорения достижения ее допустимой величины. В этом случае в конструкции насыпи частично используют различные материалы, имеющие меньшую плотность, чем природный грунт. В качестве таких материалов возможно применение пенополистирола, легкого шлака, искусственных гранулированных материалов и т. п. [2].

Таблица 1

Показатель	Марка пенополистирола										
	EPS 12	EPS 15	EPS 19	EPS 22	EPS 29	XPS 20	XPS 21	XPS 26	XPS 29	XPS 36	XPS 48
Плотность, кг/м ³	11,2	14,4	18,4	21,6	28,8	19,2	20,8	25,6	28,8	35,2	48
Сжимающее сопротивление, кПа, при 1% сжатии	15	25	40	50	75	20	35	75	105	160	280
Сжимающее сопротивление, мин, кПа, при 5% сжатии	35	55	90	115	170	85	110	185	235	335	535
Сжимающее сопротивление, мин, кПа, при 10% сжатии	40	70	110	135	200	104	104	173	276	414	690

Таблица 2

Измерение, мм	Все типы EPS
Ширина	305–1219 (12 к 48)
Длина	1219–4877 (48 к 192)
Толщина	25–1219 (1 к 48)

Проведен анализ европейского стандарта EN 14933:2007 «Теплоизоляция и легкие заполнители для применения в гражданском строительстве продукции заводского изготовления из экспандированного пенополистирола (EPS)», который устанавливает требования для изготовленных заводским способом продуктов из пенополистирола, применяемых для защиты легких насыпей с целью уменьшения горизонтального и вертикального давления грунта, а также в других целях при строительстве.

EPS-блоки изготавливаются в форме плит и блоков. Длину l и ширину b определяют согласно EN 822, толщину d – согласно EN 823, прямоугольность – согласно EN 824, прочность при изгибе – согласно EN 12089. Изделия должны обладать минимальной степенью прочности при изгибе усилием в 50 кПа. Классификацию горючести определяют согласно EN 13501-1. Размероустойчивость при определенном воздействии температуры и влажности определяют в соответствии с EN 1604. Испытания проводят после хранения в течение 4 ч при $23 \pm 2^\circ\text{C}$ и $90 \pm 5\%$ относительной влажности. Относительное изменение ширины, длины и толщины не должно превышать 1%. Напряжение сжатия при 10% деформации или прочность при сжатии 10 определяют согласно EN 826. Размероустойчивость при определенных условиях температуры и влажности определяют по требованиям EN 1604 [4, 5].

Проведен анализ стандарта D 6817–04 [6], в котором отмечается, что EPS Geofaam формируют расширением гранул пенопласта. Изделия Geofaam должны иметь однородную плотность. Стандарт отражает минимально допустимые требования к данному виду материала. Технические (физические) требования представлены в табл. 1. Линейные размеры EPS-блоков представлены в табл. 2.

С погрешностью, достаточной в обычных целях проектирования, до сжимающего напряжения 1% поведение напряжения EPS-блока Geofaam предполагают линейным и упругим (исследованиями установлено, что поведение линейно до уровня сжимающего напряжения приблизительно 0,5%). В результате новый параметр для EPS-блока был определен как напряжение упругого предела, т. е. как сжимающее усилие при 1% напряжении, принятое в стандартном методе контроля и испытания.

Стабилизация откосов производится с целью увеличения сил сопротивления необратимым деформациям: путем применения внешних конструктивных решений с использованием опор и противовесов для насыпей; применения строительных систем, установки анкеров; повышения внутренней прочности с помощью осушения; использования армирования при засыпке; биотехнического упрочнения, химической обработки, электроосмотического способа водопонижения, термообра-

ботки, снижения нагрузки, полного или частичного удаления нестабильных материалов, установки мостов (перемычек); изменения направлений или уклонов, установки внешних и/или внутренних водостоков, путем уменьшения массы.

Методические подходы при техническом нормировании напряженно-деформированного состояния материала EPS-блоков проиллюстрированы на рис. 1. Измерителями являются показатели напряжения при сжатии при 1-, 5- и 10%-й относительной деформации стандартного образца [6–8].

На рис. 2 представлено сечение конструкции насыпи с применением EPS-блоков [7, 8].

Покрытие может быть асфальтобетонным или цементобетонным.

Блоки должны быть размещены согласно рис. 3, где показано их типовое расположение.

EPS-блоки должны быть уложены до слоя дренажа, который помещен за их границей так, чтобы минимизировать нагрузку на него и облегчить строительство.

В дополнение к существенному сокращению вертикальных усилий также будет значительно уменьшено боковое давление грунта на сооружение.

Предполагается, что давление создается в двух направлениях: масса EPS-блоков и давление со стороны грунта, что показано на рис. 4.

Величины этих нагрузок изменяются в зависимости от силы тяжести или от сейсмической нагрузки.

На рис. 4 обозначено: W_{EPS} – масса EPS-блоков; W_{SOIL} – сила тяжести среды грунт–жидкость; P_A – гори-

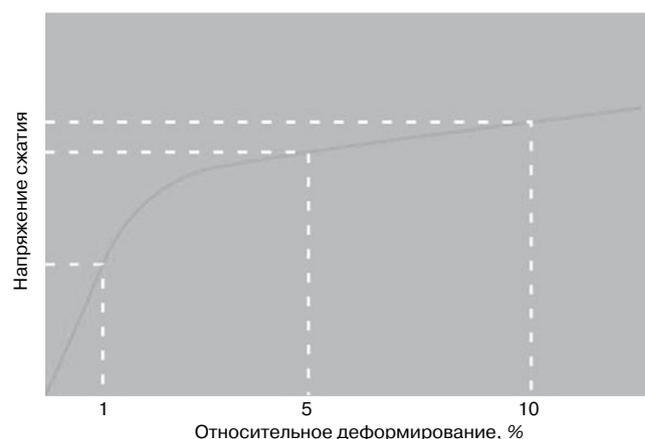


Рис. 1. Методические подходы технического нормирования EPS-блоков

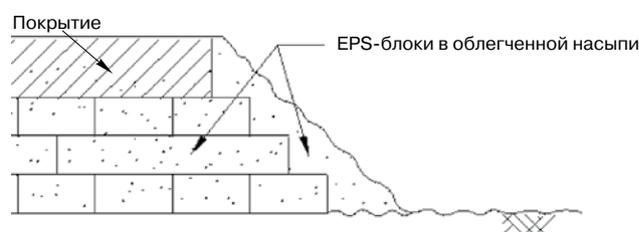


Рис. 2. Сечение конструкции насыпи с применением EPS-блоков

зонтальная нагрузка со стороны среды грунт–жидкость; W_p – нагрузка со стороны дорожного покрытия [8].

Активное давление со стороны грунта, действующее вдоль этого направления, вычисляется на основе уравнения Кулона. Рекомендуемая крутизна откосов – 1:0; 1:0,25; 1:0,33; 1:0,5. На участках с очень слабыми основаниями могут устраиваться более пологие откосы. Высота насыпей должна составлять от 1,5 до 16 м и более. Для засыпки боковых откосов возможно применение традиционных типов грунтов. Толщина засыпки не менее 0,25 м. Вертикальные откосы из EPS-блоков могут быть защищены сборными железобетонными панелями, гофрированной сталью и другими материалами. Крепление силовых ограждений, опор дорожных знаков, мачт наружного освещения и других систем обустройства производится к железобетонной плите, укладываемой по поверхности верхнего слоя ряда EPS-блоков. В общем случае расчет облегченной насыпи включает три фазы.

При расчете внешней устойчивости системы рассматривается взаимодействие комбинированной системы (насыпь и покрытие) с существующим грунтовым основанием. Расчет производят по предельным состояниям эксплуатационной пригодности и прочности (несущая способность и устойчивость при различных нагрузках). Данные расчета, а также ширина полосы отвода, предельно допустимое воздействие на расположенные под насыпью и вблизи нее конструкции, время строительства являются определяющими для выбора поперечного сечения насыпи. Производится оптимизация проекта из условия минимального объема EPS, потребного для соблюдения осадки и устойчивости [8].

Нет необходимости в укладке EPS-блоков на всю высоту от основания насыпи до грунта. При расчете внутренней устойчивости насыпи определяют несущую способность и возможность смещений при сейсмическом, водном (всплытие блоков при строительстве) и ветровом (сдувание блоков) воздействиях при строительстве. Производят выбор и спецификацию характеристик EPS-блоков, обеспечивающих надежность основания дорожной одежды, чтобы исключить развитие немедленных и развивающихся во времени деформаций (ползучесть), которые могут вызвать недопустимые осадки поверхности покрытия (предельное состояние эксплуатационной пригодности).

Критерием при проектировании сооружения из EPS-блоков является предотвращение преждевременных разрушений покрытия, таких как образование колеи, трещин и т. п., выходящих за пределы требований предельного состояния эксплуатационной пригодности. При проектировании и строительстве облегченных насыпей необходимо учитывать основные характеристики EPS-блоков [7]:

- прочность при сжатии. Исследованиями установлено, что допускаемое напряжение от постоянных нагрузок не должно превышать 30% прочности EPS при сжатии при 5% деформации. Проектная прочность при сжатии должна составлять не менее 100 кН/м². В зарубежной практике наибольшее распространение получили блоки с удельной плотностью 20 кг/м³, что соответствует прочности 100 кН/м². Блоки с более высокой прочностью (до 180 кН/м²) применяют при постоянных нагрузках, превышающих 30 кН/м²;

- геометрические размеры. Толщина 0,5–0,6 м (в США до 1 м); ширина 1–1,2 м; длина 2–5 м. Стороны блоков должны быть плоскими и располагаться под прямым углом;

- химическая стойкость. При проектировании и строительстве следует учитывать низкую стойкость EPS-блоков к воздействию органических растворителей – нефтепродуктов и природного газа;

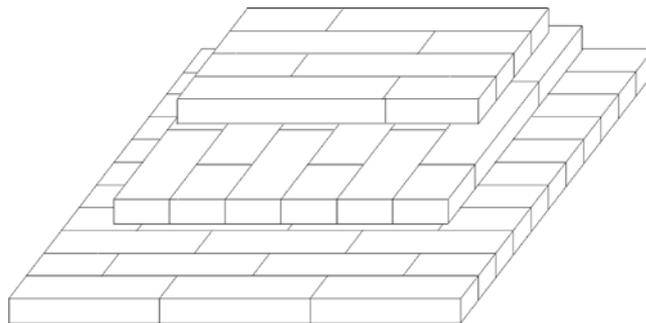


Рис. 3. Изометрическое представление типичного расположения EPS-блоков

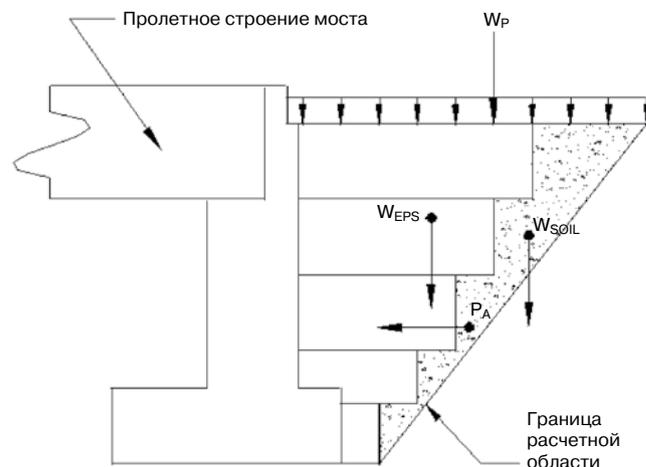


Рис. 4. Схема заполнения пространства в районе опор моста EPS-блоками

- водонасыщение заметно не сказывается на прочности EPS-блоков;
- долговременные характеристики (старение, биологическая стойкость).

Особенности строительства облегченных насыпей из EPS-блоков:

- укладка и подгонка блоков. Обычно масса EPS-блоков составляет 30–50 кг, что позволяет вести укладку вручную. Блоки смежных слоев укладываются горизонтальными слоями под прямым углом с перевязкой, чтобы избежать образования сплошных вертикальных швов. Чтобы приспособить форму блоков к конструкциям, производится их подгонка ручной или цепной пилой;

- крепление между блоками. При воздействии вертикальной нагрузки от законченной дорожной конструкции взаимного крепления между блоками не требуется. Для предотвращения смещения блоков в процессе строительства между слоями блоков устанавливаются специальные крепежные детали.

Уникальная низкая удельная плотность материала EPS-блоков, составляющая около 1% от плотности грунта, применяемого в традиционных насыпях, в сочетании с требуемой прочностью позволяет нести нагрузки от автотранспорта, опорных элементов мостов и других воздействий. Указанные преимущества совместно с меньшей стоимостью строительства насыпей с применением EPS-блоков могут компенсировать разницу между их приведенной стоимостью (среднемировая цена 1 м³ – 40–50 долларов США) и грунта.

Для проектирования насыпей с применением EPS-блоков используются стандарты ASTM D578–95 стандартные спецификации для твердого теплоизоляционного пенополистирола и европейский стандарт EN 14933.

Часто применяют полиуретан как защитный материал для EPS-блоков. Такие покрытия являются идеальным решением для защиты вспененных материалов от

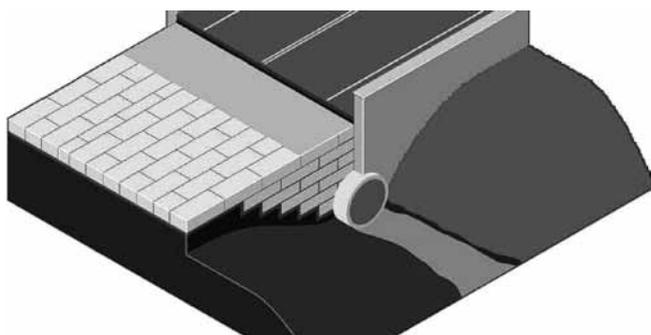


Рис. 5. Визуализация результатов проектирования строительства и реконструкции водопропускной трубы [8]

ультрафиолетового излучения, а также для защиты от различного характера механических воздействий.

В Норвегии применение EPS-блоков часто является временным техническим решением, например при сооружении конусов мостов, так как там высокие прочностные свойства EPS-блоков позволят использовать их в качестве несущей конструкции мостового сооружения (пролетное строение опирается на EPS-блоки). Известны многочисленные проекты применения EPS-блоков в Нидерландах (Деревня Фургона, 1988 г.), в Германии (Байнбрех, 1996 г.), в Скандинавии и Японии. Применение EPS-блоков ежегодно растет. Более 50% объема применения в дорожном строительстве EPS-блоков приходится на Японию, для которой характерно широкое распространение слабых грунтов и высокая сейсмическая активность [1, 2].

Известны примеры применения конструкции облегченной насыпи из EPS-блоков на подходе к путепроводу на федеральной автомагистрали I-15 г. Солт-Лейк-Сити, штат Иллинойс (США). В Канаде блоки полистирола, известного также как Геоfoam, используют в проектах строительства мостовых переходов. В настоящее время их применение становится массовой тенденцией.

В 1960 г. в результате крупного землетрясения устой моста через реку Сауитару (Чили) были значительно деформированы. В 1997 г. был разработан и осуществлен проект строительства нового моста рядом со старым, в котором подъездные части к устоям были заполнены полистирольными блоками, что позволило снизить нагрузку на грунтовое основание и избежать в дальнейшем просадку насыпи и выдавливание грунтом опор моста.

Возможно использование EPS-блоков в ландшафтной архитектуре, устройстве гидротехнических сооружений, таких как дамбы и причалы. Мировая практика показала, что данные конструктивные решения не только позволяют возводить насыпи и инженерные сооружения в сложных инженерно-геологических условиях, но и способствуют снижению стоимости строительства.

Типичные размеры EPS-блоков в США составляли 610×1220×2440 мм. Позже были применены более толстые блоки с увеличением толщины от 610 до 760 и 1000 мм в зависимости от используемого грунта. Поэтому много EPS-блоков, произведенных в настоящее время в США, являются почти квадратными в поперечном сечении. Полный диапазон плотности EPS 10–100 кг/м³, практически применяют блоки с плотностью в диапазоне не меньше 16–32 кг/м³.

Также известна некоторая вариативность плотности EPS-блоков в партии, даже если будут использовать производственный контроль качества. Это связано с изменчивостью в производстве EPS-блоков. Удельная масса больше в центре блока, меньше на краях.

Визуализация результатов проектирования строительства и реконструкции водопропускной трубы представлена на рис. 5.

Проведенный анализ показывает высокую ремонтно-пригодность технологии с применением EPS-блоков для реконструкции поврежденных водопропускных труб. Подобные исследования проводили мониторингом накопленных деформаций в облегченной насыпи из EPS-блоков конуса моста в г. Леккенберг (Норвегия).

Известен пример возведения насыпи из EPS-блоков над гофрированной водопропускной трубой [8].

На этапе выполнения проекта должна быть тщательно исследована опасность плавучести EPS-блоков.

Технические нормативы для EPS-блоков содержат повышенные требования по пожаробезопасности [8].

Выбор того или иного технического решения легких насыпей на слабых основаниях с применением EPS-блоков выполняют на основе технико-экономического сопоставления вариантов. При этом следует учитывать возникающий в сопоставлении с традиционными решениями технический эффект, связанный с повышением надежности дорожных и других конструкций, качества строительства, что не всегда может быть оценено количественно.

При выполнении работ по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог высоких технических категорий, а также в сложных грунтово-гидрологических условиях (слабые основания, грунты особых разновидностей, подтопляемые откосы) рекомендуется предусматривать их научно-техническое сопровождение.

Важной задачей проектирования легких насыпей на слабых основаниях, реализуемой в рамках научного сопровождения, является повышение жесткости и устойчивости нижней части насыпи для повышения допустимой нагрузки на слабое основание. Решаемые в этом случае задачи: расширение возможности возведения насыпей на слабом основании без выторфовывания или с частичным выторфовыванием; снижение объемов земляных работ и неравномерности осадки; сокращение сроков производства работ до устройства покрытия. Использование легких насыпей на слабых основаниях с применением EPS-блоков, в том числе с вертикальными боковыми поверхностями (вертикальные насыпи), минимизирует необходимость переноса подземных инженерных коммуникаций, пересекающих насыпь, и уменьшает влияние на другие близлежащие сооружения.

Составленный пример моделирования легкой насыпи на слабом основании в одном из программных комплексов расчета оснований и фундаментов приведен на рис. 6.

Анализ зарубежного опыта применения легких насыпей на слабых основаниях с EPS-блоками показал, что разработку конструктивных решений легких насыпей на слабых основаниях с EPS-блоками рекомендуется проводить с применением геосинтетических материалов, в частности георешеток.

При этом снижается неравномерность деформирования при заполнении георешеток крупнофракционным дренирующим материалом (щебень, гравий, песчано-гравийная смесь); создается капилляропрерывающий слой. В этом случае может быть принято конструктивное решение применения разделяющей прослойки из геосинтетического материала (нетканый геотекстиль плотностью не менее 200 г/м²) под георешеткой. В данной ситуации рекомендуется применение георешеток высотой 150–200 мм с размером ячейки 200–260 мм; улучшаются условия консолидации легкой насыпи на слабом основании; обеспечиваются прочность и устойчивость слоев дорожной одежды из несвязных строительных материалов; повышается эксплуатационная надежность и сроки службы дорожных покрытий; снижается объем использования каменных ма-

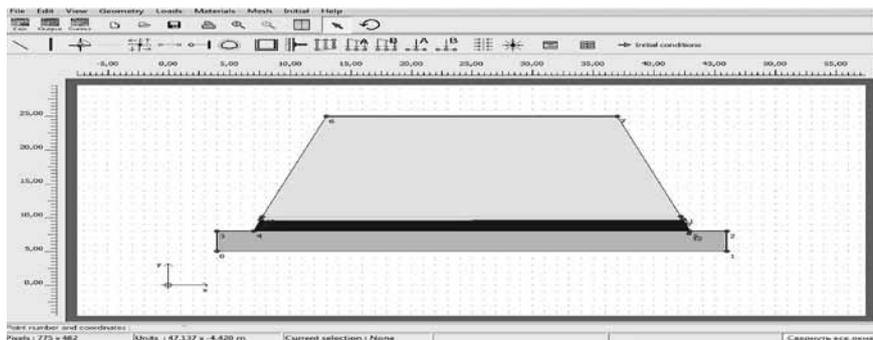


Рис. 6. Пример компьютерного моделирования легкой насыпи на слабом основании в программном комплексе расчета оснований и фундаментов

териалов; возникает возможность разрабатывать новые проектные решения; компенсируются недостатки используемых дорожно-строительных материалов, повышая их механические свойства, а в некоторых случаях превращая их в материал с новыми свойствами.

Важно отметить отличительные свойства EPS-блоков — легкость, однородность размерных показателей, сплошность и монолитность, малая вариативность используемых компонентов, высокое качество и однородность показателей серийного промышленного производства, возможность восстанавливать свою форму в значительно большем диапазоне относительных деформаций в отличие от зернистой структуры таких дорожно-строительных материалов, как песок и щебень.

Разработан перечень предложений по внедрению EPS-блоков с созданием методов и комплекса оборудования мониторинга состояния легких насыпей в период консолидации при строительстве и эксплуатации; методического обеспечения строительства и мониторинга состояния легких насыпей в системе координат местности с использованием 3D- и цифровых моделей; структуры электронного паспорта легкой насыпи на слабых основаниях с применением EPS-блоков; экспресс-методов для определения механических свойств применяемых EPS-блоков; опытно-экспериментальных участков на слабых грунтовых основаниях, торфяных основаниях, мостовых сооружениях, вертикальных подпорных стенках; при укреплении откосов; при совмещенном применении с геосинтетическими материалами, применении в качестве дамб, строительстве опытных участков автомобильных дорог.

Выводы

Мировая практика показала, что данные конструктивные решения не только позволяют возводить насыпи и инженерные сооружения в сложных инженерно-геологических условиях, но и существенно снизить стоимость строительства. Рекомендуемые технологии проектирования основаны на обеспечении свойств однородности, повышении срока службы и уменьшении коэффициента вариации размерно-механических характеристик легких насыпей из современных EPS-блоков.

Строительство облегченных насыпей с применением EPS-блоков по сравнению с обычными насыпями имеет преимущества: сокращение величины и времени прохождения осадки; простота технологии и сокращение сроков строительства; возможность производства работ в неблагоприятных погодных условиях; возможность избежать применения методов предварительной нагрузки на слабое основание, отсыпки насыпи с перегрузкой и стадийного строительства; значительное снижение затрат на содержание сооружений при неравномерной осадке и длительной консолидации основания; снижение требуемой ширины полосы отвода благодаря возможности устройства более крутых или вертикаль-

ных откосов; снижение боковой нагрузки на мостовые устои и подпорные стенки гидротехнических сооружений; снижение неравномерности относительной осадки сооружения и примыкающей насыпи; снижение относительной осадки при уширении насыпей на слабом основании; полное исключение или уменьшение объема перекладки инженерных сетей, проходящих под насыпью; снижение нагрузки на сооружения, расположенные под насыпью; приемлемый срок службы; значительное снижение гравитационных нагрузок на основание насыпей и инерционных сил, возникающих при землетрясениях.

Список литературы

1. Евтюков С.А., Матюсова Е.Ю. Несущая способность насыпи из EPS-блоков. Алгоритм подбора блоков с оптимальной плотностью // *Вестник гражданских инженеров*. 2012. № 1. С. 127–130.
2. Проектирование и строительство облегченных насыпей с применением EPS-блоков // *Автомобильные дороги*. 2007. № 10. С. 73–75.
3. Евтюков С.А., Рябинин Г.А., Спектор А.Г. Строительство, расчет и проектирование облегченных насыпей / Под ред. Е.П. Медреса. СПб.: ИД «Петрополис». 2009. 260 с.
4. EN 13163:2001 Материалы теплоизоляционные для зданий и сооружений. Изделия из расширенного полистирола (EPS). Технические условия.
5. ISO 12491:1997 Статистические методы контроля качества строительных материалов и изделий.
6. ASTM D 6817–04 Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam Твердый клеточный пенопласт Geofoam.
7. «Guideline and Recommended Standard for Application in Highway Embankments» Transportation Research Board, Washington, DC, 2004 58 pp.
8. 4-th International Conference of Geofoam Blocks in Construction application. Norway, 2011. IV Международная конференция по вопросам применения геофом (пенополистирольных) – блоков в строительстве (EPS 2011), Норвегия.

References

1. Evtiukov S.A., Matusova E.Iu. The bearing capacity of the embankment of the EPS-blocks. Algorithm selection blocks with optimal density. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2012. No. 1, pp. 127–130. (In Russian).
2. Design and construction of embankments using lightweight EPS-blocks. *Avtomobil'nye dorogi*. 2007. No. 10, pp. 73–75. (In Russian).
3. Evtiukov S.A., Ryabinin G.A., Spektor A.G. Stroitel'stvo, raschet i proektirovanie oblegchennykh nasypei [Construction, calculation and design of lightweight embankments. Ed. by E.P. Madres]. SPb.: «Petropolis». 2009. 260 p.
4. EN 13163:2001 Thermal insulation products for buildings – Factory made products of expanded polystyrene (EPS) – Specification.
5. ISO 12491:1997 Statistical methods for quality control of building materials and components.
6. ASTM D 6817–04 Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam.
7. «Guideline and recommended standard for application in highway embankments» Transportation Research Board. Washington. DC. 2004. 58 p.
8. 4-th International Conference of Geofoam Blocks in Construction application. Norway, 2011.

Н.Н. СИНИЦЫН, д-р техн. наук (sinitsyn@chsy.ru), А.В. МАКОНКОВ, инженер
Череповецкий государственный университет (162600, г. Череповец, пр. Луначарского, 5)

Оценка температуры поверхности дорожного покрытия в процессе строительства

Рассмотрен процесс охлаждения дорожного покрытия из горячих асфальтобетонных смесей при строительстве автомобильных дорог. Представлено описание математической модели расчета температурного поля дорожных одежд. Математическая модель содержит одномерные нестационарные уравнения теплопроводности для каждого слоя. Граничные условия на поверхности верхнего слоя учитывают теплообмен конвекцией и радиацией. Между слоями граничные условия четвертого рода. Температура границы нижнего слоя постоянна. Тестирование модели проведено для задачи ограниченного и полуограниченного стержней. Представлены результаты тестирования математической модели. Численное решение уравнений теплопроводности проведено по неявной схеме. Предложена методика расчета температуры поверхности дорожного покрытия. Представлены расчетные значения температуры поверхности дорожного покрытия в зависимости от скорости ветра, солнечной радиации, толщины слоя покрытия, порозности слоя горячего асфальтобетона и начальной температуры слоя. Установлено, что при одинаковых условиях наибольшее влияние на изменение температуры оказывает пористость материала слоя.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, дорожное покрытие, температурное поле слоев.

N.N. SINITSYN, Doctor of Sciences (Engineering) (sinitsyn@chsy.ru), A.V. MAKONKOV, Engineer
Cherepovets State University (5 Lunacharskogo Avenue, 162600, Cherepovets, Russian Federation)

Evaluation of Temperature of Road Surface during Construction

The process of cooling of road pavement of hot asphalt concrete mixes at construction of highways is considered. The article presents the description of a mathematical model of calculation of temperature fields of pavement. The mathematical model contains the one-dimensional non-stationary heat conduction equations for each layer. Boundary conditions on the surface of the top layer take into account the heat transfer by convection and radiation. The boundary conditions of the fourth kind are between the layers. The temperature boundaries of the lower layer are constant. Testing the model is performed for limited and semi-infinite rods. The article presents the results of testing the mathematical model. The numerical solution of heat conduction equations held by the implicit scheme. In article the method for calculating the temperature of paving surface is offered. The calculated values of the temperature of paving depending on the speed of a wind, solar radiation, thickness of a coat layer, a difference of thickness of a layer of hot asphalt concrete and reference temperature of a layer are presented. It is established that under identical conditions the porosity of material of the layer has the greatest impact on the change in temperature.

Keywords: asphalt concrete mixture, paving, temperature pattern of layers.

В настоящее время в России доминирующими среди усовершенствованных типов покрытий автомобильных дорог являются асфальтобетонные, фактические сроки службы которых зачастую меньше нормативных. Одной из основных причин преждевременного разрушения асфальтобетона в покрытии является образование трещин в процессе эксплуатации дорог [1]. Качество применяемых дорожных битумов отвечает не всем требованиям, в связи с чем в стране проводят исследовательские работы по модификации вяжущего различного рода добавками [1]. Особенностью применения горячих асфальтобетонных смесей является то, что их можно укладывать и уплотнять при определенных значениях температуры, зависящих от типа смеси и марки битума. Анализ методов разработки технологических схем строительства покрытий из горячих смесей показал, что при выборе машин для укладки и уплотнения покрытий учитываются температурные интервалы, соответствующие каждой машине для укладки [2]. За время работы в определенном температурном интервале каждый каток должен обеспечить необходимое количество проходов по одному следу при условии соблюдения скоростных режимов укладки и соответствия его параметров свойствам асфальтобетонной смеси, зависящей от ее температуры.

Продолжительность охлаждения смеси после распределения по основанию дороги зависит от ряда факторов, к которым можно отнести толщину слоя, температуру смеси при укладке, погодные-климатические условия и теплофизические свойства материала.

В зависимости от принятой конструкции дороги покрытие может устраиваться в один или два слоя, что влияет на технологию производства работ. С целью исследования влияния разных факторов (конструктивных, погодных, технологических и свойств материалов)

на процесс охлаждения дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей рассмотрена расчетная модель проезда и городской улицы: плотный мелкозернистый асфальтобетон (толщина $h = 4$ см); пористый крупнозернистый асфальтобетон ($h = 6$ см); шлаковый щебень ($h = 10$ см); шлаковый щебень ($h = 30$ см).

Минимальная толщина дорожного покрытия из горячих асфальтобетонных смесей регламентирована СНиП 2.05.02–85 и находится в пределах 3–8 см.

Исходные данные:

- процесс строительства дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей ограничен во времени температурным интервалом 160–40°C;
- в момент укладки смеси температура по толщине слоя имеет одинаковую величину;
- укладываемый в слой материал должен быть однородным;
- потери тепла через боковые поверхности слоя незначительны и ими можно пренебречь;
- потери тепла происходят через поверхность верхнего слоя за счет теплового излучения и конвективного обмена в атмосферу;
- дополнительная тепловая энергия сообщается через верхнюю поверхность слоя путем поглощения энергии солнечного излучения;
- направление тепловых потоков принимается перпендикулярным к поверхности слоя;
- потери тепла в нижележащие слои происходят через нижнюю поверхность слоя за счет теплопроводности материалов;
- сцепление слоев обеспечивает достаточный термомонтаж;
- температура окружающей среды и скорости воздушных масс с момента укладки слоя смеси и до окончания процесса уплотнения остается постоянной.

Постановка задачи: ограниченный стержень приведен в соприкосновение с полуограниченным стержнем, имеющим другие термические коэффициенты. Боковые поверхности стержней имеют тепловую изоляцию. В начальный момент времени свободный конец стержня охлаждается за счет теплообмена конвекцией и излучения в окружающую среду, температура которой изменяется на протяжении всего процесса охлаждения покрытия. Необходимо определить распределение температуры по длине стержней. Начальные значения температуры обоих стержней различны.

Имеем:

$$\frac{\partial T_i(x, \tau)}{\partial \tau} = a_i \frac{\partial^2 T_i(x, \tau)}{\partial x^2}, \tau > 0; 0 \leq x \leq l_i; i = 1; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{i=n-1} l_i \leq x \leq \sum_{i=1}^{i=n} l_i, i = 2, 3, 4, 5; n = 2, 3, 4, 5;$$

$$T_1(x, 0) = T_{01} = \text{const}, T_i(x, 0) = T_{02} = \text{const} i = 2, 3, 4, 5; \quad (2)$$

$$T_i(R_i, \tau) = T_{i+1}(R_{i+1}, \tau), i = 1, 2, 3, 4; \quad (3)$$

$$\frac{\lambda_i}{\lambda_{i+1}} \cdot \frac{\partial T_i(R_i, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial T_{i+1}(R_{i+1}, \tau)}{\partial x}, i = 1, 2, 3, 4, 5; \quad (4)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(0, \tau)}{\partial x} = \alpha [T_1(0, \tau) - T_{cp}]; \quad (5)$$

$$T_5(\infty; \tau) = T_{02} = \text{const}, \quad (6)$$

где $T_i(x, \tau)$ – текущие значения температуры в телах; x и τ – текущие координаты и время; R_i – координата сопряжения стержней; λ и λ_{i+1} – коэффициенты теплопроводности тел; a_i – коэффициент температуропроводности тел; T_{01} и T_{02} – начальные значения температуры тел; T_{cp} – температура окружающей среды; $\alpha = \alpha_k + \alpha_l$ – суммарный коэффициент теплоотдачи; α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией; α_l – коэффициент теплоотдачи излучением; коэффициент теплоотдачи изменяется во времени; $l_i - l_5$ – толщины слоев; n – число слоев.

Система уравнений (1)–(7) в общем случае может быть решена только численным методом. Численное решение при неявной схеме аппроксимации является устойчивым. Погрешность численного решения в данном случае зависит от настроечных параметров алгоритма N и Δt . Необходимо эти параметры выбрать таким образом, чтобы погрешность результатов моделирования не превосходила заданную. В данной работе предложен способ тестирования численных методов решения задачи с использованием точного ее решения, которое приведено в работе [3] для граничных условий первого рода. Оно включает поле температуры в случае, если термические свойства стержней одинаковы, так же как и для одного полуограниченного стержня.

Тестирование выполняли на конкретном примере охлаждения слоя асфальта на другом уже охлажденном слое. Толщина нагретого до 200°C слоя асфальта равна 0,05 м. Толщина охлажденного асфальта 0,05 м. Тестирование результатов моделирования выполняли путем сравнения с точным решением и оценкой погрешности моделирования.

Настроечные параметры приняты $N = 224$; $\Delta t = 0,1$ с. При этом погрешность вычислений составляет менее 1%.

Следует отметить, что такое большое число узлов, обеспечивающих погрешность менее 1%, обусловлено жестким граничным условием первого рода. При использовании граничных условий третьего рода следует ожидать существенного уменьшения допустимого количества узлов. Количество узлов N_1 в горячем слое и количество узлов в холодных слоях N_i приблизительно равно.

Величина α_l Вт/(м²·К) коэффициента теплоотдачи смеси за счет теплового излучения зависит от температуры воздуха и смеси. Численное значение α_l может быть определено по формуле в работе [2]:

$$\alpha_l = \left\{ \xi \cdot c_0 \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_\theta}{100} \right)^4 \right] \right\} / (T_n - T_\theta),$$

где c_0 – постоянная Стефана–Больцмана ($c_0 = 5,67$, Вт/(м²·К⁴); ξ – коэффициент эмиссии, $\xi = 0,9$; T_n, T_θ – температура поверхности и температура воздуха, К.

Коэффициент теплоотдачи за счет конвективного обмена с окружающей средой зависит от скорости ветра и его расчетное значение может быть определено на основе эмпирических зависимостей, приведенных в [4].

Теплоотдача при продольном обтекании пластинки: – при ламинарном пограничном слое:

$$\overline{Nu}_l = 0,664 Re_l^{1/2} \cdot Pr^{1/3}; \quad (7)$$

– при полностью турбулентном пограничном слое:

$$\overline{Nu}_l = 0,37 Re_l^{0,8} \cdot Pr^{0,43}, \quad (8)$$

где число Нуссельта $\overline{Nu}_l = \frac{\overline{\alpha} \cdot l}{\lambda}$; число Рейнольдса $Re_l = \frac{W_0 l}{\nu}$;

$\overline{\alpha} = \frac{q_c}{\Delta t_n}$ – средний коэффициент теплоотдачи на пластинке (считая от передней кромки) длиной l , $\Delta t_n = t_c - t_0$; t_Π – постоянная температура поверхности пластинки; t_B – температура набегающего потока вдали от пластинки; W_0 – скорость набегающего потока; λ и ν – коэффициент теплопроводности и кинематический коэффициент вязкости газа при температуре t_B .

Уравнение (7) справедливо при значениях $Re_l < Re_{l,cr}$ и $0,6 \leq Pr \leq 15$; уравнение (8) – при значениях $Re_{l,cr} < Re_l < 10^7$ и $0,7 \leq Pr \leq 200$.

Среднее значение критического числа Рейнольдса равно приблизительно $5 \cdot 10^5$. $Pr = 0,73$ число Прандтля для воздуха.

При естественной конвекции, когда нагретая (теплоотдающая) поверхность обращена вверх, применяется формула:

$$\overline{Nu} = 0,54 Ra^{1/4}, \quad (9)$$

справедливая для квадратных пластин при $10^5 \leq Ra \leq 2 \cdot 10^7$. Здесь физические свойства среды отнесены к температуре $0,5(t_\Pi + t_B)$. За характерный размер принята сторона квадрата; $Nu = \overline{\alpha} l / \lambda$ – среднее число Нуссельта; l – длина пластины; $Ra_l = Gr_l \cdot Pr$ – число Релея, построенное по определяющему размеру l ; $Gr_l = \frac{g l^3}{\nu^2} \cdot \frac{T_\Pi - T_B}{T_B}$ – число Грасхофа; t_Π и t_B – температура стенки и воздуха; g – ускорение свободного падения, м/с².

Тепловую энергию, сообщаемую через верхнюю поверхность слоя путем поглощения энергии солнечного излучения, рассчитываем по формулам:

$$q_{n1} = \frac{\overline{\Phi}_{12} \cdot c_0 \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_\Pi}{100} \right)^4 \right]}{1 + \overline{\Phi}_{21} \left(\frac{1}{A_2} - 1 \right)},$$

где $\overline{\Phi}_{12} = \frac{\cos \alpha}{H^2}$ [6]; $H = \frac{h}{r}$; $h = 149,5 \cdot 10^9$ м – расстояние до Солнца; $r = 0,6955 \cdot 10^9$ м – радиус Солнца; $\overline{\Phi}_{21} = \frac{\overline{\Phi}_{12} \cdot F_1}{F_\Pi}$; $F_\Pi = 2\pi r^2$. $c_0 = 5,6703$ Вт/(м²·К⁴); $A_1 = 0,9$ – коэффициент поглощения асфальтобетона; α – угол между нормалью к поверхности элементарной площадки и направлением от площадки до центра Солнца.

Коэффициент α_l находим по формуле:

$$\alpha_l = \frac{q_{21}}{T_n - T_\theta}.$$

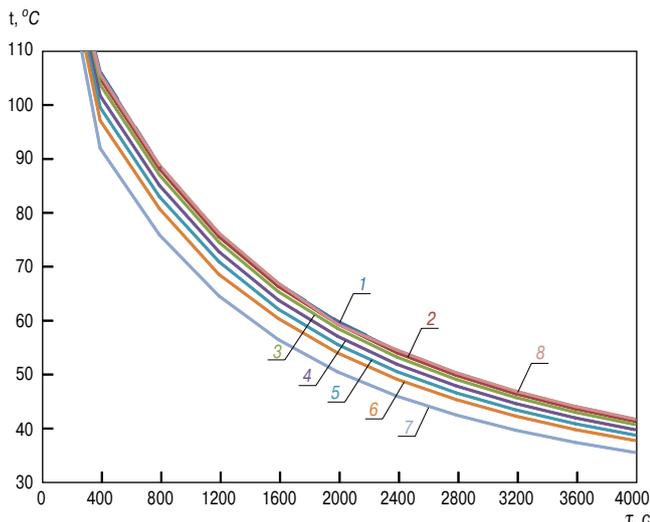


Рис. 1. Изменение температуры поверхности слоя во времени: 1 – $m_2=0,01$; 2 – $m_2=0,02$; 3 – $m_2=0,05$; 4 – $m_2=0,1$; 5 – $m_2=0,15$; 6 – $m_2=0,2$; 7 – $m_2=0,3$; 8 – $m_2=0$

Теплотехнические характеристики дорожного покрытия приняты в соответствии со СНиП П-3-79 «Строительная теплотехника. Асфальтобетон (ГОСТ 9128-84)»: плотность $\rho=2100 \text{ кг/м}^3$; удельная теплоемкость $c=1,68 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$; коэффициент теплопроводности $\lambda=1,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Щебень из доменного шлака (ГОСТ 5578-76), шлаковой пемзы (ГОСТ 9760-75) и аглопорита (ГОСТ 11991-83): плотность 800 кг/м^3 ; удельная теплоемкость $c=0,84 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$; коэффициент теплопроводности $\lambda=1,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Для определения теплофизических характеристик дорожного покрытия использовали формулы, учитывающие порозность слоя; плотность рассчитывали по формуле [7]:

$$\rho = \rho_2 \cdot m_2 + \rho_1 (1 - m_2), \quad (10)$$

где ρ_2 – плотность пустот (пор); $m_2 = \frac{V_{\text{пор}}}{V_{\text{пор}} + V_{\text{зерен}}} = 1 - \rho_n / \rho_2$; $V_{\text{пор}}$, $V_{\text{зерен}}$ – объемы пор и сплошного материала; ρ_n , ρ_1 – плотность всего материала и плотность вещества; m_2 – объемная доля пор (пористость).

Коэффициент теплопроводности пористого материала в случае предельно малого значения коэффициента теплопроводности включений ($\lambda=0$), когда перенос теплоты осуществляется только через остов, рассчитывается по формуле [7]:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{2(1 - m_2)}{2 + m_2}, \quad (11)$$

где λ_1 – коэффициент теплопроводности материала слоя.

Удельную теплоемкость пористого материала рассчитываем по формуле:

$$c = \rho_2 \cdot m_2 \cdot c_2 + \rho_1 (1 - m_2) \cdot c_1, \quad (12)$$

где c_1 и c_2 – удельные теплоемкости пустот и материала.

По разработанной программе рассчитывали изменение температуры поверхности слоя асфальтобетона во времени после укладки с учетом изменения теплофизических характеристик материала, пористости и толщины слоя.

Из представленных результатов видно, что на температуру поверхности слоя влияют пористость слоя, толщина слоя и условия взаимодействия слоя и окружающей среды.

Результаты расчетов изменения температуры поверхности во времени представлены на рис. 1 (толщина

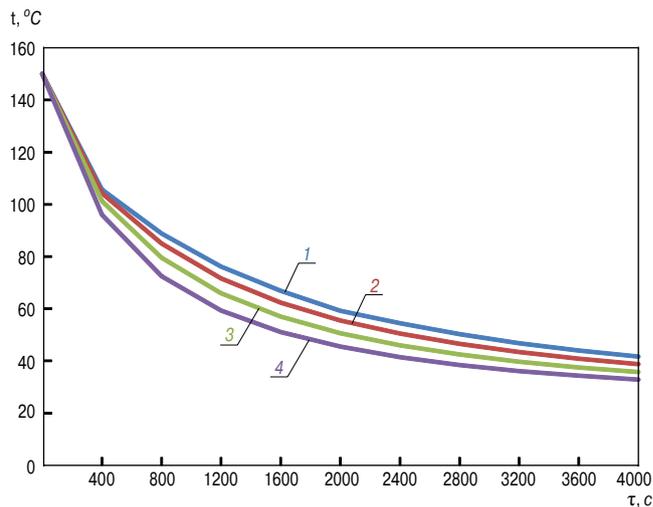


Рис. 2. Изменение температуры поверхности слоя материала во времени в зависимости от толщины слоя, м: 1 – $\delta=0,05$; 2 – $\delta=0,04$; 3 – $\delta=0,03$; 4 – $\delta=0,02$

слоя $0,04 \text{ м}$; температура смеси при укладке 150°C ; температура воздуха 20°C ; $\alpha 45^\circ$; скорость воздуха $w_0 = 12 \text{ м/с}$; пористость изменяется от 1 до 30%).

Из рис. 1 видно, что с увеличением пористости значение температуры поверхности слоя пористого материала существенно отличается от значений температуры поверхности материала без пор, с момента времени приблизительно 400 с. Изменение пористости с 0,05 до 0,3 приводит к изменению температуры на 12,79% в момент времени 800 с.

Влияние толщины слоя материала на изменение температуры поверхности слоя во времени показано на рис. 2, из которого видно, что с уменьшением толщины слоя резко изменяется температура поверхности. При изменении толщины слоя на 25% температура изменилась на 6,3% в зависимости от толщины слоя при укладке по проекту и времени прогрева 800 с.

На рис. 3 представлены результаты расчетов изменения температуры поверхности в случае отсутствия прямой солнечной радиации при изменении толщины слоя. Из рис. 3 видно, что изменение толщины слоя на 25% приводит к изменению температуры поверхности на 10,5% при времени прогрева 800 с.

Из представленных результатов видно, что пористость материала, толщина слоя укладки, условия теплообмена на границе материала заметно влияют на изменение температуры поверхности слоя во времени. При одинаковых условиях наибольшее влияние на изменение температуры оказывает пористость материала слоя.

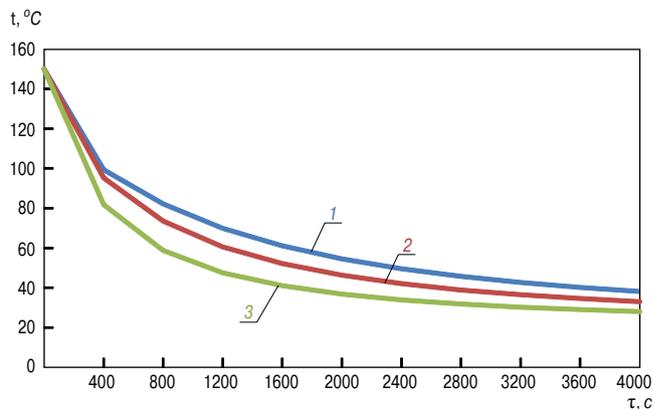


Рис. 3. Изменение температуры поверхности слоя при отсутствии прямой солнечной радиации. Толщина слоя, м: 1 – $\delta=0,04$; 2 – $\delta=0,03$; 3 – $\delta=0,02$

Анализ тепловых процессов, протекающих при укладке горячих асфальтобетонных смесей на основании, показал, что температура основания также заметно влияет на изменение температуры поверхности слоя во времени.

Таким образом, в процессе строительства дорожного покрытия температурное поле существенно зависит от

Список литературы

1. Николенко М.А., Бессчетнов Б.В. Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетонных дорожных покрытий // *Инженерный вестник Дона*. 2012. Том 20. Вып. № 2. С. 665–670.
2. Зубков А.Ф. О нестационарной теплопередаче в процессах строительства дорожных покрытий нежесткого типа // *Вестник ТГТУ*. 2007. Том 13. № 2Б. Transactions TSTU. С. 589–597.
3. Кудинов В.В., Карташов Э.М., Калашников В.В. Аналитические решения задач теплопереноса и термоупругости для многослойных конструкций. М.: Высшая школа, 2005. 430 с.
4. Белицкий В.Д., Катунин А.В. Анализ состояния дорожного асфальтобетонного покрытия средствами термодинамики // *Омский научный вестник*. 2014. Вып. № 1 (127). С. 93–95.
5. Илиополов С.К., Черсков Р.М., Мардиросова И.В. Повышение температурной стойкости асфальтобетонов путем использования резинополимерной добавки // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2006. Вып. № 34–35. <http://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-temperaturnoy-stoykosti-asfaltobetonov-putem-ispolzovaniya-rezino-polimernoy-dobavki> (дата обращения 21.07.2015)
6. Христофорова А.А., Гоголев И.Н., Филлипов С.Э. Разработка жестких покрытий карьерных дорог с применением активированной резиновой крошки // *Инженерный вестник Дона*. 2011. Том 18. Вып. № 4. С. 347–350.
7. Маконков А.В., Кузьмина А.Л., Белозор М.Ю. Исследование перспектив использования асфальтогранулобетонной смеси, полученной методом горячей регенерации // *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2014. Вып. № 2 (55). С. 13–15.

теплофизических свойств материала, толщины слоя укладки, пористости слоя, температуры слоя основания и внешних условий теплообмена (скорости воздуха, температуры воздуха, солнечной радиации). Температура поверхности слоя изменяется во времени в большей степени в зависимости от порозности слоя по сравнению с проектными значениями.

References

1. Nikolenko M.A., Besschetnov B.V. The increase in long-term cracking resistance of asphalt pavements. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2012. Vol. 20. Is. 2, pp. 665–670. (In Russian).
2. Zubkov A.F.. About a non-stationary heat transfer in processes of construction of road surfaces non-rigid type. *Vestnik TGTU*. 2007. Vol. 13. No. 2b, pp. 589–597 (In Russian).
3. Kudinov V.V., Kartashov E.M., Kalashnikov V.V. Analytical solutions of problems of heat and mass transfer and thermoelasticity for multilayered constructions [Analytical problem solving heat and mass transfer and thermoelasticity for multilayer designs]. Moscow: Vysshaya shkola. 2005. 430 p.
4. Belitsky V.D., Katunin A.V. Analysis of the condition of the road asphalt pavement by means of thermodynamics. *Omskiy nauchnyy vestnik*. 2014. Vol. 1 (127), pp. 93–95. (In Russian).
5. Ilioplov S.K., Cherskov R.M., Mardirosova I.V. Increase of thermal resistance of asphalt concrete by use rubber-polymer additives. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. 2006. Vol. 34–35. <http://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-temperaturnoy-stoykosti-asfaltobetonov-putem-ispolzovaniya-rezino-polimernoy-dobavki> (date of access 21.07.2015). (In Russian).
6. Hristoforova A.A., Gogolev I.N., Phillipov S.E. Development of rigid coverings of career roads with the use of activated rubber crumb. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2011. Vol. 18. Iss. 4, pp. 347–350. (In Russian).
7. Makonkov A.V., Kuzmina A.L., Belozor M.Yu. Research use of prospects of use granulated asphalt concrete mixture, received hot regeneration method. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014. Vol. 2 (55), pp. 13–15. (In Russian).

По поддержке: **APCC** Ассоциация предприятий строительной индустрии, **МЕТТАРА** Экспо

Организатор: **МЕТТАРА** Экспо

Международная специализированная выставка

Металло Конструкции 2016

Генеральный информационный партнер: **МКС** «Металлоснабжение и сбыт»

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

www.mc-expo.ru



ТОО «Кнауф Гипс Капчагай»



Компания «КНАУФ» в Казахстане: производство материалов, обучение, социальная ответственность



Генеральный директор
ТОО «Кнауф Гипс Капчагай»
Александр Николаевич Ефименко

В России немецкая компания «КНАУФ» известна как один из крупнейших инвесторов в промышленность строительных материалов, имеющая заводы во многих регионах страны. Компания занимает лидирующие позиции в производстве строительных и отделочных материалов на основе гипса, а социальная ответственность ее руководства может послужить примером для многих российских предпринимателей.

Но интересы компании не ограничиваются Россией. «КНАУФ» является одним из первых и самых крупных германских инвесторов, успешно работающих в Казахстане. А началась казахстанская история «КНАУФ» в 2001 г., когда владельцы приняли решение приобрести в пос. Заречном недалеко от г. Капчагай Алматинской области гипсокартонный завод.

Зареченский гипсокартонный завод начали строить в 1989 г., его проектная мощность составляла 10 млн м² в год, однако перипетии завершения эпохи СССР, образование нового государства, отсутствие плановых инвестиций не позволили заводу заработать на полную мощность. К 2001 г. на рынок поставлялось всего около 1 млн м² гипсокартона.

За период с 2001 по 2004 г., когда состоялось торжественное открытие нового завода, компания «КНАУФ» совместно с Германским обществом по инвестициям и развитию (DEG) вложила в строительство новых цехов, оборудование и технологию более 25 млн евро. Мощность практически нового предприятия



Руководитель службы корпоративных коммуникаций Л.М. Лось вручает президенту Казахской головной архитектурно-строительной академии А.А. Кусаинову книгу, изданную при поддержке компании «КНАУФ»



Журналисты российских строительных изданий с сотрудниками Казахской головной архитектурно-строительной академии

составила 18 млн м² гипсокартона в год, оно получило название ТОО «Кнауф Гипс Капчагай». Предприятие с участием ДЭГ».

Однако фирма «КНАУФ» известна еще и тем, что никогда не останавливается на достигнутом. В 2009 г. на предприятии было запущено производство сухих строительных смесей. В 2012 г. введена в строй линия по производству перлита, а в 2014 г. построен второй цех по производству гипсового вяжущего. Дополнительные инвестиции в расширение производства гипса составили порядка 7 млн евро. Было построено новое здание, установлена мельница по производству гипсового вяжущего, а также дополнительное оборудование для совершенствования процесса упаковки продукции.

Ассортимент продукции ТОО «Кнауф Гипс Капчагай» включает: КНАУФ-лист (обычный, влагостойкий, огнестойкий, влагоогнестойкий), штукатурные смеси на основе гипса (КНАУФ-Ротбанд, КНАУФ-МП 75, КНАУФ-ХП Старт, КНАУФ-Фуген, КНАУФ-Сатенгипс, КНАУФ-Перлфикс), различные металлические профили.

В настоящее время ТОО «Кнауф Гипс Капчагай. Предприятие с участием ДЭГ» является крупнейшим производителем гипсокартонных листов в Центральной Азии. На капчагайском заводе компании работают около 250 человек.

Кроме завода в к. Капчагай фирма «КНАУФ» в 2004 г. приобрела в Индерборском районе Атырауской области предприятие ТОО «ИСИ Гипс



Соборная мечеть «Хазрет Султан» – «Святейший Султан» – в Астане вторая по величине в Центральной Азии после мечети в Туркмении «Духовность Туркменбаши». Построена в 2009–2012 гг. Обладает самым большим куполом в Казахстане высотой 51 м и диаметром в основании купола 28,1 м. В углах мечети размещено четыре минарета высотой 77 м

Индер», которое также производит гипсокартонные листы. Компания создала здесь 190 рабочих мест.

Важным принципом развития производства для компании «КНАУФ» является сырьевая безопасность. Следом за приобретением производственных активов компания «КНАУФ» получила право на добычу гипсового камня в Жамбылской области и создала ТОО «Гипс Тараз», которое было запущено в 2005 г. Мощность предприятия составляет 500 тыс. т гипса в год. Предприятие полностью обеспечивает гипсовым камнем завод в г. Капчагай, а также поставляет его цементным заводам и другим потребителям.

Общий объем инвестиций в развитие казахстанских предприятий КНАУФ составил 73 млн евро.

Известно, что компания «КНАУФ» комплексно подходит не только к производству своей высококачественной и высокотехнологичной продукции, но также всемерно способствует ее правильному использованию. С этой целью осуществляется работа по подготовке и переподготовке специалистов для строительной отрасли.

Учебные центры «КНАУФ» созданы на базе Капчагайского завода и Казахской головной архитектурно-строительной академии в г. Алматы. Ресурсные центры действуют при профессиональном лицее №10 (г. Алматы), Астанинском политехническом колледже и строительном колледже в г. Костанай.

В учебных и ресурсных центрах «КНАУФ» обучают современным технологиям отделочных работ, по окончании курсов слушателям выдаются сертификаты и свидетельства государственного образца о повышении квалификации. Благодаря усилиям «КНАУФ» в общеобразовательную программу среднего профессионального образования введена новая специальность «Мастер сухого строительства».

Продукция КНАУФ неоднократно награждалась призами в национальных конкурсах. В 2010–2011 гг. в г. Алматы ТОО «Кнауф Гипс Капчагай» стало победителем международного фестиваля-конкурса «Выбор года» в двух номинациях: «Отечественный производитель сухих строительных смесей №1 в Казахстане» и «Гипсокартон №1 в Казахстане». Экспертное жюри данного конкурса насчитывало более 400 человек. Продукция КНАУФ в Казахстане стала «Выбором года» и в 2012 г.

Компания «КНАУФ» имеет хорошие перспективы в Казахстане, в особенности с учетом осуществления программ по развитию строительства жилья и других сооружений. Создаваемые сегодня государством условия для деятельности иностранных инвесторов в стране предоставляют хорошие возможности международным компаниям. Компания «КНАУФ» постоянно инвестирует в расширение своей деятельности в Казахстане и в перспективе готова привлекать дополнительные инвестиции.

22 апреля 2015 г. в Астане компания КНАУФ стала организатором международной конференции «ЭКСПО-2017 – ориентир для современного строительства». Соорганизаторами конференции выступили: Казахская головная архитектурно-строительная академия и Союз архитекторов Казахстана. Основной целью ее проведения была демонстрация того, какие строительные технологии и материалы уже сегодня



Театр «Астана опера» открыт в 2013 г., по техническим возможностям он не уступает, а порой и превосходит многие театры мира



Дворец Мира и Согласия – символ дружбы, единения и мира на земле Казахстана, открыт в 2006 г. Автором проекта является известный британский архитектор Норман Фостер. Основание пирамиды 62×62 м, высота 62 м. Вершину пирамиды украшает витраж с изображениями 130 голубей, символизирующих национальности, живущие на казахстанской земле, художника Брайана Кларка



Деловой комплекс нового поколения «Москва»



Встреча журналистов российских строительных изданий с одним из руководителей строительства объектов ЭКСПО-2017 в Астане



ня формируют фундамент будущей среды для жизни и работы человека, какие разработки и идеи станут реальностью завтра.

Предстоящая выставка, которая пройдет с 10 июня по 10 сентября 2017 г. под лозунгом «Энергия будущего», осветит одну из самых актуальных тем, волнующих мировое сообщество – альтернативные источники энергии. Ожидается, что в ней примут участие около 100 стран, которые продемонстрируют достижения и перспективы в сфере использования возобновляемых источников энергии и такие их преимущества, как экологическая чистота, низкая стоимость эксплуатации и безвредность для окружающей среды. Для Казахстана ЭКСПО-2017 станет знаковым событием: никогда раньше международная выставка подобных масштабов не проходила в странах Центрально-Азиатского региона и СНГ.

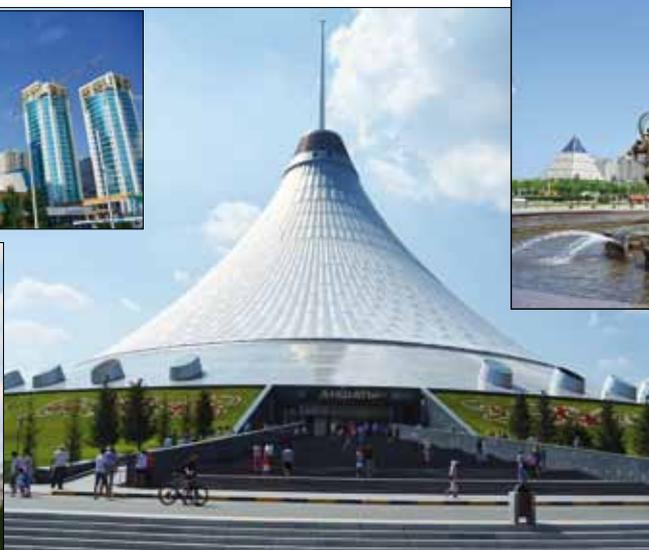
Особым поводом для гордости КНАУФ является признание заслуг германской компании со стороны руководства Республики Казахстан. «КНАУФ» в числе первых восьми иностранных инвесторов, в том числе первых двух германских компаний в конце ноября 2013 г. была удостоена премии Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан (ныне Министерство по инвестициям и развитию Республики Казахстан) за инвестиционную активность в номинации «Расширение производственной деятельности».

Следует отметить, что практически на всех знаковых объектах, будь то офисные здания, спортивные и культурные учреждения, жилье или объекты ЭКСПО-2017, применяется продукция КНАУФ. Наиболее примечательные строительные объекты, где использовались материалы производства КНАУФ в Казахстане: Государственный театр оперы и балета «Астана Опера», торгово-развлекательный центр «Хан Шатыр», деловой комплекс нового поколения «Москва», жилой комплекс «Северное Сияние», республиканский велотрек СК «Сарыарка», ледовый дворец «Алау», стадион «Астана Арена», монумент «Астана Байтерек», являющийся основной достопримечательностью города, и многие другие.

Бизнес компании «КНАУФ» в Казахстане развивается вместе со страной.



Комплекс ЭКСПО-2017 строится с использованием материалов КНАУФ



SOFTWARE

ebos[®]

ebos[®] это гораздо больше, чем обычная система контроля! Это интегрированная система, которая охватывает все аспекты подготовки и полностью управляет всеми этапами процесса производства бетонных элементов.

www.ebos.org

e^{rp}bos[®] – ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ – ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Представлено программное обеспечение для предприятий-производителей сборных железобетонных элементов, позволяющее управлять коммерческими предложениями и заказами; организовать гибкое планирование производственных заданий, мобильный обмен данными по монтажу.

- Интерфейс PXML обеспечивает простую интеграцию систем e^{rp}bos[®], e^{rp}bos[®] и CAD.

- Безупречные процессы обмена данными.
- Комплексное решение «под ключ» – от машин до систем планирования.

- Индивидуальное решение для планирования ресурсов предприятия (ERP) по производству сборных железобетонных элементов.

Строительство многих зданий невозможно без сборных железобетонных элементов. Особо важную роль при строительстве крупных объектов играют конструктивные элементы как стеновые и фасадные элементы перекрытий или несущие конструкции.

Соответственно под нужды конкретного проекта корректируются логистика и работа производства. Требования к планированию сроков, поставок материала, персонала и транспорта в этом случае очень высоки.

Программный инструмент e^{rp}bos[®] для планирования и управления всеми коммерческими и производственными процессами поможет решить эту непростую задачу. Все приложения и функции были разработаны совместно с предприятиями-производителями сборных железобетонных элементов и постоянно оптимизируются.

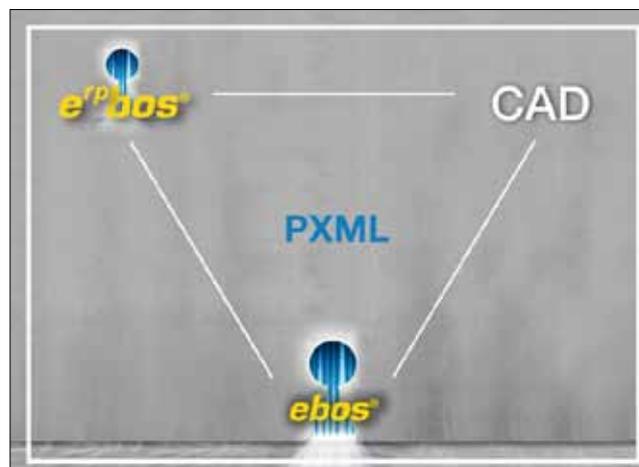
Модификация e^{rp}bos[®] для конструктивных железобетонных элементов адаптирована к специфическим требованиям соответствующих коммерческих и производственных процессов. Другие модификации системы адаптированы для бетонных блоков, бетонных потолочных элементов, шахт и гаражей. Все вместе эти модификации представляют собой комплексную линейку решений для железобетонной промышленности. При этом каждое отраслевое решение в отдельности выигрывает от совершенствования и производственного опыта всех остальных модификаций линейки.

Для планирования, регулирования и управления в данном отраслевом решении для конструктивных железобетонных элементов реализованы, кроме прочего, следующие опробованные на практике приложения.

- Простая трансформация коммерческих предложений в заказы и планирование производственных заданий.

- Управление чертежами проектов с интерфейсом CAD, позволяющим импортировать данные из систем автоматизированного проектирования CAD (NEMETSCHEK Allplan, Idat, Tekla Structures и др.).

- Импорт данных из известных производственных машин.



- Удобное планирование загрузки и посменной работы всех опалубочных столов.

- Одновременное использование всех планировочных таблиц (например, для планирования производственных заданий) несколькими пользователями.

- Управление складом готовых изделий и расчет загрузки машин.

В рамках специализированных для отрасли функций предлагаются полностью или на выбор следующие приложения и опции:

- Многоарендная архитектура: несколько заводов или фирм-партнеров – одна система.

- Экспорт чертежей и спецификаций из систем CAD или CAM.

- Полная документация по проекту (архитектурные планы, коммерческие предложения, счета-фактуры, фотографии) благодаря интегрированной системе управления документацией (DMS).

- Регистрация человеко-часов и производственных данных.

- Централизованное управление мастер-данными (базы данных клиентов, изделий и объектов).

В техническом плане система e^{rp}bos[®] отличается высокой степенью адаптируемости и масштабируемости. Опытные консультанты и сотрудники службы поддержки помогут в случае проблем и при необходимости расширения.



- Инновационная платформа с использованием Microsoft.NET и C#.
- Простая корректировка с помощью макросов и языка подготовки сценариев.
- Интуитивно понятное управление, четкая структура окон и дизайнер отчетов.
- Сетевой режим работы или автономный режим работы офлайн.
- Приложения для iPhone или iPad, позволяющие мобильный доступ к данным.
- Постоянное совершенствование и регулярный выпуск новых версий.

e^Pbos® УДОБНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАНИЙ



Как правило, заказы содержат ряд позиций с различными сроками поставки. В ходе планирования производственных заданий позиции с одинаковыми сроками из одного или нескольких заказов могут объединяться.

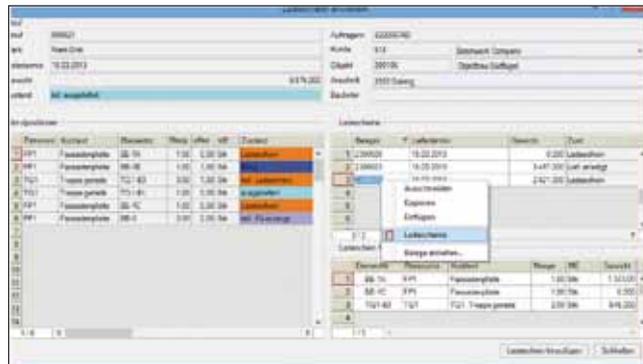
Производственным заданиям можно присвоить чертежи из программных систем CAD, таким образом при планировании производственных заданий отслеживается состояние работы над чертежами.

e^Pbos® ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАНИЙ И ПРОИЗВОДСТВА

Интерактивные графические планировочные таблицы облегчают планирование производственных заданий и производства. Перенос сроков в результате изменений порядка выполнения строительных работ или отсутствия планов реализуется очень просто, элементы можно легко перетаскивать мышкой. При этом настройка может выполняться одновременно несколькими пользователями. Каждое изменение незамедлительно отображается на всех соответствующих планировочных таблицах.

e^Pbos® ОПТИМАЛЬНАЯ ЗАГРУЗКА, ПОРЯДОК НА СКЛАДЕ

Непосредственно на планировочном столе можно создавать транспортные накладные. При этом учитываются состояния позиций



производственных заданий, вес элементов и общий вес для оптимальной загрузки грузовика. С помощью складского журнала еще не поставленным элементам могут быть выделены места на складе.

e^Pbos® УПРАВЛЕНИЕ МАРШРУТАМИ ДОСТАВКИ И ЛОГИСТИЧЕСКИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Сразу после того как была создана транспортная накладная, изготовленные элементы готовы к отгрузке. Это может выполняться путем простого присвоения одной или нескольких транспортных накладных (перетаскиванием мышкой) определенному логистическому предприятию или конкретной грузовой машине. Повторяющиеся маршруты можно сохранить для повторного использования.

e^Pbos® ПЛАНИРОВАНИЕ МОНТАЖА

На основании данных заказа или производства могут комплектоваться монтажные бригады. Всем членам таких бригад предоставляется информация о сроках и объектах, для получения которой можно использовать ноутбук, iPhone или iPad. Все данные, включая чертежи, документацию и размеры, также предлагаются в режиме офлайн.

e^Pbos® ДОСТУП К ЛЮБОЙ ИНФОРМАЦИИ НА МЕСТАХ ИЛИ В ПУТИ

Информация по проекту или заказу, а также записи в календаре и контактные данные могут просматриваться и изменяться с устройств iPhone или iPad.



Two shows - One date

India's
only B2B exhibition
for ceramics industry

INDIAN ceramics 2016

11th Annual Ceramic Materials, Machinery,
Supplies & Technology Show



Organised by



Messe München
International



UNIFAIR
EXHIBITION SERVICE



March 2 - 4, 2016

Gujarat University Exhibition Centre, Ahmedabad, India



Concurrent Shows



Powered by



Ceramitec

Official Media Partner

**asian
ceramics**

www.ceramicsasia.net

www.indian-ceramics.com



ufi
Approved
Event

2016中国国际陶瓷技术装备及 建筑陶瓷卫生洁具产品展览会

2016 China International Ceramics Technology, Equipment,
Building Ceramics & Sanitaryware Exhibition

CERAMICS CHINA 2016

The World's Largest Exhibition in Ceramic Industry

120,000 Square Meters

100,000 Professional Visitors

1,000 Exhibitors

5,000 Mechanical Equipments

Organizer:

China Building Materials Federation
China Building Ceramics & Sanitaryware Association
CCPIT Building Materials Sub-Council

Sponsor:

BMET Co., Ltd.

Contact:

CCPIT Building Materials Sub-Council
15th Floor, Block C, China Building
Materials Plaza, No.11A Sanlihe Road,
Haidian District, Beijing 100037, China
Tel: 0086-10-88082338
Fax: 0086-10-88082339
E-mail: Ms.Dido Liu liuyan@ccpitbm.org
Ms.Keren Qi keren@ccpitbm.org
Website: www.ceramicschina.net
Twitter: Ceramics China 2016
FaceBook: Ceramics China Guangzhou



May 27-30, 2016

China Import and Export Fair Complex · Guangzhou



Долгожданная встреча специалистов строительной индустрии состоялась на 19. ibausil

16–18 сентября 2015 г. в г. Веймаре (Германия) состоялся международный конгресс по строительству и строительным материалам 19. ibausil. Он традиционно проходит раз в три года, а бессменным организатором выступает команда специалистов Института строительных материалов им. Ф.А. Фингера Веймарского университета Bauhaus (F.A. Finger Institute for Building Materials Science at Weimar Bauhaus University). По данным оргкомитета, в работе конгресса приняло участие около 600 специалистов из 29 стран мира. Поддержку мероприятию оказали Немецкий исследовательский фонд (Deutsche Forschungsgemeinschaft), цементные заводы Karsdorf, Wossingen und Sotenich, CEMEX Германия, Хайдельберг Цемент (HeidelbergCement) и др.

The long-awaited meeting of specialists of construction industry took place at 19. ibausil

The International Congress on construction and building materials 19. ibausil took place on September 16–18, 2015 in Weimar (Germany). It is traditionally held every three year and its permanent organizers are a team of specialists of F.A. Finger Institute for Building Materials Science at Weimar Bauhaus University. According to data of the organizing committee about 600 specialists from 29 countries of the world took part in the work of the Congress. The event was supported by Deutsche Forschungsgemeinschaft, cement factories Karsdorf, Wossingen und Sotenich, CEMEX Germany, Heidelberg Cement et. al.

Встреча специалистов в области строительных материалов состоялась в конгресс-центре г. Веймара в девятнадцатый раз. Центральными темами мероприятия были проблемы развития, производства, применения строительных материалов и проведения строительных работ. Кроме того, в холле конгресс-центра была представлена выставка фирм – производителей оборудования. Традиционно организаторы порадовали участников не только деловой, но и культурной программой. В неформальной обстановке участники могли познакомиться лично и более детально обсудить волнующие профессиональные вопросы.

Meeting of the experts in the field of building materials took place at the Congress-center in Weimar in the nineteenth time. Central topics of the event were problems of the development, production, application of building materials and construction works. Besides, in the hall of the Congress-center the exhibition of firm-manufacturers was presented. Traditionally the organizers pleased the participants with not only business but also cultural program. In an informal setting, the participants could meet personally and discuss professional issues in more details.



К. Скривенер, профессор лаборатории строительных материалов, Федеральная политехническая школа Лозанны
K. Scrivener, Professor of Building Materials Laboratory, The École polytechnique fédérale de Lausanne



Х.-Б.Фишер, доктор-инженер, ответственный секретарь конгресса ibausil. Именно благодаря его научным, деловым и дружеским связям ученые из многих регионов России и стран СНГ приезжают в Германию

H.-B. Fisher, Dr-Ing., Executive Secretary of the Congress ibausil. Thanks to his scientific, business and friendly relations, the scientists from many regions of Russia and CIS countries come to Germany



Х.-М. Людвиг, директор Института строительных материалов им. Ф.А. Фингера
H.-M. Ludwig, Director of the F.A. Finger Institute for Building Materials Science



Й. Планк, профессор Технического университета Мюнхена, кафедра строительной химии
J. Plank, Professor of the Munich Technical University, Department of Construction Chemistry



В.И. Гоц (Киев), З.Я. Блихарский (Львов), А.Ф. Бурьянов (Москва), М.А. Саницкий (Львов), В.Т. Ерофеев (Саранск), В.С. Лесовик (Белгород), Л.А. Урханова (Улан-Удэ), С.Л. Буянттеев (Улан-Удэ), А.А. Плугин (Харьков)
V.I. Gots (Kiev), Z.Ya. Blikharsky (Lvov), A.F. Burianov (Moscow), M.A. Sanitsky (Lvov), V.T. Erofeev (Saransk), V.S. Lesovik (Belgorod), L.A. Urkhanova (Ulan-Ude), S.L. Buyantuev (Ulan-Ude), A.A. Plugin (Kharkov)



Проф. д-р Й. Штарк (Stark J.), бывший директор Института FIB (Bauhaus-Universität Weimar), с супругой д-ром У. Штарк (Stark U.) хоть и отошли от активной научной деятельности, но постоянно интересуются ситуацией в строительной отрасли
 Professor, Doctor J. Stark, former Director of FIB Institute (Bauhaus-Universität Weimar) with his wife, Doctor U. Stark, though moved away from active scientific activity but always interested in the situation in the building industry



Специалисты динамично развивающейся российской компании «Евросинтез» (Магнитогорск) А.П. Нефедьев и Е.А. Худовекова
 A.P. Nefed'ev and E.A. Khudovokova, Specialists of the dynamically developing Russian company "Evrosintez" (Magnitogorsk)



В.С. Лесовик, член-корр. РААСН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой строительного материаловедения, изделий и конструкций БГТУ им. В.Г. Шухова, представил доклад «Геоника. Геомиметика в качестве основы для синтеза интеллектуальных строительных композитов»

V.S. Lesovik, Corresponding Member of RAACS, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of Department of Building Materials Science, Products and Structures of Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov, presented the report "Geonika. Geomimetika as a base for synthesis of intellectual building composites"

В первый день работы конгресса состоялась пленарная сессия, на которой были заслушаны три большие лекции. Первая из них профессора К. Скривенер (Швейцария, Лозанна) (Scrivener K.) была посвящена исследованиям в области сульфатной коррозии бетона и способам ее определения. Она рассмотрела микроструктуру материала и процессы, происходящие в нем. Во второй лекции, Х.-М. Людвиг (Ludwig H.-M.) (Германия, Веймар) – директор Института строительных материалов им. Ф.А. Фингера, подробно проанализировал ситуацию на рынке производства цемента, остановился на вопросе подбора альтернативных видов вяжущих, при производстве которых есть возможность сокращения выбросов CO₂. Наибольший интерес слушателей вызвал доклад Й. Планка (Plank J.) (Германия, Мюнхен) «Добавки в бетоны: где мы сейчас и чего нам стоит ожидать в будущем». Пленарные лекции вызвали множество вопросов и комментариев. Их продолжали обсуждать на протяжении всей конференции.

On the first day of the Congress there were three large lectures during the plenary session. The first of them was delivered by Professor K. Scrivener (Lausanne, Switzerland) and devoted to the studies in the field of sulfate corrosion of concrete and methods of its determining. The microstructure of material and processes occurring in it were considered in the lecture. In the second lecture H.-M. Ludwig, Director of the F.A. Finger Institute for Building Materials Science at Weimar Bauhaus University, thoroughly analyzed the situation at the market of cement manufacture and addressed the issue of choosing alternative types of binders in the course of manufacturing which there is an opportunity to reduce emissions of CO₂. The greatest interest was attracted by the report of J. Plank (Munich, Germany) "Additives for concretes: where are we now and what can we expect in the future". Plenary lectures sparked many questions and comments. They were discussed throughout the conference.



Ю.А. Сорвачева, аспирант кафедры «Строительные материалы и технологии» Петербургского государственного университета путей сообщения, стажировалась в Институте строительных материалов им. Ф.А. Фингера, теперь приехала на конгресс и блестяще доложила коллегам о проблемах щелочной коррозии в России

Yu.A. Sorvacheva, Post-Graduate Student, Department "Building Materials and Technologies", St. Petersburg State Transport University, trained at the F.A. Finger Institute for Building Materials Science, came to the Congress and brilliantly reported colleagues about problems of alkali corrosion in Russia



М.С. Гаркави, Е.А. Худовекова (Магнитогорск), А.В. Ушеров-Маршак (Харьков), А.Ф. Бурьянов (Москва), В.С. Лесовик (Белгород), Л.А. Урханова (Улан-Удэ), Н.Н. Ушеров-Маршак (Харьков), С.А. Лхасаранов (Улан-Удэ)
 M.S. Garkavi, E.A. Khudovokova (Magnitogorsk), A.V. Usharov-Marshak (Kharkov), A.F. Burianov (Moscow), V.S. Lesovik (Belgorod), L.A. Urkhanova (Ulan-Ude), N.N. Usharov-Marshak (Kharkov), S.A. Lkhasaranov (Ulan-Ude)





Члены редакционного совета профессора В.Г. Хозин и Г.И. Яковлев познакомили немецкого коллегу доктора Ю. Адольфа (Adolphs J.), главу фирмы Porotec GmbH, с научно-техническим журналом «Строительные материалы», а также использовали потенциал конгресса максимально и эффективно: на стенде компании Porotec был проведен научный эксперимент по измерению распределения частиц в водной дисперсии многослойных углеродных нанотрубок, используемых для модификации структуры и свойств минеральных вяжущих. Измерение размеров наночастиц провели на приборе VASCO-FLEX.

Professors V.G. Khozin and G.I. Yakovlev, Members of Editorial Board, acquainted their German colleague, Doctor J. Adolphs, Head of Porotec GmbH, with the scientific-technical journal "Stroitel'nye Materialy" and also used the potential of the Congress maximally and effectively: a scientific experiment on measuring the distribution of particles of multilayer carbon nano-tubes used for modification of structure and properties of mineral binders in the water dispersion was performed at the stand of Porotec Co. Sizes of nano-particles were measured with the VASCO-FLEX device.

Дальнейшая работа конгресса была построена по секционному типу. Самой обширной по количеству докладов была секция «Неорганические вяжущие», заслушано более 60 докладов. В этом разделе также было представлено 87 стендовых докладов, авторами многих из которых выступили ученые из России, Украины, Узбекистана, Латвии и др. Секция «Бетоны и их долговечность» включила около 60 докладов и 47 стендовых докладов, 30 из которых представили ученые из России, Украины, Казахстана. На секции «Стеновые материалы / Сохранение построек / Переработка» было заслушано 32 доклада, представлено 40 стендовых докладов, авторами более половины из которых выступили российские ученые.

Следует отметить, что помимо ученых с уже известными громкими именами, на конференции присутствовали молодые специалисты, которые с энтузиазмом и знанием предмета отвечали на вопросы коллег по своим стендовым докладам. К сожалению, экономические трудности не позволили некоторым российским коллегам лично приехать на главный форум европейских силикатчиков. Отрадно, что этот факт не повлиял на объем представленных научно-исследовательских работ.

Further work of the Congress was constructed according to the sectional type. The largest number of reports was in the Section "Non-organic binders", over 60 reports were presented. 87 poster papers were presented in this section. Authors of most of these papers were scientists from Russia, Ukraine, Uzbekistan, Latvia and other countries. The Section "Concretes and their durability" presented 60 reports and 47 poster papers, 30 of them were reported by scientists from Russia, Ukraine, and Kazakhstan. In the Section "Wall materials/Preservation of buildings/Recycling" 32 reports were heard, 40 poster papers were presented, authors of more than half of them were Russian scientists.

It is necessary to note that in addition to scientists with the already known big names the conference was attended by young professionals, who with enthusiasm and knowledge of the subject answered questions of colleagues during their poster presentations. Unfortunately, economic difficulties didn't allow some Russian colleagues personally come to the main forum of European silicate professionals. It is gratifying that this fact didn't influence on the volume of research papers presented at the Congress.



Активно проходило обсуждение стендовых докладов. Молодые специалисты рассказывали о проведенных исследованиях, отвечали на вопросы и живо интересовались работами своих старших коллег
Poster presentations were actively discussed. Young specialists told about conducted studies, answered questions, and keenly interested in the work of their senior



A.A. Султанов (Самарканд), Д.Д. Хамидулина, С.А. Некрасова (Магнитогорск), Г.И. Яковлев (Ижевск)
A.A. Sultanov (Samarkand), D.D. Khamidulina, S.A. Nekrasova (Magnitogorsk), G.I. Yakovlev (Izhevsk)



Уникальная возможность выпала участникам конгресса: не каждый день увидишь поющим доктора, профессора, корифея бетонных технологий, одного из старейших участников конференции ibausil А.В. Ушерова-Маршака. A unique opportunity to participants of the Congress – not every day you can see the singing A.V. Usharov-Marshak, Doctor, Professor, coryphaeus of concrete technologies, one of the oldest participants of the ibausil conference

18 сентября на торжественном ужине по поводу окончания конференции коллеги тепло поздравили В.Г. Хозина, заведующего кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций КГАСУ, с днем рождения. Редакция журнала «Строительные материалы»® также искренне поздравляет Вадима Григорьевича! Желаем успехов во всех творческих начинаниях, счастья, здоровья и долгих лет плодотворного сотрудничества

On September 18, at the solemn supper on the occasion of the end of the conference, colleagues warmly congratulated V.G. Khozin, Head of the Department "Technology of Building Materials, Products and Structures" of KSUAE with the happy birthday. The Editorial Board of "Stroitel'nye Materialy" Journal also sincerely congratulates Vadim Grigorievich! We wish you successes in all your creative endeavors, happiness, health and long years of fruitful cooperation



Российские коллеги благодарят организаторов, и лично господина Х.-Б. Фишера, за блестящее проведение конгресса, массу полезной информации и приятных впечатления, новых знакомств и долгожданных встреч. Надеемся, что никакие экономические и политические факторы не повлияют на дальнейшую работу конференции и встреча специалистов на 20. Ibausil состоится в запланированные сроки.

Russian colleagues thank once again the organizers and Mr. H.-B. Fisher personally for the brilliant conduct of the Congress, a lot of useful information and pleasant impressions, new acquaintances and long-awaited meetings. We hope that no economic and political factors will influence on the further work of the Conference, and the meeting of specialists at the 20. ibausil will take place as scheduled.

Абакумова Т.А.



Гота – один из самых старинных городов в Германии. Первое письменное упоминание об этом городе у знаменитого Тюрингского леса датировано октябрём 775 года. Именно тогда император Карл Великий подарил монастырю Херсфельд лесные угодья и поля около виллы Gothaha.

Центр Готы образован рыночной площадью и окружающими домами. Весь комплекс находится под охраной государства.

Главная достопримечательность и символ города – замок Фриденштайн – крупнейший дворец в Германии, равного которому по размерам здания в стиле барокко не было ни в годы его заложения, ни в настоящее время. На территории дворцового комплекса работает Герцогский музей с роскошными интерьерами, в которых представлены картины, мебель, фарфор, золото, серебро и все то, что составляло мир герцогов Саксен-Готских. Кроме того, тут расположена библиотека на 200 тыс. томов, Музей природы, старинный театр Экхофа, действующий и в настоящее время.



удк 622.3

Г.Р. БУТКЕВИЧ¹, канд. техн. наук (georgybutkevich@gmail.com)

А.А. СЕМЕНОВ², канд. техн. наук, генеральный директор (info@gs-expert.ru)

¹ Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт по проблемам добычи, транспорта и переработки минерального сырья в промышленности строительных материалов (ВНИПИИСтромсырье) (125080, г. Москва, Волоколамское ш., 1)

² ООО «ГС-Эксперт» (125047, г. Москва, 1-й Тверской-Ямской пер., 18, оф. 207)

Состояние промышленности нерудных строительных материалов. На примере России и США

Проанализировано развитие промышленности нерудных строительных материалов России и США за 25 лет. Показана периодичность спада производства продукции. Отмечены особенности преодоления кризисных явлений в России и США. В России это изменение структуры производимой продукции в сторону более дорогих видов, освоение мобильных ДСУ, производство щебня из строительного лома. В США происходит укрупнение производства, уделяется большое внимание повышению эффективности производства, лояльности населения и экологии.

Ключевые слова: щебень, песчано-гравийная смесь, модульные передвижные дробильно-сортировочные комплексы, спад производства, экология, эффективность производства, ресурсосбережение.

G.R. BUTKEVICH¹, Candidate of Sciences (Engineering) (georgybutkevich@gmail.com)

A.A. SEMYONOV², Candidate of Sciences (Engineering) (info@gs-expert.ru)

¹ Research and Design Institute for Extraction, Transportation and Processing of Mineral Raw Materials in Building Materials Industry (1, Volokolamskoe Highway, Moscow, 125080, Russian Federation)

² «GS-Expert», ООО (18, office 207, the 1st Tverskoy-Yamskoy Line, 125047, Moscow, Russian Federation)

The State of the Non-Metallic Building Materials Industry. On the Example of Russia and the USA

25 years of development of the non-metallic industries of Russia and the USA have been analyzed. The periodicity of the decline in production is shown. Peculiarities of the overcoming of crisis phenomena are noted. In Russia, they are the change in the structure of products manufactured towards higher value products, mastering of mobile crushing and grading plants, manufacture of rubble from construction scrap. In the USA, the consolidation of production occurs, a great attention is paid to increasing the production efficiency, the loyalty of the population and ecology.

Keywords: rubble, sand-gravel mix, modular mobile crushing and grading complexes, decline in production, ecology, production efficiency, resource saving.

Экономика РФ вступила в очередной период кризиса. Одно из следствий – падение спроса на нерудные строительные материалы (НСМ). По итогам первого полугодия текущего года снижение объемов производства НСМ уже составило 15%. Это не первый спад в промышленности НСМ за последние 25 лет. Преодоление кризисных явлений может растянуться на продолжительный период. Например, после резкого спада (по НСМ на 36% за один 2009 г.) выпуск продукции начал возрастать (рис. 1, 2). Докризисных объемов производства удалось достичь уже в 2012 г. [1–4]. Однако очевидно, что нынешний кризис будет более продолжительным по времени и выход из него растянется не менее чем на 5–7 лет в условиях ограниченной возможно-

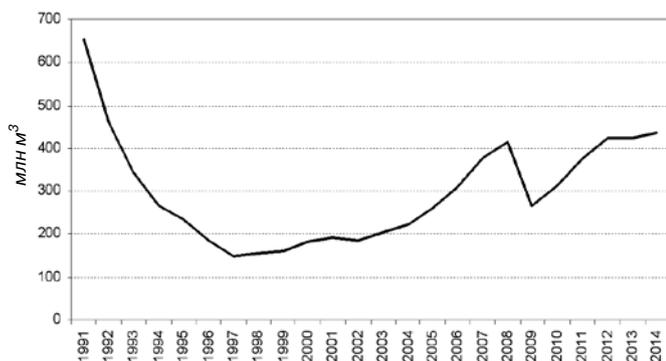


Рис. 1. Объемы производства НСМ в России

сти господдержки основных потребляющих отраслей (дорожное и инфраструктурное строительство).

В 1990-е гг., когда выпуск НСМ сократился почти в 5 раз, изменилось соотношение между основными видами продукции. Доля песка снижалась, а щебня возрастала, колеблясь в пределах 35–55%. Резко снизилась доля ПГС (более чем в 2 раза), а также бутового камня. Производители решили реализовывать более дорогую продукцию – продукты переработки минерального сырья. За четверть века существенно изменилось соотношение между НСМ [5] из различных видов горных пород, что отразилось на потребности в оборудовании и запчастях. Некоторые компании начали осваивать продукцию, производимую из строительного лома (щебень,

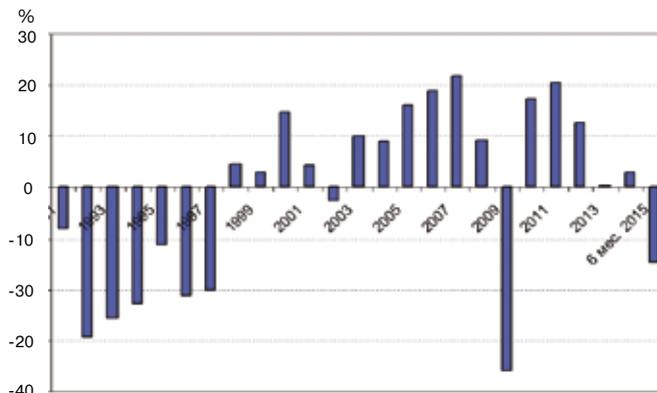


Рис. 2. Темпы роста производства НСМ в России

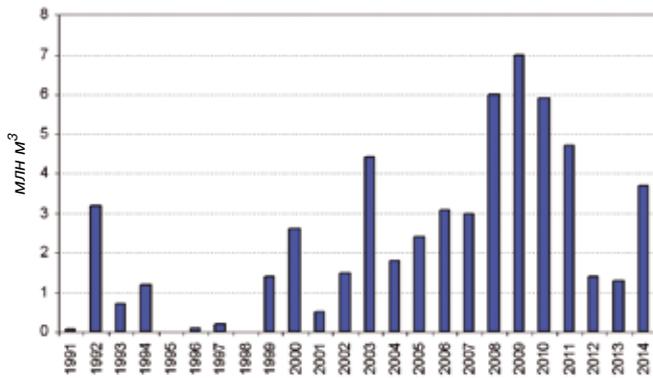


Рис. 3. Ввод новых производственных мощностей в промышленности НСМ России

дробленый песок и асфальт), хотя в отличие от развитых стран в мизерном объеме.

В отечественной промышленности НСМ в период, последовавший за кризисным 2009 г., активизировались процессы модернизации действующих производств и создания новых производственных мощностей (рис. 3). Однако следует отметить, что ввод новых мощностей в лучшие годы не превышал 6–7 млн м³ в год, что составляет менее 3% от годового объема производства. В целом же загрузка производственных мощностей в отрасли в последние годы находилась на уровне около 60% (рис. 4).

По экспертным оценкам, износ технологического оборудования предприятий НСМ превышает 60%. Это привело к необходимости модернизации и технического перевооружения действующих предприятий отрасли. В последние годы продолжается широкое внедрение модульных передвижных и самоходных дробильно-сортировочных комплексов, спрос на которые за последние 10 лет вырос более чем в три раза.

Кризисы в промышленности НСМ возникают систематически в разных странах. В развитых странах они являются частью глобального кризиса экономики.

Для сравнения рассмотрим положение в промышленности НСМ США, по которой имеются достаточно надежные данные статотчетности за ряд лет.

В период 2004–2006 гг. наблюдался интенсивный рост промышленности НСМ (рис. 5) [6]. В 2007–2008 гг. наступил коллапс в жилищном строительстве, истекли сроки выполнения и, следовательно, финансирования программ дорожного строительства при неясных перспективах их продолжения. Хотя объемы финансирования по этой последней позиции начиная с 2008 г. практически не менялись (рис. 6).

Цены на щебень, возраставшие в 2004–2008 гг., в период 2009–2013 гг. стабилизировались. Та же картина наблюдалась и по отношению продукции из ПГС. Но на эту продукцию рост цен прервался на год раньше.

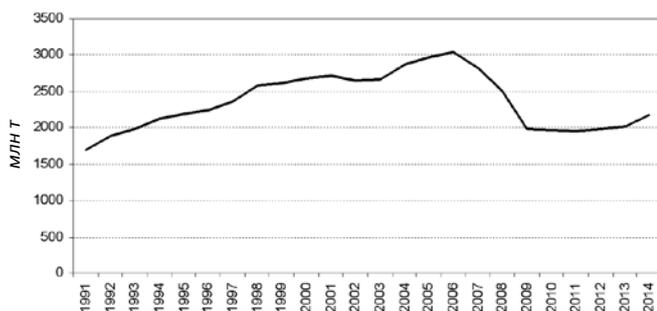


Рис. 5. Динамика производства НСМ в США

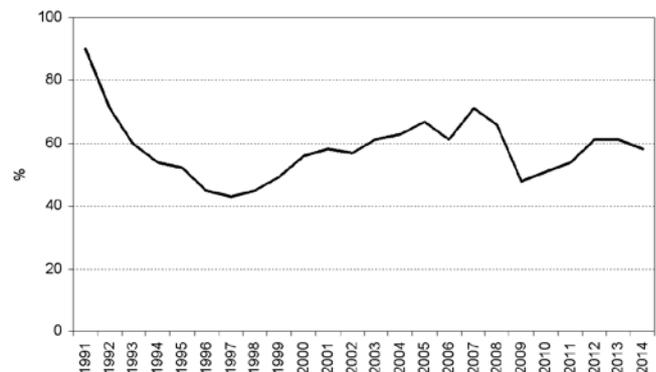


Рис. 4. Средняя загрузка производственных мощностей в промышленности НСМ России

После продолжительного спада возобновился рост выпуска НСМ, связанный с улучшением состояния экономики страны. Одна из причин – за период кризиса численность населения увеличилась. Это привело к росту потребности в жилье. Результаты работы промышленности строительных материалов за 2014 г. демонстрируют разнонаправленность протекающих процессов. Объем производства строительных материалов рос, но не с такой скоростью, на которую рассчитывали. Продажи увеличивались, но прибыль оставалась минимальной. Ни одна отраслевая компания не смогла войти в список индекса DowJones и др. [6].

Хотя объем производства НСМ в 2014 г. бурно рос, в начале 2015 г. прирост выпуска продукции оказался меньше, чем ожидалось. У аналитиков вызывает оптимизм прогнозируемый рост спроса в жилищном и гражданском видах строительства (табл. 1) [7].

Иное положение складывается с финансированием строительства транспортной инфраструктуры США. Как отмечалось выше, развития этого сектора не происходит (рис. 6). Исторически сложилось так, что программа финансирования фонда Highway Trust Fund находится в компетенции конгресса. То есть зависит от его решений, которые принимаются ежегодно. А для уверенного, устойчивого развития этих работ нужны долговременные программы. Отрасль в соответствии с утверждаемыми конгрессом программами выполняет лишь программы с кратковременным финансированием. Выполнение работ в каждом финансовом году связано с ожиданием решений о финансировании федеральных и муниципальных программ. Но нужно отметить, положение этого сектора строительных работ выглядит устойчивым.

В промышленности НСМ США сохраняется тенденция по слиянию и скупке компаний. Хотя, как отмечает эксперт, мнение которого приводит журнал Pit&Quarry, средними темпами. Важнейшим событием в отрасли остается слияние двух крупнейших компаний с образо-

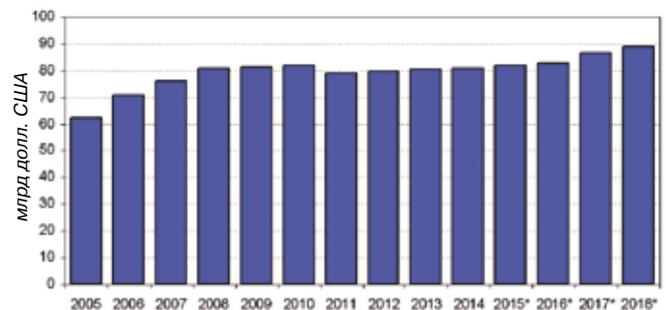


Рис. 6. Объемы финансирования дорожно-транспортного строительства в США

Прогноз спроса на НСМ в США, млрд т

Сегмент потребления	Годы						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015П	2016П
Жилищное строительство	0,31	0,34	0,49	0,62	0,63	0,68	0,73
Гражданское строительство	0,48	0,54	0,56	0,52	0,55	0,55	0,61
Промышленное строительство	1,2	1,1	0,98	0,91	1,02	1,02	1,09
Всего	1,99	1,98	2,03	2,05	2,2	2,25	2,43
Темпы роста, % к предыдущему году	2,5	-0,5	2,5	1	7,3	2,3	8

Примечание. П – прогноз.



Рис. 8. Линия конвейеров на карьере Geneva Rock Products

ванием объединенной компании HolcimLafarge. Подобные приобретения активов стали доминирующей тенденцией в политике бизнеса в 2014 г. Так, компания Cemex объявила, что запланировала потратить 100 млн долл. США для глобальных покупок.

Следует отметить серьезное внимание, которое уделяется охране природной среды. Этому содействует не только ужесточение законодательства. Стремление сократить объем отходов горных предприятий стимулируется размерами налогов на размещение отходов и высокой стоимостью земли. Дает результаты и целенаправленная политика страны, что позволило сосредоточить на этой проблеме внимание граждан. Одновременно наблюдается стремление горняков сформировать положительное мнение о горных работах. Так, отдельные предприятия промышленности НСМ устраивают экскурсии на свои карьеры, для участия в которых приглашается пресса. Во время экскурсий окрестные жители знакомятся с производством. Им предоставляется возможность прокатиться в кабине мощных самосвалов, погрузчиков. Таким образом, общественность получает объективное представление о горных работах, благодаря чему снижается накал страстей, возбуждаемых агрессивными активистами Гринпис.

В том же направлении можно воспринимать работу по утилизации строительного лома. Ряд фирм специализируется на производстве щебня и дробленого песка из асфальтобетона, бетонных и железобетонных конструкций. Как правило, переработка строительного лома производится на передвижных и самоходных дробильных и сортировочных агрегатах. Один комплекс оборудования может обслуживать несколько полигонов. В этих случаях комплекс в течение года перевозят с одного объекта на другой несколько раз. Некоторые

фирмы производят НСМ как из минерального сырья, так и из лома с использованием одного комплекса.

Необходимо отметить, что в США практикуется составление кратковременных прогнозов развития промышленности НСМ, которые практически ежемесячно публикует оставшийся единственным в горной отрасли промышленности СМ журнал Pit&Quarry (табл. 1).

Цены на НСМ во всех странах на протяжении 50 лет непрерывно росли. Наибольший рост цен в США отмечался в период 1970–1980-х гг. Цены на продукцию из ПГС росли более высокими темпами (рис. 7). При этом даже в годы спада (1971, 1975, 1989 гг.) цены на НСМ продолжали расти. Исключение составили 1990 и 2010 г., когда цены на продукцию из ПГС и на дробленый камень снижались на 1–3%. В целом за 40 лет цены на продукцию из ПГС выросли в 5,6 раза, а на дробленый камень – в 4,9 раза.

Представляют интерес примеры функционирования отдельных предприятий США.

Карьер компании Geneva Rock Products (штат Юта, США). На карьере смонтирована конвейерная линия, доставляющая горную массу по склону горы на ДСЗ. Линия начала функционировать в мае 2014 г. Работающие с углом наклона 18,7° конвейеры вырабатывают электроэнергию. Стоимость системы 11 млн долл. США. Ожидается, что вложения окупятся за 2 года или ранее. Также стоит отметить экологическое значение новшества – замена самосвалов, благодаря чему практически ликвидировано запыление и уменьшился шум.

На карьере добываются прочные кварциты. Продукция используется для производства бетона и асфальтобетона. Производительность предприятия 3500 т/ч. На ДСЗ созданы две линии, одна из которых работает по сухому способу переработки горной массы, вторая – по мокрому. Перед погрузкой горная масса разделяется по зерну 178 мм. Нижняя фракция поступает в бункер, который загружает первый ленточный конвейер. Линия состоит из трех ставов длиной 213, 244 и 320 м. Конвейеры установлены зигзагом, чтобы обеспечить устойчивую работу, не допуская скатывания кусков породы по ленте. Ширина ленты 1524 мм, скорость движения 2 м/с. Линия заканчивается передаточным конвейером длиной 30,5 м, который загружает радиальный штабелукладчик длиной 45,8 м, смонтированный на пневмошинах. Штабелукладчик формирует два штабеля над подземными галереями. Штабеля выполняют функцию не только аварийной емкости, но и усреднительного склада [8].

В одной из недавних публикаций сообщается о новом оборудовании для переработки ПГС, содержащей

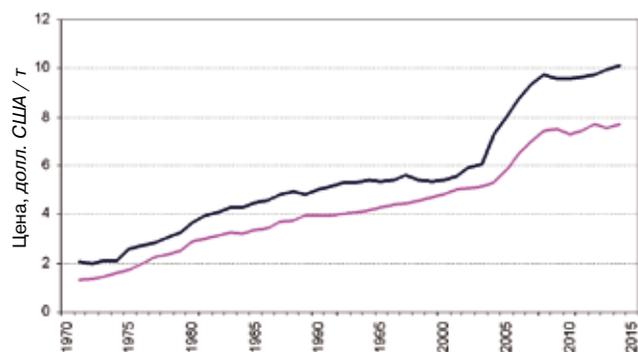


Рис. 7. Динамика средних цен на НСМ в США

комья трудноразмываемой глины. Производительность изготавливаемых устройств колеблется в пределах 18–360 т/ч. Устройство состоит из вертикального барабана, в который поступает горная масса. Внутри барабана установлена система промывки, состоящая из сопел. В сопла поступает вода под высоким давлением, и при движения материала внутри барабана сверху вниз он промывается. После переработки масса поступает на традиционные грохотильные агрегаты. В статье отмечается, что новая система позволяет уменьшить расход воды на 75%. Оборудование пользуется спросом и эксплуатируется на ряде карьеров. Оно находит применение также для извлечения полезного продукта из засоренных глиной отходов первичной переработки, которые прежде поступали в отвал. Такие отвалы образовывались несколько десятилетий назад. Тогда при добыче ПГС, засоренной комьями трудноразмываемой глины, из потока горной массы в забое на приемном устройстве выделялись фракции крупнее 50–60 мм, которые кроме комьев глины содержали валуны [9].

Сопоставив состояние промышленности НСМ России и США, можно отметить следующее.

Тенденция модернизировать производство в условиях нестабильности экономики проявляется в стремлении не приобретать новое оборудование, а брать его в аренду (лизинг). Собственники не желают рисковать. Аренда позволяет не только снизить единовременные расходы, но и понять, эффективно ли использовать данное оборудование в условиях предприятия.

Увеличивается количество предприятий, создаваемых на основе самоходных и передвижных модульных дробильно-сортировочных комплексов. Ряд компаний использует один комплект оборудования на нескольких объектах.

Продолжается концентрация производства и слияние компаний.

Выводы

1. В нашей стране до сих пор не сформировалась государственная политика по рациональному использованию недр. Существующие законодательная и нормативная базы о недропользовании не ориентируют предприятия на комплексное использование природных и техногенных ресурсов, полноту выемки минерального сырья. Одно из решений, которое позволит изменить ситуацию, связано с принятием горного кодекса. Эта идея давно обсуждается в сообществе горняков, но не находит поддержки во властных структурах. Несмотря на наличие признаков коррупционности в ряде действующих актов.

2. Нет четкой программы развития промышленности строительных материалов. Нужны достоверные прогнозы развития отрасли на региональном и федеральном уровнях, чтобы предприятия могли ориентироваться в перспективах спроса на свою продукцию и проводить целенаправленную модернизацию производственных мощностей.

3. Необходимо ускорить работу по гармонизации действующих нормативных документов и норм технологического проектирования.

4. Опыт последних десятилетий в преодолении кризисов показал, что промышленность НСМ России способна быстро наращивать выпуск товарной продукции при наличии платежеспособного спроса.

Список литературы

1. Строительство в России. 2014: Стат. сб. Росстат. М., 2014.
2. Промышленность России. 2014: Стат. сб. Росстат. М., 2014.
3. Социально-экономическое положение России. 2014: Стат. сб. Росстат. М., 2015.

4. Семенов А.А. Итоги развития строительного комплекса и промышленности строительных материалов в 2013 г. Прогноз на 2014 г. // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 81–85.
5. Буткевич Г.Р. Развитие промышленности неметаллических строительных материалов России и США. Прошлое и перспективы // *Строительные материалы*. 2013. №10. С. 4–9.
6. Pit & Quarry. 2015. February. p. 46–51.
7. Pit & Quarry. 2015. June. p. 6.
8. Pit & Quarry. 2015. March. p. 56–59.
9. Pit & Quarry. 2015. June. p. 33.

References

1. Construction in Russia. Statistical Yearbook Rosstat. Moscow. 2014. (In Russian).
2. Industry of Russia. Statistical Yearbook Rosstat. Moscow. 2014. (In Russian).
3. The socio-economic situation in Russia. Yearbook Rosstat. Moscow. 2014. (In Russian).
4. Semenov A.A. Results of development of the construction complex and building materials industry in 2013, the forecast for 2014. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 81–85. (In Russian).
5. Butkevich G.R. Development of Non-Metallic Building Materials Industry of Russia and the USA. Past and Prospects. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 10, pp. 4–9. (In Russian).
6. Pit & Quarry. 2015. February, pp. 46–51.
7. Pit & Quarry. 2015. June, p. 6.
8. Pit & Quarry. 2015. March, pp. 56–59.
9. Pit & Quarry. 2015. June, p. 33.



Специализируется на проведении маркетинговых исследований и мониторинге рынков в области строительных материалов и минерального сырья в России и ряде стран СНГ.

Осуществляет постоянный мониторинг и всесторонний анализ текущей ситуации и основных тенденций на рынках исследуемой продукции, включая анализ данных о ее производстве и потреблении, экспортно-импортных поставках, сырьевой базе, состоянии ведущих участников рынка, а также законодательства, касающегося этих отраслей.

Предлагаем готовые аналитические обзоры рынков, проведение исследований по вашим индивидуальным заказам, а также услуги по мониторингу цен и объемов поставок продукции (внутренние поставки и анализ ВЭД) на ежемесячной или ежеквартальной основе.

Выполнены работы по:

- минеральному сырью: гипсовому камню, полевому шпату, различным видам глин, стекольным и формовочным пескам, карбонатным породам (доломиту, мелу, известняку), кварцу, бентониту, волластониту, диатомиту и др.;
- строительным материалам: цементу, извести, гипсу, листовому стеклу, щебню, гравиям, теплоизоляционным и кровельным материалам, архитектурному профилю из алюминиевых сплавов и ПВХ, кирпичу, ячеистому бетону и др.

125047, Москва

1-й Тверской-Ямской пер., д. 18, оф. 230

Тел: (499) 250-48-74, (916) 507-83-77

Факс: (499) 250-48-74

www.gs-expert.ru E-mail: info@gs-expert.ru

УДК 691.3

А.Н. ДАВИДЮК, д-р техн. наук, директор
Ю.С. ВОЛКОВ, канд. техн. наук, ученый секретарь (volkov@cstroy.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева (109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6, корп. 5)

XVII Международный конгресс по бетону

5–6 июня 2015 г. в г. Стамбуле (Турция), состоялся XVII Международный конгресс по бетону, организованный Турецкой ассоциацией по товарному бетону под эгидой Европейской ассоциации по готовым бетонным смесям – ERMCO, но по существу конгресс носил всемирный характер. В нем участвовали национальные ассоциации по готовым бетонным смесям (товарному бетону, сокращенно БСГ – по российскому стандарту) США, Индии, Австралии, стран Латинской Америки, Японии и др., всего около 350 специалистов из 30 стран. Впервые участвовали специалисты из Азербайджана, которые после конгресса приняли решение рекомендовать своей национальной ассоциации стать членом ERMCO.

Ключевые слова: конгресс, бетон, бетонные смеси.

A.N. DAVIDYUK, Doctor of Sciences (Engineering), Director, Yu.S. VOLKOV, kand. tekhn. nauk, Scientific Secretary (volkov@cstroy.ru)
Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev
(6/5, Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

The XVII ERMCO Congress

The XVII ERMCO Congress was held on June 4–5, 2015 in Istanbul, Turkey. It was organized by the Turkish Ready Mixed Concrete Association under the auspices of the European Ready Mixed Concrete Organization (ERMCO), but in essence, the Congress had world-wide nature. National Associations of Ready Mixed Concrete (ready-mix concrete (RMC) according to Russian standard) of the USA, India, Australia, countries of Latin America, Japan expressed a desire to participate in the Congress. 350 specialists from over 40 countries took part in the Congress. For the first time specialists of Azerbaijan participated in this Congress and after the Congress they decided to recommend their National Association to become a member of ERMCO.

Keywords: congress, concrete, concrete mixes.

Темами конгресса были: «Применение бетона как основного фактора устойчивого развития мирового строительства», «Вклад бетона в развитие современной цивилизации», «Конкуренентоспособность бетона по отношению к другим строительным материалам», «Новая редакция евростандарта на бетон EN 206» и другие проблемы, которые были обсуждены на нескольких пленарных заседаниях. Ключевой доклад «Развитие технологии бетона за последние 50 лет» представил профессор Серендра Шах (США).

Всего Оргкомитетом были получены заявки на представление более 200 докладов. К заслушиванию на сессиях конгресса были отобраны 62 доклада, в том числе два доклада российских специалистов от НИИЖБ им. А.А. Гвоздева – АО НИЦ «Строительство»: А.Н. Давидюк – «Легкие бетоны на заполнителе из пористого стеклогранулята»; С.А. Подмазова – «Морозостойкость и водонепроницаемость – основные факторы обеспечения заданной долговечности бетона».

Следует отметить, что объем производства товарного бетона в Европе, несмотря на кризисные годы, превышает 300 млн м³, из них более трети приходится на долю Турции – страны-организатора конгресса. На производство товарного бетона идет почти 65% цемента, производимого в европейских странах (см. табл. 1, статистика подготовлена ERMCO к конгрессу). К представленным данным следует добавить объем производства товарного бетона в Китае – 1,5 млрд м³, почти вдвое больше, чем во всем остальном мире.

Параллельно с конгрессом работала выставка, в которой приняли участие ведущие мировые компании – производители бетоносмесительного оборудования, автобетоновозов, насосов для подачи смеси, материалов для армирования бетона, химических добавок в бетон, приборов неразрушающего контроля для испытания бетонных смесей и затвердевшего бетона и др.

В монолитном исполнении, а именно для этих целей применяется главным образом готовая бетонная смесь, возводятся промышленные и жилые здания, объекты соцульбта, плотины, энергетические комплексы, телебашни и так далее. Самая высокая в мире телебашня

построена из монолитного бетона. Самые высокие здания на всех континентах построены с применением монолитного железобетона в сочетании со сталью, в том числе мировой рекордсмен небоскреб Бурж-Халифа в Дубае, высота которого с антенной более 828 м.

После обрушения стальных каркасов зданий Всемирного торгового центра 11 сентября 2001 г. в результате террористической атаки и пожара в ряде проектов высотных зданий стальные каркасы были заменены на железобетонные.

Согласно евростандарту EN 13501-1 все материалы разбиты на семь групп. Самые устойчивые к огню материалы отнесены к группе А1. Именно в ней находится бетон.

Обширной областью применения монолитного бетона являются инженерные сооружения – градирни, трубы, резервуары, защитные оболочки АЭС и т. д.

Современные градирни представляют собой внушительные сооружения высотой до 200 м при диаметре основания 120 м. Резервуары для хранения воды, сжиженного газа и т. д. могут достигать объема в несколько сот тысяч кубических метров.

За последние полвека бетон уверенно расширяет области применения в строительстве, вытесняя другие строительные материалы, прежде всего стальной прокат. Позиции на строительном рынке товарного бетона представлены в табл. 2.

На конгрессе были доложены достижения специалистов различных стран в области монолитного строительства. Например, в Индии за прошедшие 10 лет построено 75 зданий высотой более 100 м; в ближайшие пять лет будет построено еще 128. Самый высокий небоскреб в Бомбее 443 м, класс бетона по прочности при сжатии, который был применен для строительства, – В95. Производство товарного бетона в этой стране составляет 90 млн м³ в год.

Бурно развивается турецкая строительная индустрия. Производство товарного бетона с 1988 г. выросло в 60 раз и составляет в настоящее время 107 млн м³, т. е. вдвое больше, чем в России, при численности населения вдвое меньше. Не случайно сейчас Турция – лидер европейской бетонной индустрии. Турецкие коллеги признают,

Таблица 1

Страна	Производство БСГ в стране, млн м ³			Производство на душу населения, м ³		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Австрия	10,6	10,5	10	1,3	1,2	1,2
Бельгия	12,5	12,5	12,3	1,1	1,1	1,1
Чешская Республика	6,9	6,5	6,5	0,7	0,6	0,6
Дания	2	2,3	2,3	0,4	0,4	0,4
Флорида-Финляндия	2,7	2,7	2,6	0,5	0,5	0,5
Франция	38,9	38,6	36,4	0,6	0,6	0,6
Германия	46	45,6	46,8	0,6	0,6	0,6
Ирландия	2,4	2,4	2,4	0,5	0,5	0,5
Италия	39,9	31,7	28	0,7	0,5	0,5
Нидерланды	7,3	6,6	6,5	0,4	0,4	0,4
Польша	19,5	18	19,2	0,5	0,5	0,5
Португалия	3,7	2,7	2,8	0,4	0,3	0,3
Словакия	1,9	1,7	1,6	0,3	0,3	0,3
Испания	21,6	16,3	15,9	0,5	0,3	0,3
Швеция	3,3	–	–	0,3	–	–
Великобритания	17,6	19,6	22,7	0,3	0,3	0,4
Израиль	13	14	14	1,6	1,7	1,7
Норвегия	3,7	3,8	3,8	0,7	0,7	0,7
Швейцария	13	12	12	1,6	1,5	1,5
Турция	93	102	107	1,2	1,3	1,4
Общая по Европе, члены ERMCO	359,5	349,4	352,8	0,7	0,6	0,7
Россия*	42	44	40	0,3	0,3	0,3
США	225	230	230	0,7	0,7	0,7
Япония	92	99	99	0,7	0,8	0,8

Примечание. * Цифры производства готовых бетонных смесей (БСГ) по России приведены на базе экспертной оценки, так как доступная статистика оперирует неполными данными, поскольку не корреспондируется с объемом производства цемента.

что существует проблема качества, но в 1996 г. создана система сертификации, которая включает аудиторские внеплановые проверки. Уже сертифицировано 40% всех заводов и 60% всей продукции. В Турции в 2010 г. не соответствовало требованиям стандартов 14% продукции, в 2014 г. только 5%. Классы применяемых бетонов В25 – 44%; В30 – 32%; В35 и выше – 7%. Доля бетона с прочностью при сжатии класса В20 снизилась с 38% в 2004 г. до 16% в 2014 г. Из достижений Турции в области технологии следует отметить доклад на Конгрессе по бетону для возведения пилонов третьего вантового моста через пролив Босфор. Высота пилонов составляет 325 м, минимальная проектная долговечность принята 100 лет, состав самоуплотняющегося бетона приведен в табл. 3.

Нижние 208 м по высоте пилонов были забетонированы в скользящей опалубке, остальные верхние 117 м – в переставной самоподъемной опалубке. Прокачиваемость смесей была проверена на специальном полигоне, где длина прокачки через опытный бетоновод составляла 500 м. Всего было подобрано и испытано четы-

Таблица 2

Вид строительства	Позиция
Несущие конструкции зданий различного назначения	Доминирующая
Высотные здания	Прогрессирующая
Дороги	Прогрессирующая
Мосты автодорожные	Доминирующая
Тоннели	Доминирующая
Дамбы, плотины	Безальтернативная
Инженерные сети	Доминирующая
Подземное строительство	Доминирующая
Резервуары	Доминирующая

ре состава. Смесей № 2 и № 4 были отбракованы из-за высокой потери подвижности. Технологические характеристики испытанных самоуплотняющихся смесей



Таблица 3

Средний расход составляющих бетона на 1 м ³ смеси								
В/Ц	Вода, л	Цемент СЕМ I, кг	Молотый гран. шлак, кг	Песок, кг	Молотый песок, кг	Щебень известняк фракции 4–16, кг	Щебень фракции 16–22, кг	Добавки, % от общего объема вяжущего
0,37	160	217	217	457	432	540	360	1,1

Таблица 4

Опытные смеси	Смесь 1		Смесь 2		Смесь 3		Смесь 4	
	до	после	до	после	до	после	до	после
Влияние перекачки на подвижность								
Подвижность, распыл конуса, мм	500	490	540	290	640	630	630	400
Воздухововлечение, %	1,7	1,8	2,5	3,8	2,5	1,3	1,4	2,5

представлены в табл. 4. Давление в двух трубах для подачи бетонной смеси наверх росло от 130 бар на отметке 100 м до 225 бар на отметке 305 м.

В Европе ежегодно применяется более 1 млн т химических добавок, стандарт на добавки EN 934 применяется в 32 европейских странах. Ежедневно в мире совершается 6,4 млн ездов автобетоносмесителей (миксеров) (1,7 млрд ездов в год).

При всех достоинствах производство бетона создает определенную нагрузку на окружающую среду. Возвратный (налипший на стенки автобетоновозов) бетон, по оценке в мире, составляет ежегодно 53 млн т, а на промывку одного миксера требуется до 500 л воды. Многие заводы отмывают заполнитель для повторного использования. В Италии разработана добавка, которая гранулирует остаток бетонной смеси в автомиксере путем адсорбции излишка воды из бетонной смеси, расход добавки составляет 0,5 кг на 1 м³ остаточного бетона. Гранулят может быть использован далее как заполнитель. Внутренняя поверхность барабана автобетоносмесителя после обработки остается практически чистой. Отмытый заполнитель может заменять до 30% обычного заполнителя. Испытанный состав бетона с применением такого заполнителя и цемента СЕМ 32,5 П в количестве 310 кг/м³ при В/Ц 0,58 и подвижности П4 в 28-суточном возрасте имел прочность 35 МПа, а в 56-суточном – 40 МПа.

В Великобритании уже сейчас 10% всего применяемого заполнителя составляет рециклированный заполнитель.

Экологическая сертификация в США ведется с 1966 г., что требуется согласно ряду административных актов и стандарту Американского института бетона АСІ 301. Такой сертификат имеют 2500 заводов, т. е. 50% общего числа. Сертифицировано также 20 тыс. автобетоновозов. Американская промышленность товарного бетона заинтересована в применении новейших разработок в своей области. В этих целях ассоциация производителей товарного бетона имеет специальный исследовательский фонд. Размер грантов может достигать 250 тыс. дол. США в зависимости от ценности разработки.

Строительство из монолитного железобетона в Японии обслуживают более чем 5 тыс. заводов товарного бетона. Каждый завод имеет 10–15 бетоновозов. Общий объем производства товарного бетона – около 100 млн м³ в год.

Производство товарного бетона в странах Латинской Америки составляет примерно 50 млн м³. Из них на Бразилию и Мексику приходится более половины этого объема. В Бразилии расширение применения бетона весьма перспективно прежде всего в дорожном строительстве (в Бразилии только 20% дорог отвечают стандартам) и жилищном строительстве.

Национальные ассоциации производителей товарного бетона готовят обширные подборки практических руководств для улучшения качества продукции. Так, американская ассоциация по товарному бетону –

NRMCA предлагает своим участникам более 30 подобных подборок. Повышению качества продукции немало способствует применение информационных технологий для контроля свойств составляющих материалов, их дозировки, процедуры перемешивания, выдачи сопроводительной документации и т. д.

Уже применяются спутниковые системы управления, которые позволяют получать разнообразную информацию, в том числе топографическую, о местонахождении автомиксера с цветовыми выделениями его состояния: движение в загруженном состоянии, разгрузка, возвращение на завод. Сам автомиксер оборудован датчиками, фиксирующими время доставки, время простоя под разгрузкой, превышение которого оплачивается дополнительно заказчиком, время начала и конца разгрузки, другая информация, в частности температура смеси и т. п.

Важным инструментом профессионального взаимодействия специалистов отрасли товарного бетона в развитых странах являются научно-производственные ассоциации. Во Франции, например, члены национального синдиката по товарному бетону производят 80% общего объема товарного бетона, производимого в стране. Все страны – члены ЕС имеют свои национальные ассоциации по товарному бетону, которые представлены в ERMCO – European Organization on Ready Mix Concrete. Задача ERMCO – отстаивать интересы компаний – производителей товарного бетона на европейском строительном рынке, повышать привлекательность бетона как универсального материала современного строительства. В части защиты окружающей среды ERMCO разработало анкету экологического аудита заводов товарного бетона. Использование этой анкеты позволяет выявить основные источники загрязнения и принять меры по их устранению. ERMCO совместно с другими европейскими организациями: Европейской ассоциацией производителей цемента – CEMBUREAU, Европейской ассоциацией изготовителей сборных железобетонных конструкций – EIBC, Европейской ассоциацией производителей химических добавок для бетона – EFCA задействовали специальную программу по увеличению применения бетона и железобетона в строительстве. Для этих целей упомянутые европейские ассоциации создали координационный совет из представителей этих организаций, получивший название «Технологическая платформа по бетону» – European Concrete Platform.

От проектировщика сейчас требуется обстоятельное понимание технологических и конструктивных свойств современных бетонов. Не случайно в стандарте EN 13670 «Возведение железобетонных конструкций» содержится в виде приложения указание для проектировщика в виде обширной таблицы характеристик, параметров и требований к материалам, которые должны быть указаны в проекте на здание и сооружение из железобетона и служить руководством для составителя проекта производства работ.

Третья конференция

«Современный автоклавный газобетон»

прошла в Санкт-Петербурге



9–11 сентября 2015 г. в Санкт-Петербурге прошла международная научно-практическая конференция «Современный автоклавный газобетон». Традиционно ее организатором выступает Национальная Ассоциация производителей автоклавного газобетона (НААГ). В работе конференции приняли участие около 230 специалистов из России, Украины, Белоруссии, Казахстана, Германии, Польши, Латвии, Эстонии, Израиля и др. В общей сложности в мероприятии приняли участие более 80 организаций, в том числе 50 заводов-производителей автоклавного газобетона (АГБ).

В первый день конференции состоялись пленарные заседания: «Развитие отрасли автоклавного газобетона», в котором интерес специалистов вызвали доклады Е.В. Высоцкого «Обзор рынка стеновых материалов России» и анализ рынка АГБ А.А. Вишневого; и «Нормативная и методическая база производства и применения АГБ», на котором спикеры и участники рассмотрели актуальные проблемы, стоящие перед отраслью. Основными среди них остаются актуализация нормативной базы производства и применения АГБ, расширение объемов применения АГБ пониженной плотности, импортозамещение при производстве АГБ и др. В заключительной части первого дня конференции, организаторы предусмотрели неординарное решение: в ходе открытой дискуссии был рассмотрен вопрос о целесообразности снижения плотности АГБ, который вызвал массу вопросов и споров.

Второй день конференции был построен по секционному типу. На секции «Оптимизация производства АГБ» было заслушано восемь докладов, и на секции «Применение АГБ» выступили семь докладчиков.

В ходе проведения конференции был принят ряд решений, наиболее важные из которых:

НААГ продолжить работу по изучению теплофизических характеристик конструкций из АГБ. Провести серию совместных исследований с НИИСФ, обобщить опыт организаций, изучавших данный вопрос. По итогам исследований выступить с инициативой внесения результатов исследования в действующую нормативную базу.

НААГ подготовить предложения по замене методики определения морозостойкости АГБ. На основании имеющихся результатов исследований предложить определение морозостойкости по методике ГОСТ 25485–89 с корректировкой формулы оценки потери массы. Новую методику включить в действующие нормативы при очередном (плановом) пересмотре.

Предприятиям–производителям АГБ активизировать работу по продвижению конструкционно-теплоизоляционного АГБ с плотностью 400 кг/м³ и менее. Данный материал является перспективным и высококонкурентным среди прочих стеновых материалов. Консолидация усилий производителей АГБ позволит ускорить процесс массового использования данного материала при строительстве и увеличит объемы производства АГБ.

НААГ осуществить поиск предприятий, выпускающих продукцию взамен импортных оригинальных запчастей, используемых на технологических линиях по производству АГБ. В рамках следующей конференции дать возможность данным предприятиям представить свою продукцию.



Большой интерес участников вызвала секция «Оптимизация производства АГБ»



Бессменные модераторы конференции Г.И. Гринфельд и А.А. Вишневыский



Н.Ю. Гизатулина («СтройЭкспертСервис») доложила об особенностях испытаний АГБ на морозостойкость по трем различным методикам



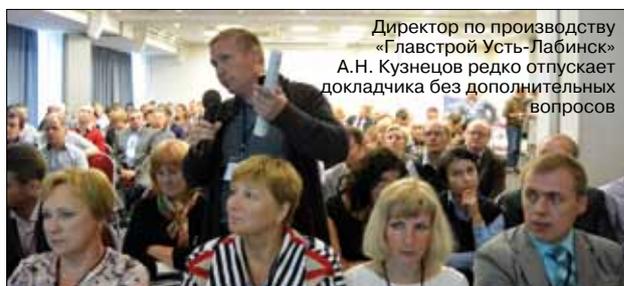
А.В. Охлопков (ЗАО МПРК «ГРАС») высказал мнение о перспективности снижения плотности АГБ. Одним из положительных аспектов отмечена возможность перевозки облегченных блоков в два яруса



А.В. Лямзин (ООО Байкальский газобетон) и С.К. Нуменов (АО Экотон+, Республика Казахстан)



Аналитическая информация вызвала большой интерес для участников



Директор по производству «Главстрой Усть-Лабинск» А.Н. Кузнецов редко отпускает докладчика без дополнительных вопросов

К.В. ЗАЙЦЕВА, канд. техн. наук (kseniya_zaiceva@mail.ru), Л.А. ТИХОМИРОВ, канд. техн. наук, А.А. ТИТУНИН, д-р техн. наук, А.М. ИБРАГИМОВ, д-р техн. наук

Костромской государственной технологической университет (156005, г. Кострома, ул. Дзержинского, 17)

Раскрой окоренных бревен для создания клееных конструкций с изменяющимися геометрическими характеристиками сечения по длине

Для создания клееных конструкций из древесины, как правило, используют оцилиндрованные бревна, что обуславливает большой процент отходов (или малый выход). Особенностью подхода к раскрою круглых лесоматериалов в данной статье является использование окоренных бревен с сохранением сбега. Это позволяет: 1. минимизировать отходы; 2. создать клееные конструкции переменного сечения по длине с увеличенными геометрическими характеристиками (момент сопротивления сечения) и повышенной несущей способностью по отношению к исходному круглому сечению.

Ключевые слова: раскрой бревен, периферийная зона, сбеги, клееные конструкции, момент сопротивления сечения.

K.V. ZAYTSEVA, Candidate of Sciences (Engineering) (kseniya_zaiceva@mail.ru), L.A. TIKHOMIROVA, Candidate of Sciences (Engineering), A.A. TITUNIN, Doctor of Sciences (Engineering), A.M. IBRAGIMOV, Doctor of Sciences (Engineering) Kostroma State Technological University (17 Dzerzhinskogo Street, 156005, Kostroma, Russian Federation)

Ways of Cutting Barked Logs for Creation of Glued Designs with Changing Geometrical Characteristics of Section on Length

The rounded logs are used for creation of glued timber designs that causes big percent of waste (or a small exit). The use of barked logs with preservation of a taper is a feature of approach to cutting of round forest products in this article. It allows: 1. to minimize waste; 2. to create glued designs of variable section on length with increased geometrical characteristics (the section resistance moment) and increased bearing capacity in relation to the initial round section.

Keywords: cutting of logs, peripheral zone, taper, glued designs, section resistance moment.

Особенностью природного материала, древесины, является сбеги, поэтому при раскросе круглых бревен неизбежны отходы. В зависимости от способа раскроса, качества древесины, вида изделия и используемого оборудования количество отходов может достигать 60–65% от всего объема лесоматериала [1, 2].

Наиболее ценная древесина расположена в наружной части бревна, которая при раскросе уходит в отходы, что негативно сказывается на эксплуатационных показателях конечной продукции, таких как прочность, стойкость к загниванию и т. д. А более мягкая древесина остается в изделии (брус, доска). Поэтому сохранение более прочной древесины в строительных конструкциях является актуальной задачей.

Традиционно для создания клееных конструкций из древесины в качестве исходного материала используют

оцилиндрованные бревна одинакового диаметра по длине [3–5].

В данной статье авторами предлагаются варианты раскроса круглых лесоматериалов с максимальным сохранением периферийной древесины с учетом сбега (рис. 1–5). Алгоритм раскроса [6] заключается в следующем.

Окорка древесины. Различают три вида окорки: чистую, грубую и пролыску. Для предлагаемых способов раскроса используем грубую окорку, при которой допускается полное или частичное сохранение лубяного слоя. Качество окорки проверяют по чистоте поверхности бревна (в процентах от площади всей поверхности). Поверхность должна быть гладкой, без мшистости

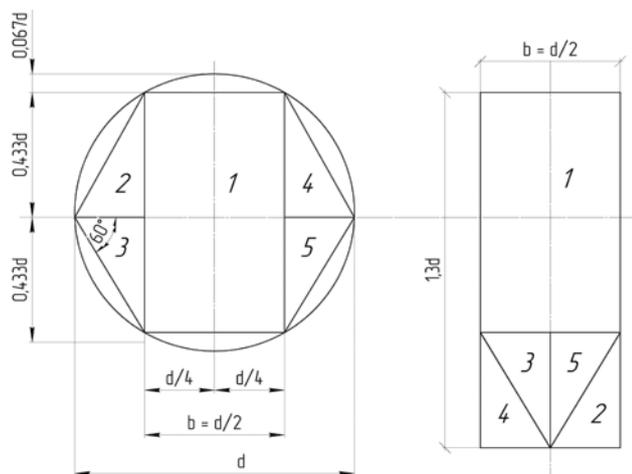


Рис. 1. Раскрой бревна по варианту 1

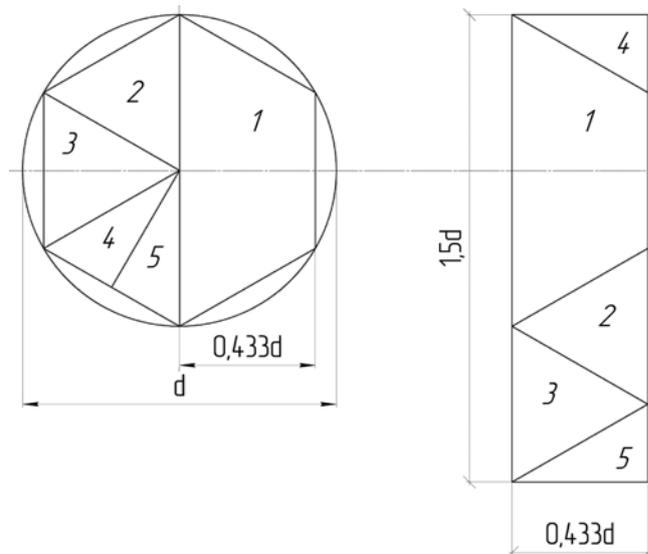


Рис. 2. Раскрой бревна по варианту 2



Рис. 3. Нарастание по высоте из однотипных балок

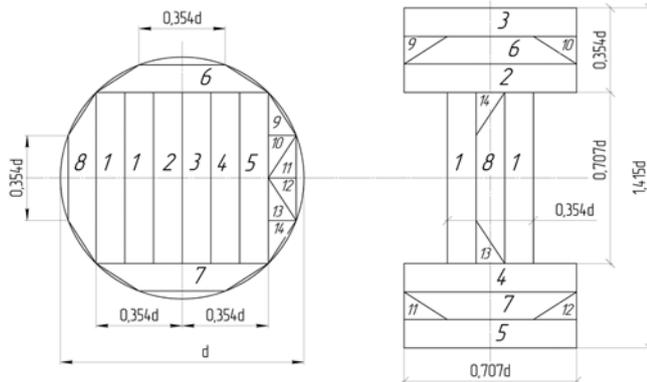


Рис. 4. Раскрой бревна по варианту 3

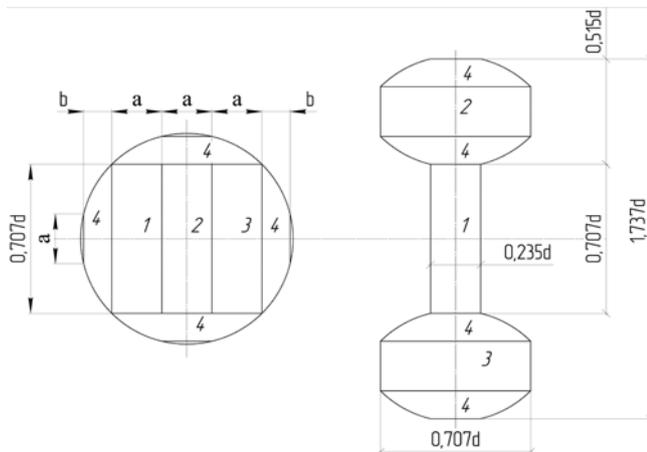


Рис. 5. Раскрой бревна по варианту 4

и вырывов волокон, сучья должны быть срезаны заподлицо с поверхностью бревна.

Центровка бревна в станке и оцилиндровка с постоянным диаметром или на конус (при сбеге).

Раскрой бревна по выбранной схеме. После распиловки контролируют как качественные (наличие или отсутствие пороков древесины, качество обработки, сортность), так и количественные (выход пиломатериалов, соответствие размеров спецификации или ГОСТу, предельные отклонения от номинальных размеров) характеристики получаемой пиломатериалов.

Сушка древесины. Вне зависимости от способа сушки (камерная, атмосферная, в поле токов высокой частоты, индукционная) обязательно контролируют конечную влажность пиломатериалов, которая должна быть $10 \pm 2\%$.

Технологическая выдержка для стабилизации внутренних напряжений и равномерного распределения влажности по сортименту при определенных температурно-влажностных условиях.

Подготовка поверхности под склеивание. Цель данной обработки заключается в придании заготовке правильной геометрической формы. При строгании особое внимание уделяется качеству поверхности под склеивание. Строгание также облегчает контроль качества древесины.

Нанесение клея и склеивание. Клей наносят, как правило, методом налива на больших скоростях для регулирования его расхода. Затем идет сборка клееного бруса и

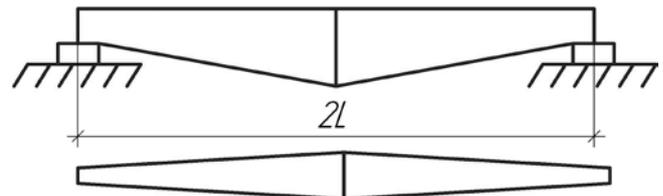


Рис. 6. Балка с горизонтальным верхним поясом

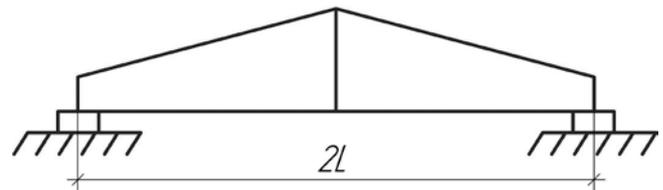


Рис. 7. Двухскатная балка

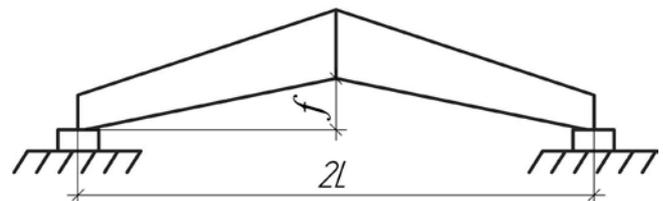


Рис. 8. Двухскатная балка со строительным подъемом

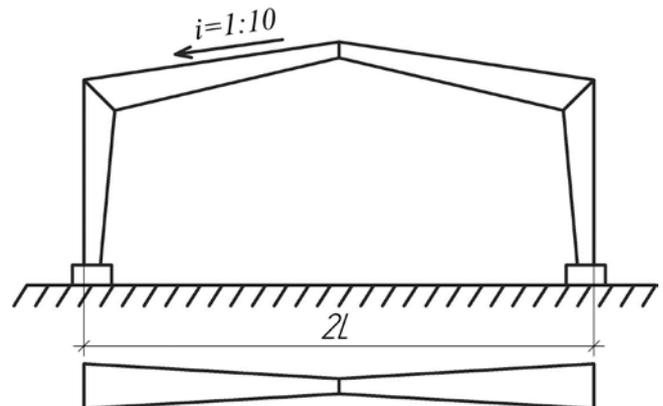


Рис. 9. Трехшарнирная Г-образная рама с соединением ригеля и стойки на зубчатый шип

его прессование. Время выдержки в прессе может быть меньше времени полного отверждения клея и зависит от температуры воздуха, породы древесины и вида клея. Существуют различные прессы: горизонтальные, вертикальные, веерные, а также прессы проходного типа.

Технологическая выдержка в течение нескольких дней для полного отверждения клея.

Подготовка изделия в будущую конструкцию. Окончательная обработка заключается в строгании пластей для удаления подтеков клея и придания клееному брусу проектной формы, а также для формирования монтажных пазов, гребней и полостей. На данной стадии опиляют торцы клееных конструкций, выполняют необходимые запилы, сверление, раскрой на более короткие отрезки и т. п.

Пропитка конструкции. Перед осуществлением защитной обработки поверхность конструкций должна быть очищена от пыли и другого рода загрязнений. Деревянные клееные конструкции должны обрабатываться антипиренами и антисептиками. После химической обработки готовые изделия вылеживаются в течение 24 ч для достижения максимальных впитываемости и показателей огне- и биостойкости.

Согласно приведенной последовательности действий авторы предлагают несколько способов раскроя

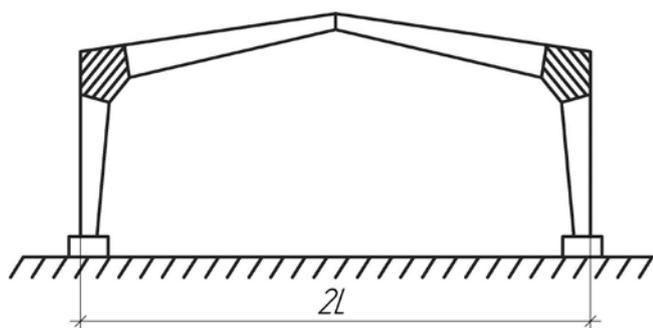


Рис. 10. Трехшарнирная Г-образная рама с пятиугольной карнизной вставкой

бревен с учетом сбега бревна и дальнейшего получения клееных строительных конструкций.

Вариант 1. Момент инерции сечения в среднем увеличивается на 40% по сравнению с круглым лесоматериалом (рис. 1):

$$W_0 = 0,1d^3;$$

$$W_{\square} = \frac{bh^2}{6} = \frac{d(1,299d)^2}{2 \cdot 6} = 0,14d^3,$$

где W_0, W_{\square} — соответственно моменты инерции круглого и прямоугольного сечений, см^3 ; d — диаметр бревна, мм; b, h — соответственно ширина и высота клееного бруса, мм.

Вариант 2. Момент инерции сечения в среднем увеличивается на 62% по сравнению с круглым лесоматериалом (рис. 2):

$$W_{\square} = \frac{0,433d(1,5d)^2}{6} = 0,162d^3.$$

Примечание.

При раскросе бревен и последующем склеивании в балку прямоугольного сечения по вариантам 1 и 2 для увеличения момента сопротивления сечения возможно склеивание по ширине и наращивание по высоте из аналогичных балок, что приводит к увеличению несущей способности (рис. 3).

Вариант 3. Момент инерции сечения в среднем увеличивается приблизительно в два раза по сравнению с круглым лесоматериалом (рис. 4).

Вариант 4. Момент инерции сечения в среднем увеличивается приблизительно в три раза по сравнению с круглым лесоматериалом (рис. 5).

Примечания.

Для увеличения момента сопротивления сечения при раскросе по вариантам 3 и 4 в отличие от вариантов 1 и 2 возможно только сплачивание по ширине боковыми полками двутавров.

Геометрические размеры сечений заготовок определяют в зависимости от:

- диаметров бревен (сбега);
- длины бревна;
- максимальных значений момента сопротивления и момента инерции сечения в склеенном двутавре.

Наиболее рационально использовать клееные элементы при изготовлении балок (рис. 6–8) и Г-образных рам (рис. 9–11).

Выводы.

Предложенные схемы раскроса лесоматериалов позволяют максимально сохранить периферийный слой древесины с учетом сбега бревна, а значит, повысить стойкость изделия к внешним воздействиям и минимизировать отходы.

Момент инерции поперечных сечений получаемых клееных конструкций до трех раз выше по сравнению с круглыми лесоматериалами, что позволяет изготавливать конструкции с максимально возможной несущей способностью.

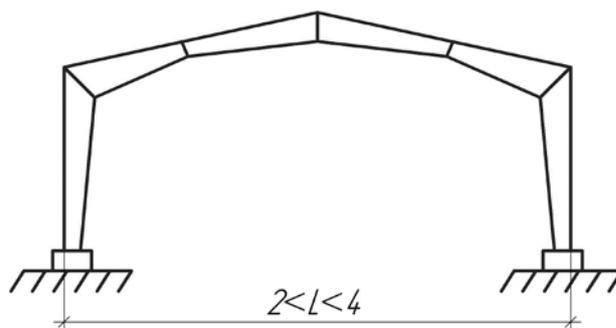


Рис. 11. Трехшарнирная Г-образная рама с переменным сечением ригеля

В последующих публикациях будет представлена технология раскроса лесоматериалов, которая отличается от традиционной параллельным сбегом установки пил.

Список литературы

1. Ершов С.В. Определение границ размерных диапазонов распиливаемого сырья при эффективной эксплуатации лесопильного оборудования // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2013. № 4. С. 72–79.
2. Янушкевич А.А., Ларченко А.В., Чернявский Е.А. Индивидуальный раскрой бревен на радиальные пиломатериалы для клееных брусков // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2012. № 34. С. 104–106.
3. Патент РФ 2415749. *Способ получения клееных пиломатериалов из бревен (варианты)* / Червинский В.А., Болдырев В.С., Щепкин В.Б., Кожухова И.Г. Заявл. 09.06.2009. Оpubл. 10.04.2011. Бюл. № 35.
4. Патент РФ 2185280. *Способ переработки бревен* / Исаев С.П. Заявл. 09.06.2001. Оpubл. 20.07.2002.
5. Патент РФ 2438861. *Способ получения клееных пиломатериалов из боковых досок бревна (варианты)* / Червинский В.А., Болдырев В.С., Щепкин В.Б., Кожухова И.Г. Заявл. 05.04.2010. Оpubл. 10.01.2012. Бюл. № 28.
6. Волынский В.Н., Пластинин С.Н. Первичная обработка пиломатериалов на лесопильных предприятиях: Учебное пособие. 2-е изд., испр. СПб.: Лань, 2012. 264 с.

References

1. Ershov S.V. Delimitation of dimensional ranges of the sawn raw materials at effective operation of the sawing equipment. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2013. No. 4, pp. 72–79. (In Russian).
2. Yanushkevich A.A., Larchenko A.V., Chernyavskiy E.A. Individual cutting of logs on radial timber for glued bars. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2012. No. 34, pp. 104–106. (In Russian).
3. Patent RF 2415749. *Sposob polucheniya kleenykh pilomaterialov iz breven (varianty)* [Way of receiving glued timber from logs (options)] / Chervinskiy V.A., Boldyrev V.S., Shchepkin V.B., Kozhukhova I.G. Declared 09.06.2009. Published 10.04.2011. (In Russian).
4. Patent RF 2185280. *Sposob pererabotki breven* [Way of processing of logs] / Isaev S.P. Declared 09.06.2001. Published 20.07.2002. (In Russian).
5. Patent RF 2438861. *Sposob polucheniya kleenykh pilomaterialov iz bokovykh dosok brevna (varianty)* [Way of receiving glued timber from side boards of a log (options)] / Chervinskiy V.A., Boldyrev V.S., Shchepkin V.B., Kozhukhova I.G.; Declared 05.04.2010. Published 10.01.2012. (In Russian).
6. Volynskiy V.N., Plastinin S.N. Pervichnaya obrabotka pilomaterialov na lesopil'nykh predpriyatiyakh [Preprocessing of timber at the sawing enterprises]. Saint-Petersburg: «Lan'». 2012. 264 p.

УДК 666.972.16

Е.М. ЧЕРНЫШОВ, д-р техн. наук, академик РААСН (chem@vgasu.vrn.ru),
 Н.Д. ПОТАМОШНЕВА, канд. техн. наук, О.В. АРТАМОНОВА, канд. хим. наук (ol_artam@rambler.ru)
 Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84)

Концепции и основания технологии наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 4. Золь-гель технология нано-, микродисперсных кристаллов портландита для контактно-конденсационного компактирования структур портландитового камня и композитов на его основе

Представлены результаты исследований и разработок, осуществленных по вопросам использования мономинерального вяжущего известки-кипелки для гидратационного структурообразования искусственного портландитового камня и получения бесклинкерных композитов на его основе. Рассмотрен эволюционный маршрут гидратации и твердения известки-кипелки для условий формирования прочного искусственного портландитового камня. Показано, что для получения прочного искусственного портландитового камня необходимо отделить стадию образования индивидуальных кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ от стадии формирования из них сростка. Представлены технологические варианты гидратации известки в различных условиях с целью получения индивидуальных микро- и наноразмерных кристаллов портландита с неравновесным энергетическим состоянием. Формирование искусственного камня из индивидуальных кристаллов портландита осуществляется компактированием в сростки контактно-конденсационного типа. Показана возможность получения портландитовых, портландито-карбонаткальциевых и портландито-алюмосиликатных бесцементных контактно-конденсационных систем твердения, обладающих способностью к упрочнению непосредственно при принудительном компактировании нано- и микродисперсных частиц исходных щелочных и кислотных оксидов и их гидратов, наделенных или целенаправленно наделяемых неравновесным энергетическим состоянием.

Ключевые слова: золь-гель нанотехнология, кристаллы портландита, неравновесное состояние, бесклинкерные композиты, контактно-конденсационное твердение.

E.M. CHERNYSHEV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS (chem@vgasu.vrn.ru),
 N.D. POTAMOSHNEVA, Candidate of Sciences (Engineering), O.V. ARTAMONOVA, Candidate of Sciences (Chemistry) (ol_artam@rambler.ru)
 Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (84, 20-letiya Oktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

Concepts and Substantiations of Nano-Modification Technology of Building Composites Structures. Part 4. Sol-gel Technology of Nano-, Micro-Disperse Crystals of Portlandite for Contact-Condensation Compaction of Structures of Portlandite Stone and Composites on Its Base

Results of studies and developments concerning the use of a mono-mineral binder, quick lime, for hydration structure formation of artificial Portlandite stone and production of clinkerless composites on its base are presented. It is shown that for producing the durable artificial Portlandite stone it is necessary to separate the stage of formation of individual crystals $\text{Ca}(\text{OH})_2$ from the stage of their aggregate formation. Technological options of the lime hydration under different conditions with the purpose to obtain individual micro- and nano-size crystals of Portlandite with non-equilibrium energy state are presented. The formation of artificial stone from individual crystals of Portlandite is made by compaction into the aggregates of a contact-condensation type. A possibility to obtain Portlandite, Portlandite-calcium carbonate, and Portlandite-aluminum silicate cementless contact-condensation systems of hardening which are able to harden directly under the forced compaction of nano- and micro-disperse particles of initial alkali and acid oxides and their hydrates endowed or purposefully endowed with the non-equilibrium energy state is shown.

Keywords: sol-gel technology, Portlandite crystals, non-equilibrium state, clinkerless composites, contact-condensation hardening.

Решение проблем повышения эффективности производства строительных композитов на современном этапе связывается не только с оптимизацией традиционных технологий их структурообразования, но и с развитием новых «прорывных» нанотехнологических направлений и принципов. В такой постановке перспективным видится задача исследования и разработки вопросов формирования искусственного портландитового камня на основе альтернативных подходов к организации процессов гидратации негашеной кальциевой известки (известки-кипелки), к синтезу монокристаллов портландита и консолидации их в прочный кристаллический сросток — портландитовый камень, способный выступать в качестве матрицы строительных композитов [1].

Исходными предпосылками к определению и обоснованию задачи получения портландитового камня являются следующие соображения и данные.

Гидратационное твердение мономинеральных систем характеризуется широким временным диапазоном развития процессов. Например, образование твердого геля $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (опала, халцедона) посредством гидратации SiO_2 занимает миллионы лет; возникновение гидратных соединений сульфата кальция продолжается минуты или десятки минут, а гидратация CaO с получением кристаллов его гидроксида (портландита) может протекать за еще более короткий промежуток времени. При таком различии в динамике гидратационного твердения все вяжущие системы моно-, да и полиминерального состава подчинены тем не менее единой определенной последовательности протекания процессов достижения камневидного состояния. Эти процессы начинаются с момента контакта поверхности частиц вяжущего вещества с жидкой фазой и могут включать: адсорбцию, хемосорбцию и смачивание; пептизацию, гидролиз и гидратацию; насыщение и пересыщение

раствора соответствующими анионами и катионами; зародышеобразование и кристаллизацию; формирование сростка кристаллов с возникновением контактов при смыкания, срастания и прорастания; рекристаллизацию сростка.

С точки зрения формирования прочного искусственного камня наиболее ответственным в эволюционном маршруте гидратации и твердения является процесс конденсации, выражающийся в кристаллизации и рекристаллизации [2, 3]. Явления в этом процессе носят в целом конструктивный характер, могут сопровождаться устранением структурных дефектов, получением структурно более совершенных кристаллических образований, в том числе сростков. Вместе с этим процессы кристаллизации и рекристаллизация могут приводить к деструкции кристаллов и сростков за счет действия кристаллизационного давления при высоких нерегулируемых скоростях процесса гидратации, зародышеобразования и кристаллизации [4–6]. Такая деструкция может усиливаться рядом дополнительных факторов: а) температурными объемными изменениями частиц твердой фазы в условиях повышенной экзотермии реакции гидратации вяжущих веществ; б) действием явления дегидратации новообразований; в) паровыделением при возможном интенсивном разогреве в системе вяжущее вещество – вода и др. Именно такие процессы происходят при гидратации и твердении негашеной известки-кипелки [7], которые в зависимости от отношения известь/вода завершаются получением не камневидного продукта, а извести-пушонки или известкового теста. Причина этого заключается прежде всего в исключительно высокоом термодинамически неравновесном состоянии продукта обжига карбоната кальция – кальциевой извести. Такое состояние обуславливает «взрывное» (аномальное) развитие процесса гидратации CaO , кристаллизации $Ca(OH)_2$ на фоне чрезвычайно высокого тепловыделения.

Очевидно, что «камнем преткновения» в использовании потенциала известки-кипелки для образования качественного монолита из кристаллов портландита является «саморазрушающий» характер кристаллизации $Ca(OH)_2$. И тем не менее, если исходить из того, что процессы отвердевания мономинеральных вяжущих подчиняются единым закономерностям, обоснованной следовало бы считать возможность прямого получения монолита и при гидратации CaO и кристаллизации портландита – $Ca(OH)_2$, т. е. возможность формирования прочного портландитового камня и на основе известки-кипелки.

Значимость практической реализации такой предполагаемой возможности очевидна. Действительно, если бы удалось найти приемлемые способы управления формированием прочного портландитового кристаллического сростка, можно было бы создать эффективные технологии изготовления строительных материалов и изделий из доступного и относительно малоэнергоемкого исходного вяжущего вещества, каким является известь. При этом в ряде случаев для получения строительных изделий можно было бы отказаться от применения клинкерного цементного вяжущего.

Необходимо отметить, что попытки преодоления саморазрушающего характера гидратации известки-кипелки ранее неоднократно предпринимались. Еще в 80-х гг. XIX в. Михаэлис проводил специальные опыты и показал возможность обеспечения эффекта гидратационного твердения извести; в последующем в конце XIX и начале XX в. Петерс, Бухгольц, Гресси, Черников и Оденберг, Каплан в той или иной постановке исследовали и предлагали использовать положительные эффекты механизма гидратационного твердения известки-кипелки. С 30-х гг. XX в. благодаря работам практика-

изобретателя И.В. Смирнова интерес к проблеме формирования гидратационных систем твердения извести вновь возрос. Эмпирические приемы И.В. Смирнова получили научное развитие в работах Б.В. Осина, который в итоге обосновал «условия высокопрочного гидратационного твердения извести». Работы Б.В. Осина стимулировали в 40–60-е гг. прошлого века широкие исследования по проблеме гидратационного твердения извести. И в этой связи можно назвать имена отечественных ученых П.А. Ребиндера, Г.И. Логгиновой, И.Л. Значко-Яворского, Н.А. Попова, А.В. Волженского, П.И. Боженова, К.С. Зацепина и др. Результатом проведенных ими работ стало создание технологии производства силикатных ячеистых бетонов и плотных силикатных бетонов по так называемым «кипелочной» и «комбинированной» схемам. Но эти, безусловно, практически важные и реализованные достижения составили как бы второй план в проблеме структурообразования портландитового камня. Первый же план, связанный с исследованиями структурообразования именно мономинерального продукта твердения известки-кипелки, т. е. портландитового сростка и камня, оказался в тени. Не случайно Д.И. Чемоданов высказывал мнение о явно недостаточном масштабе исследований простых двухкомпонентных систем оксид–вода, к которым относится и система $CaO-H_2O$.

В.В. Смирнов и Б.В. Осин показали, что негашеная известь способна схватываться и твердеть подобно таким вяжущим, как гипс. Известны, к примеру, успешные лабораторные эксперименты получения достаточно прочного (до 600 кгс/см²) портландитового камня [8]. Но эти положительные результаты, к сожалению, не завершились промышленным выходом.

Термодинамический и физико-химический анализ проблемы приводит к выводу, что для воздействия на неуправляемый взрывной характер гидратации CaO и кристаллизации $Ca(OH)_2$ требуется обратиться к системе принципов и приемов торможения процессов гидратации и кристаллизации:

Изменение термодинамического состояния самого продукта обжига карбоната кальция (извести) за счет применения новых технологий и режимов декарбонизации $CaCO_3$.

Изменение теплового баланса системы известь–вода посредством «разбавления» ее жидкой фазой и (или) термопассивным компонентом.

Химическое регулирование процессов гидратации известки-кипелки и кристаллизация портландита с помощью добавок, «вмешивающихся» в кинетику процессов.

Принудительное изменение теплообмена системы известь–вода с внешней средой.

Все указанные принципы и приемы, несущие в себе определенный физико-химический смысл, способны, как установлено, обеспечить лишь некоторый «смягчающий» эффект. Поэтому радикальным эффективным приемом преодоления камня преткновения оказывается предлагаемое авторами отделение стадии образования индивидуальных кристаллов $Ca(OH)_2$ от стадии формирования из них сростка. Такое решение [1, 9] позволяет исключить явление саморазрушения сростка, но требует создания, во-первых, технологии предварительного получения индивидуальных разобщенных кристаллов портландита с неравновесным энергетическим состоянием, а во-вторых, технологии последующего формирования из них структуры искусственного портландитового камня, например по механизму контактно-конденсационного твердения [10] после принудительного компактирования кристаллов $Ca(OH)_2$.

Данное предложение и разработанные авторами соответствующие приемы способны, как установлено, обеспечить формирование структуры искусственного

портландитового камня с прочностью при сжатии до 30 МПа непосредственно после прессового формования. Для сравнения отметим, что такие показатели сопоставимы с прочностью образцов цементного камня при определении активности цемента традиционных марок в 28-суточном возрасте их нормального твердения.

Идея предложенной технологии и ее прикладные решения [11, 12] исходили из положений нанохимического подхода и соответствующего использования средств из арсенала «нано» при получении структуры портландитового камня, при формировании структуры беслинкерных строительных композитов на его основе. В соотнесении с этим в проведенных исследованиях выделялись три взаимосвязанные проблемы: а) получения индивидуальных кристаллов портландита с управляемой мерой неравновесности, для чего потребовалось обратиться к возможностям золь-гель-технологии; б) формирования искусственного камня из индивидуальных кристаллов портландита посредством их компактирования в сростки контактно-конденсационного типа; в) получения строительного композита на основе компактирования индивидуальных кристаллов портландита в сочетании с микронаполняющими частицами природных или техногенных дисперсных материалов.

Золь-гель-технология получения индивидуальных нано-, микроразмерных кристаллов портландита с управляемой мерой неравновесности

Разработке вопросов золь-гель-технологии получения нано-, микродисперсных кристаллов портландита предшествовал кинетический анализ системы негашеная известь – вода с целью оценки особенностей процесса гидратации.

Практически все вяжущие вещества моно- и полиминерального состава с точки зрения развития их гидратации подчиняются закономерностям кинетики гетерогенных процессов, в которых характеристики скорости определяются влиянием факторов поверхности раздела (удельной площади поверхности, удельной активности поверхности), выражающимся в действии кинетического и диффузионного контроля.

В отличие от этого развитие процесса гидратации негашеной извести допустимо отнести к закономерностям кинетики гомогенных процессов. Объясняется это тем, что вследствие адсорбции и хемосорбции жидкой фазы весьма интенсивно и практически мгновенно проявляется эффект пептизации (диспергирования) зерен извести с достижением значений удельной площади поверхности образующихся нано-, микрочастиц свыше 20000 см²/г. Это означает, что уже с первых моментов смесь известь–вода начинает вести себя как квазигомогенная система, в которой доступ жидкой фазы к поверхности кристаллов CaO обеспечен практически во всем объеме зернистых частиц исходной известкиселки. В результате динамика процессов контролируется преимущественно кинетическим фактором при исключительно незначительной роли диффузионного.

Изложенное выше обращение к характеристике кинетических особенностей гидратации негашеной извести важно с точки зрения квалификации эволюционного маршрута структурообразования, т. е. основных его стадий – достижения насыщения и пересыщения, формирования первичных кластеров зарождения кристаллов, роста кристаллов, формирования кристаллического сростка, рекристаллизации и т. д. Такое обращение важно и с точки зрения выделения наносредств для

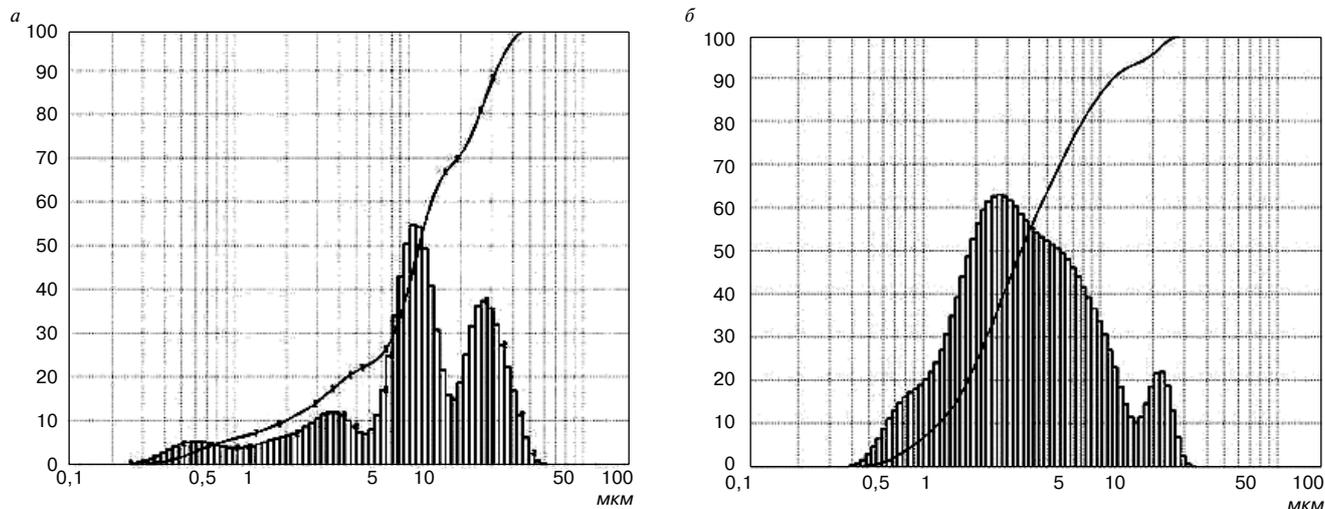


Рис. 1. Интегральные и дифференциальные кривые дисперсного состава кристаллов портландита, полученных в различающихся вариантах гидратации извести: а – обычный способ гидратации; б – способ гидратации «на холоду»

Таблица 1

Размерные характеристики монокристаллов портландита, полученных при различных условиях гидратации CaO извести

Варианты получения	Массовая доля в размерном диапазоне (мкм), %						
	0–0,5	0,5–5	5–20	20–35	35–50	50–100	менее 5
Вариант I	2	20	43	12	23	0	22
Вариант II	0	36	44	13	7	0	36
Вариант III	0	39	37	24	0	0	39
Гидратация «на холоду»	0	63	30	7	0	0	63
Диапазон	Наноразмерный			Микроразмерный			

Таблица 2

Оценка теплоты смачивания кристаллов портландита, полученных различными вариантами золь-гель-технологии

Варианты получения	Скорость изменения температуры при смачивании, °С/мин	Теплота смачивания, кДж/кг
Вариант I	0,052	25,7
Вариант II	0,055	40
Вариант III	0,045	28,5

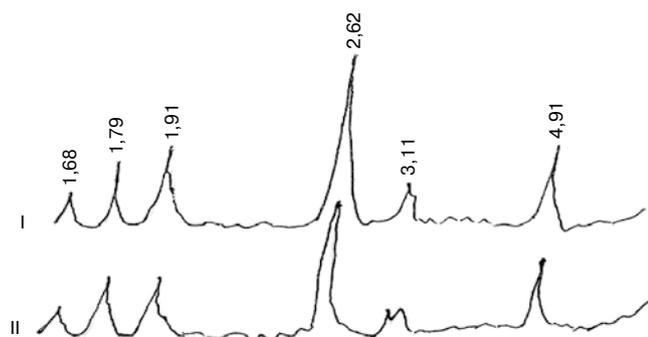


Рис. 2. Рентгенограммы кристаллов портландита, полученных в различных условиях (варианты I, II)

управления процессом гидратации извести и выращивания индивидуальных кристаллов портландита с различной мерой неравновесности состояния. Уточним, что речь идет о получении разобщенных кристаллов портландита с неравновесным энергетическим состоянием, предопределяющим способность кристаллов принудительно компактироваться в кристаллический сросток и образовывать контактно-конденсационную структуру твердения.

С учетом того, что качественные характеристики искусственного кристаллического камня предопределяются свойствами и состоянием слагающих его исходных монокристаллов, в исследованиях рассмотрены возможности управления состоянием кристаллов портландита при варьировании водотвердого (водоизвесткового В/И) отношения В/И = от 1 до 5, температурного фактора (по начальной температуре извести, воды) в диапазоне от 20 до 100°С; дополнительно к этому исследовали режимы гидратации с принудительным теплоотводом при температуре окружающей среды -5–10°С. Продукт гидратации, т. е. портландит, исследовали непосредственно после завершения гидратации; проводились также опыты по оценке состояния кристаллов после 7 и 20 сут их выращивания в разбавленных (при В/И = 5) суспензиях. Во всех случаях пробы продукта гидратации извести (использовалась молотая известково-кипелка с массовой долей активной CaO 80–85% и удельной площадью поверхности частиц 5000–5200 см²/г) подвергались обезвоживанию вакуумированием при температуре 50±2°С.

Всего рассмотрено более 20 вариантов выращивания индивидуальных кристаллов портландита и получения из них формовочных смесей для компактирования.

Достижимое в каждом из вариантов состояние монокристаллов портландита оценивалось методом рентгенофазового анализа, инфракрасной спектроскопии, растровой электронной микроскопии и калориметрии.

Результаты исследований показывают [12], что характеристики кристаллов портландита весьма чувствительны к условиям их получения.

По данным оценки дисперсного состава кристаллов портландита (методом лазерной дифракции на приборе анализатора размера частиц «Анализетте 22») установлено, что определенная часть кристаллов может иметь наноразмерный масштаб, при том что основная часть

соответствует микроразмерному масштабу (рис. 1, табл. 1).

По результатам рентгенофазового анализа образцов кристаллов портландита, полученных по вариантам I, II, при полной идентичности набора дифракционных максимумов, интенсивность и ширина наиболее характерных для портландита линий 4,91 и 2,62Å заметно неодинаковы (рис. 2).

Методом инфракрасной спектроскопии установлено, что особенности выращенных монокристаллов портландита могут выражаться в отличии форм связи и видов воды в них. Это подтверждается наличием и различием у портландита вариантов I–III на инфракрасных спектрах полос поглощения с частотой 3600–3100 см⁻¹, 1600 см⁻¹, а также полос поглощения в низкочастотной области 600–400 см⁻¹, характерных соответственно для гидроксильной, кристаллогидратной и свободной воды.

Электронно-микроскопические исследования также свидетельствуют о том, что форма и размер монокристаллов Ca(OH)₂ чувствительны к условиям их получения. Монокристаллы портландита при гидратации CaO по варианту I имеют преимущественно форму гексагональных пластин, размер которых в поперечнике составляет от десятков нанометров до 2–4 мкм при их толщине менее 0,5 мкм. Гидратация CaO и кристаллизация Ca(OH)₂, осуществленные по варианту II, обеспечивают формирование более мелких по размеру и без правильной формы пластин портландита (поперечником от нескольких десятков нанометров до 1 мкм); отмечается также присутствие волокнисто-игольчатых образований длиной до 3 мкм при поперечнике в несколько десятков нанометров (это не противоречит данным, что Ca(OH)₂ в определенных условиях может кристаллизоваться в виде игл и волокон [14]). При проведении гидратации CaO и кристаллизации Ca(OH)₂ по варианту III формируются монокристаллы портландита от очень мелких (менее 1 мкм) без правильной формы до четко выраженных гексагональных пластин размером в поперечнике 1–3 мкм при толщине 0,2 мкм.

Для всех вариантов гидратации отмечается, что сформированные кристаллы хаотично размещены в объеме, кристаллитная структура характеризуется наличием как разобщенных кристаллов, так и их агрегатов. Наблюдаемое агрегатирование монокристаллов незавершенной и (или) завершенной формы является отражением их стремления к формированию кристаллического сростка, который тем не менее не может образоваться из-за действия факторов саморазрушения кристаллического сростка. В итоге структура оказывается неоднородной, в ней встречается большое количество агрегатов кристаллов (образований с уложенными в «цепочечные» звенья кристаллами), но без плотных контактов; ансамбли агрегатов имеют хаотичную пористую структуру. В целом кристаллитная структура из портландита не образует сплошного объемного каркаса и не выглядит монолитной.

Калориметрический метод позволил показать, что смачивание водой кристаллов портландита в зависимости от вариантов их получения проходит с различной скоростью и сопровождается существенно отличаю-

Таблица 3
Свойства портландитового камня, сформированного из монокристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Свойства камня	Получение кристаллов портландита по вариантам		
	I	II	III
Средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	1330	1400	1390
Предел прочности при сжатии непосредственно после формования, МПа	4	28,1	27,4
Водопоглощение, % по массе через 72 ч через 28 сут водонасыщения	30,8 31,9	27,9 28,4	28,9 29
Коэффициент размягчения $K_p = \frac{R_{\text{вод}}}{R_{\text{сух}}}$	0,51	0,83	0,71
Отношение предела прочности при сжатии после формования к пределу прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии	1,85	1,11	0,95

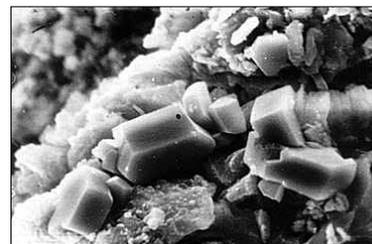


Рис. 3. Электронная микрофотография портландитового камня (увеличение $\times 2800$)

щейся величиной тепловыделения (табл. 2). Последнее подтверждает различное их энергетическое (термодинамическое) состояние и предопределяет соответственно физико-химическую их активность в последующих процессах компактирования.

Формирование искусственного камня из индивидуальных кристаллов портландита посредством их компактирования в сростки контактно-конденсационного типа

Для всех вариантов получения индивидуальных кристаллов портландита предусматривалось компактирование из них образцов-цилиндров диаметром и высотой 3 см при приложении прессового давления 100 МПа. Анализ совокупности полученных результатов позволил выделить для детального сопоставительного исследования структуры и свойств портландитового камня I, II, III – варианты золь-гель-технологии управления структурообразованием монокристаллов портландита. Варианты отличались скоростью гидратации CaO и кристаллизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что обеспечивалось варьированием концентрационных соотношений в системе $\text{CaO} - \text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{H}_2\text{O}$ за счет регулирования величины водотвердого фактора, режимов перемешивания, температурных условий протекания процессов и др. (ноу-хау работы).

Технологически достигаемые в вариантах I–III различия индивидуальных кристаллов портландита приводят к заметному изменению свойств портландитового камня контактно-конденсационного твердения: при средней плотности искусственного портландитового камня 1300–1400 $\text{кг}/\text{м}^3$ предел прочности при сжатии может лежать в пределах от 4 до 28 МПа, величина водопоглощения через 72 ч – составлять 28–31%; коэффициент размягчения (отношение прочности материала в водонасыщенном состоянии к прочности в высушенном до постоянной массы состоянии) при этом может быть от 0,51 до 0,83 (табл. 3).

Портландитовый камень, сформированный из монокристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$, имеет, по данным электронно-микроскопических исследований, плотную упаковку, микропоры оказываются меньше размера частиц. При получении портландитового монолита прессованием наблюдается измельчение кристаллов: размер частиц уменьшается примерно в 1,5–2 раза. Видно, что прочный камень формируется за счет не только контактов примыкания, но и контактов срастания кристаллов (рис. 3).

Материал обладает достаточно высокой водостойкостью (коэффициент размягчения более 0,8), и это говорит о том, что формирование прочного портландитового камня контактно-конденсационного твердения опре-

деляется не силами капиллярного стяжения, а силами физико-химической природы.

В образцах, хранившихся в течение пяти лет на воздухе, основными в структуре являются кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в виде гексагональных пластин и призм, а также кристаллы вторичного карбоната кальция в виде ромбоэдров. В образцах наряду с контактами примыкания и срастания при электронно-микроскопическом исследовании обнаруживаются контакты прорастания. Отмечается повышение средней плотности портландитового камня примерно на 20% и рост прочности с 25–30 до 45 МПа, т. е. в полтора раза [11]. В течение 15 лет нахождения в воде образцы сохраняли целостность.

Проведенные исследования и достигнутые результаты позволяют говорить о том, что получаемый по предложенной технологии портландитовый камень может рассматриваться в качестве одной из перспективных матричных субстанций для бескллинкерных малозерно-емких композиционных материалов.

Получение строительных композитов на основе компактирования индивидуальных кристаллов портландита в сочетании с микронаполняющими частицами природных или техногенных дисперсных материалов

Рассматривая возможности использования портландитового камня в качестве матричной субстанции в компактированных контактно-конденсационных структурах композитов, мы обратились к портландито-карбонаткальциевым, портландито-алюмосиликатным и портландито-силикатным системам, в которых наполнителем могут выступать микро- и тонкодисперсные частицы широкого круга природных и (или) техногенных продуктов. Основанием для этого явились положения о возможных механизмах образования структурных связей в системах указанных разновидностей.

Прежде всего важно подчеркнуть, что структурообразующая роль карбонаткальциевой, алюмосиликатной и силикатной составляющих в таких системах затрагивает не только «грубые» физические, но и «тонкие» физико-химические механизмы, рассмотрение и анализ которых, безусловно, являются актуальными в проблеме получения строительных композитов на основе компактирования индивидуальных кристаллов портландита в сочетании с микронаполняющими частицами природных или техногенных дисперсных материалов.

Несомненна роль тонкодисперсных частиц в качестве возможного микронаполнителя известковых, цементных и силикатных связующих, битумных и полимерных систем. Обладая определенными формой и размерами, прочностью частицы выступают в качестве ми-

крозаполнителя и образуют пространственный зернистый каркас, создавая микробетонную структуру композита [15]. В этом реализуется «физическая» часть структурообразующей роли карбонаткальциевой, алюмосиликатной и силикатной составляющих.

Обращаясь к «тонким» физико-химическим механизмам, сделаем акцент на их кристаллохимических особенностях.

Первый из них может заключаться в явлении омоноличивания первичных контактов компактируемых кристаллов портландита и частиц наполняющего компонента продуктами синтеза гидратных соединений из кислотного и щелочного оксидов, входящих в состав формовочных смесей [16, 17].

Второй механизм, согласно основным кристаллохимическим закономерностям [18, 19], может определяться активной ролью поверхности частиц наполнителя и выражаться в явлении эпитаксии кристаллов портландита с карбонатом кальция, а также и с кварцем, входящим в состав алюмосиликатной и силикатной субстанций в устойчивой и (или) активизированной его формах.

В отношении карбонаткальциевого наполнителя наиболее существенным в физико-химическом влиянии на структурообразование является его роль в качестве «подложки» для ориентированной кристаллизации новообразований на поверхности карбонатных частиц с формированием контактов по механизму эпитаксии [20]. Возможность этого определяется кристаллохимическим сродством параметров элементарной ячейки портландита и кальцита [21]. У портландита параметр элементарной ячейки «с» = 4,909Å близок параметру «а» гексагональной ячейки кальцита (а = 4,969Å), поэтому формирование эпитаксиального контакта прототипа возможно здесь при сопряжении плоскости (1120) портландита с плоскостью (100) кальцита. При определенных условиях между частицами дисперсной системы стабильной и метастабильной кристаллической структуры, соответственно $CaCO_3$ и $Ca(OH)_2$, возможно формирование контактно-конденсационных связей физико-химического типа. В результате, например, механического сближения частицы $CaCO_3$ могут в принципе срастаться с кристаллами портландита и давать прочный искусственный камень.

Портландит, как известно [22], срастается с кварцем и его модификациями по плоскостям призмы при расположении направления (0001) портландита параллельно направлению (1120) кварца. При этом на подложке возможно формирование кристаллогидратных фаз в результате коалесценции аморфных частиц, возникающих на первом этапе коллоидации и конденсации. В портландито-алюмосиликатной компактированной смеси возникновение зародышей новообразований происходит у поверхностей частиц, поскольку достигаемое в процессе их механической активации термодинамически неустойчивое состояние, связанное с появлением свежих поверхностей и новых «ненасыщенных» активных центров, интенсифицирует их роль в формировании микроструктуры получаемого камня.

В портландито-алюмосиликатной системе можно говорить и о третьем механизме образования связей в композите, который следует соотносить со способностью Al_2O_3 относительно легко выходить из трехмерной решетки. С учетом этого кристаллическая решетка $Ca(OH)_2$ может выступать мотивирующим фактором для изоморфного замещения с участием алюминатных тетраэдров и приводить к образованию гидроалюминатов кальция.

В итоге возникающие с участием всех рассмотренных механизмов структурообразования композитные системы представлены *пространственным зернистым каркасом* из мелкодисперсных частиц карбонаткальцие-

вых, алюмосиликатных, силикатных составляющих и *портландитовым кристаллическим каркасом*, находящимися в физическом и физико-химическом взаимодействии [23].

В целом научно-практическая сущность золь-гель-технологии нано-, микродисперсных кристаллов портландита при получении контактно-конденсационных компактированных структур портландитового камня и композитов на его основе трактуется следующими образом: а) постулируется возможность структурообразования строительных композитов на известковых (бесклинкерных) системах твердения, сочетаемых с природными и техногенными микродисперсными силикатными, алюмосиликатными, карбонаткальциевыми по составу частицами непосредственно в процессе формирования, без тепловой обработки в результате реализации управляемых механизмов контактно-конденсационного структурообразования при компактировании смеси нано- и микроразмерных частиц гидратов щелочных оксидов с мелкодисперсными частицами кислотных и других по составу оксидов; б) принимается, что исходные компоненты при этом наделены (наделяются) неравновесностью энергетического состояния, являющегося результатом специальных воздействий на исходные компоненты в технологии их подготовки и (или) следствием природных и техногенных метаморфических процессов в них [24–27].

С учетом изложенного в систему определяющих факторов золь-гель-технологии должны входить:

- характеристики энергетического состояния кристаллов портландита, определяемые принятым способом их получения;
- характеристики энергетического состояния поверхности частиц наполнителя, определяемые его видом и способом технологической подготовки;
- принимаемое массовое (и соответственно объемное) соотношение кристаллов портландита и наполняющего компонента в их смеси;
- способ получения смеси из кристаллов портландита и наполняющего компонента, предусматривающий либо вариант предварительного получения кристаллов портландита с последующим их смешением с наполняющим компонентом (раздельная технология), либо вариант получения кристаллов портландита в присутствии наполняющего компонента (совмещенная технология);
- величина водотвердого отношения при получении формовочных смесей;
- параметры прессового давления при компактировании смесей;

Имея в виду ноу-хау разработанной золь-гель-технологии, необходимо сказать, как уже отмечалось, о получении композитов по так называемым раздельной и совмещенной технологиям подготовки формовочных смесей. В раздельной технологии к предварительно полученным кристаллам портландита примешиваются частицы наполняющего компонента. В совмещенной технологии образование монокристаллов портландита протекает при развитии гидратации извести-кипелки в присутствии наполняющего компонента. И это определяет существенное отличие состояния компонентов с точки зрения их реакционной активности в процессах компактирования. Главное в этих отличиях заключается в том, что компоненты в смесях могут быть наделены различным неравновесным энергетическим состоянием, что может быть следствием либо механического измельчения с целью механоактивации, либо термической обработки с целью термоактивации или какого-либо другого активизирующего воздействия.

В разработанных технологиях следовало учитывать также, что при компактировании само прессование соз-



Рис. 4. Опытные образцы кирпича и облицовочной плитки из бесклнкерного композита контактно-конденсационного твердения с портландитовой матрицей

Таблица 4

Факторное пространство рецептурно-технологических условий получения композитов контактно-конденсационного твердения

Наименование технологических факторов	Варьируемые факторы		
	Массовая доля наполнителя, %	Влажность сырьевой смеси, %	Прессовое давление, МПа
Кодированные обозначения	X_1	X_2	X_3
Основной уровень	50	12	80
Верхний уровень	80	16	120
Нижний уровень	20	8	40
Верхняя «звездная» точка	91	17,5	135
Нижняя «звездная» точка	9	6,5	25

Таблица 5

Оптимум факторов технологии получения композитов по критерию максимума их прочности непосредственно после прессования

Композит	Вид наполняющего компонента	Вариант технологии	Факторы технологии			Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	
			Массовая доля наполняющего компонента, %	Влажность формовочной смеси, %	Прессовое давление, МПа		Непосредственно после формования	В возрасте 28 сут
Портландито-карбонат-кальциевый	Молотый конверсионный мел производства нитроаммофоски	Раздельный	30	11–12	105–110	1570	9,8	11,1
Портландито-алюмосиликатный	Молотый цеолитовый туф	Раздельный	28–30	10–12	100–110	1800	12,5	19
		Совмещенный	28–30	10–12	100–110	1860	14,5	21,2
	Молотый бой керамического кирпича	Раздельный	30–32	10–12	110–120	1740	9,7	16,5
		Совмещенный	30–32	10–12	110–120	1790	11,5	18,3

дает неравновесность в точках контактов кристаллов портландита и частиц наполнителя, вследствие чего возможно изменение внутренних сил их консолидации. По этой причине варьировались величины прессового давления при компактировании.

В связи с многофакторностью золь-гель технологии в исследованиях [28, 29] целесообразным оказалось использование математического планирования активного эксперимента (табл. 4), обеспечивающего получение вероятностно-статистических моделей взаимосвязи свойств композиционного материала с системой указанных условий и факторов.

Ниже в качестве примера приведены полиномиальные модели, полученные для портландито-алюмосиликатного композита [30, 31], с учетом рассмотренных условий и технологических факторов:

$$Y_1(I, Ц) = 5,09 - 1,59X_1 + 1,05X_2 + 2,92X_3 + 1,28X_3^2 - 0,88X_1 \cdot X_3 + 0,45X_2 \cdot X_3; \quad (1)$$

$$Y_1(II, Ц) = 6,51 - 2,72X_1 + 0,33X_2 + 4,08X_1 - 1,52X_2^2 + 1,22X_3^2 + 0,45X_1 \cdot X_3; \quad (2)$$

$$Y_1(I, K) = 3,68 - 1,83X_1 + 2,4X_3 - 0,52X_1^2 - 0,51X_2^2 + 0,37X_3^2 - 0,15X_1 \cdot X_2 - 1,69X_1 \cdot X_3; \quad (3)$$

$$Y_1(II, K) = 4,53 - 1,13X_1 + 1,99X_3 - 0,92X_1^2 - 0,35X_2^2 + 1,55X_3^2 + 0,73X_1 \cdot X_2 - 1,2X_1 \cdot X_3 - 0,65X_2 \cdot X_3, \quad (4)$$

где $Y_1(I, Ц)$ – предел прочности при сжатии композита, полученного при реализации варианта I синтеза кристаллов портландита и раздельной технологии приготовления формовочной смеси для компактирования; в ка-

честве наполняющего компонента принят молотый до удельной поверхности $9000 \text{ см}^2/\text{г}$ цеолит (Ц); $Y_1(\text{II}, \text{Ц})$ – предел прочности при сжатии композита, полученного при реализации варианта II синтеза кристаллов портландита и совмещенной технологии приготовления формовочной смеси для компактирования; в качестве наполняющего компонента принят молотый до удельной поверхности $9000 \text{ см}^2/\text{г}$ цеолит (Ц); $Y_1(\text{I}, \text{К})$ – предел прочности при сжатии композита, полученного при реализации варианта I синтеза кристаллов портландита и раздельной технологии приготовления формовочной смеси для компактирования; в качестве наполняющего компонента принят молотый до удельной поверхности $6000 \text{ см}^2/\text{г}$ бой керамического кирпича (К); $Y_1(\text{II}, \text{К})$ – предел прочности при сжатии композита, полученного при реализации варианта II синтеза кристаллов портландита и раздельной технологии приготовления формовочной смеси для компактирования; в качестве наполняющего компонента принят молотый до удельной поверхности $6000 \text{ см}^2/\text{г}$ бой керамического кирпича (К).

На основе полученных моделей стал возможным выбор оптимальных (рациональных) рецептурно-технологических решений получения композита (табл. 5).

С использованием оптимальных рецептурно-технологических решений показана инженерная возможность получения мелкоштучных строительных изделий методом компактирования формовочных смесей без какой-либо дополнительной тепловой обработки (рис. 4). Так, кирпич непосредственно после формования имел марку по прочности 100; через 28 сут естественного хранения кирпич наращивал прочность до марки 250.

Список литературы

1. Чернышов Е.М., Потамосшнева Н.Д. Искусственный камень на основе кристаллизации портландита. *Современные проблемы строительного материаловедения. Перспективные направления в теории и практике минеральных вяжущих и материалов на их основе: Материалы академических чтений РААСН. Международная научно-техническая конференция.* Самара. 1995, Ч. 1. С. 20–21.
2. Белов Н.В. Процессы реального кристаллообразования. М.: Наука, 1977. 235 с.
3. Фольмер М. Кинетика образования новой фазы. М.: Наука, 1986. 208 с.
4. Козлова О.Г. Рост и морфология кристаллов. 3-е изд. М.: Изд-во Московского ун-та, 1980. 368 с.
5. Хамский Е.В. Кристаллизация в химической промышленности. М.: Химия, 1969. 344 с.
6. Лодиз Р., Паркер Р. Рост монокристаллов. М.: Мир, 1974. 540 с.
7. Логгинов Г.И., Ребиндер П.А., Сухова В.П. Исследование гидратационного твердения негашеной извести // *ДАН СССР*. 1954. Т. 99. № 4. С. 569–572.
8. Осин Б.В., Ульянов В.А., Волков В.В. Условия высокопрочного гидратационного твердения извести // *Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура*. 1973. № 10. С. 73–76.
9. Чернышов Е.М., Потамосшнева Н.Д. Развитие исследований по проблемам структурообразования портландитового камня. *Актуальные проблемы строительного материаловедения: Материалы всероссийской научно-технической конференции.* Томск, 1998. С. 4–7.

Выводы

Выполненные исследования показали, что известь в ряду мономинеральных вяжущих может получить свое место как эффективное вяжущее гидратационного твердения, если в вопросах управления продуктами структурообразования обратиться к потенциалу нанотехнологии, а конкретно к золь-гель-технологии получения нано-, микродисперсных кристаллов портландита для контактно-конденсационного компактирования структур портландитового камня и композитов на его основе.

Развитие концепции и оснований, теории и практики нанотехнологии строительных материалов [32], в частности золь-гель-технологии, открывают новые возможности и перспективы получения искусственного портландитового камня и композитов на его основе.

Исследуемые портландитовые, портландитокарбо-наткальциевые, портландитоалюмосиликатные бесцементные системы твердения и композиты с полным основанием можно отнести к эффективным высокотехнологичным материалам нового поколения, обеспечивающим определенный прорыв по критериям ресурсосбережения.

При оценке достигнутых результатов следует учитывать, что они показывают потенциал направления, которое должно получить активное развитие. Дальнейшие исследования, как мы полагаем, могут дать более впечатляющие результаты создания технологии «мгновенного» получения прочного камня без тепловой обработки бесклинкерных составов из доступного и дешевого сырья.

References

1. Chernyshov E.M., Potamoshneva N.D. Artificial stone on the basis of crystallization portlandite. *Modern problems of building materials. Future directions in the theory and practice of mineral binders and related materials: Materials academic readings RAASN. International scientific and technical conference.* Samara. 1995. Part 1, pp. 20–21. (In Russian).
2. Belov N.V. Protsessy real'nogo kristalloobrazovaniya. [The process of real crystal formation]. Moscow: Nauka. 1977. 235 p.
3. Volmer M. Kinetika obrazovaniya novoi fazy. [Kinetics of formation of a new phase]. Moscow: Nauka. 1986. 208 p.
4. Kozlova O.G. Rost i morfologiya kristallov. [Growth and morphology of crystals]. Moscow: Publishing house of the Moscow University. 1980. 368 p.
5. Camski E.V. Kristallizatsiya v khimicheskoi promyshlennosti. [Crystallization in the chemical industry]. Moscow: Chemistry. 1969. 344 p.
6. Lodiz R., Parker R. Rost monokristallov. [Single crystal growth]. Moscow: Mir. 1974. 540 p.
7. Logginov G.I., Rebinder P.A., Sukhov V.P. Research hydration hardening quicklime. *DAN SSSR*. 1954. Vol. 99. No. 4, pp. 569–572. (In Russian).
8. Osin B.V., Ulyanov V.A., Volkov V.V. Terms high hydration hardening lime. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1973. No. 10, pp. 73–76. (In Russian).
9. Chernyshov E.M., Potamoshneva N.D. Development of research on pattern formation portlanditovogo stone. *Actual problems of building materials: Materials of All-Russian scientific and technical conference.* Tomsk. 1998, pp. 4–7. (In Russian).

10. Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф., Максун С.Е. Вяжущие и композиционные материалы контактно-го твердения. Киев: Вища школа, 1991. 243 с.
11. Чернышов Е.М., Потамошнева Н.Д. Особенности формирования структуры портландитового камня контактно-конденсационного твердения. *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы VI Академических чтений РААСН*. Иваново, 2000. С. 581–584.
12. Чернышов Е.М., Потамошнева Н.Д. Идентификация характеристик структуры искусственного портландитового камня контактно-конденсационного твердения. *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы VI Академических чтений РААСН*. Воронеж. 1999. С. 547–550.
13. Помазков В.В. Исследования по цементным и силикатным бетонам. Воронеж: Воронежский государственный университет. Вып. 1. 1964. С. 5–29.
14. Горшков В.С., Савельев В.Г., Абакумов А.В. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы: Структура и свойства. М.: Стройиздат, 1995. 576 с.
15. Юнг В.Н. Теория микробетона и ее развитие. *Труды сессии ВНИТО о достижениях советской науки в области силикатов*. Москва, 1949. С. 50–53.
16. Журавлев В.Ф. Химия вяжущих веществ. М.-Л.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1951. 205 с.
17. Тимашев В.В. Избранные труды. Синтез и гидратация вяжущих материалов. М.: Наука, 1986. 424 с.
18. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. М.: Недра, 1976. 344 с.
19. Бокый Г.Б. Кристаллохимия. М.: Наука, 1971. 400 с.
20. Палатник Л.С., Папилов И.И. Эпитаксиальные пленки. М.: Наука, 1971. 480 с.
21. Бенштейн Ю.И., Бутт Ю.М., Тимашев В.В., Каверин Б.С. Кристаллизация гидратных новообразований цементного камня на карбонатной подложке. *Силикаты: Труды МХТИ*. Вып. LXVIII. Москва, 1971. С. 238–242.
22. Илюхин В.В. Гидросиликаты кальция. Синтез монокристаллов и кристаллохимия. М.: Наука, 1979. 44 с.
23. Шукин Е.Д., Алехина Е.А., Ребиндер П.А. Проблемы современной кристаллографии. О срастании кристаллов при образовании дисперсных кристаллизационных структур. М.: Наука, 1975. С. 61–71.
24. Глуховский В.Д., Цыремпилов А.Д., Рунова Р.Ф. Щелочные бетоны на основе эффузивных пород. Иркутск: Иркутский университет, 1990. 176 с.
25. Свиридов В.Л., Овчаренко Г.И. Природные цеолиты – минеральное сырье для строительных материалов // *Строительные материалы*. 1999. № 9. С. 9–11.
26. Власов В.В., Барсукова Л.Г., Кривнева Г.Г. Химическая активность природного и техногенного алюмосиликатного сырья на ранних стадиях структурообразования бесклинкерных композиционных вяжущих. *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы VII Академических чтений РААСН*. Белгород. 2001. Ч. 1. С. 59–65.
27. Урханова Л.А., Пермьяков Д.М., Чимитов А.Ж. Силикатные бетоны на основе активированного вяжущего из некондиционной извести и эффузивных пород // *Строительные материалы*. 2004. № 8. С. 40–41.
28. Чернышов Е.М., Потамошнева Н.Д., Сергуткина О.Р., Кукина О.Б. Портландито-карбонат-кальциевый материал с контактно-конденсационным механизмом структурообразования. *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы VII Академических чтений РААСН*. Белгород. 2001. Ч. 1. С. 59–65.
10. Glukhov V.D., Runova R.F., Maksunov S.E. Vyazhushchie i kompozitsionnye materialy kontaktnogo tverdeniya. [Cementing composites and contact hardening]. Kiev: Vishcha school. 1991. 243 p.
11. Chernyshov E.M., Potamoshneva N.D. Features of structure formation portlanditovogo stone condensation contact-hardening. *Modern problems of building materials: Materials of VI Academic readings RAACS*. Ivanovo. 2000. pp. 581–584. (In Russian).
12. Chernyshov E.M., Potamoshneva N.D. Identification of the characteristics of the structure of artificial stone portlandite condensation contact-hardening. *Modern problems of building materials: Materials of VI Academic readings RAACS*. Voronezh. 1999. pp. 547–550. (In Russian).
13. Pomazkov V.V. Issledovaniya po tsementnym i silikatnym betonam. [Research on cement and silicate concrete]. Voronezh: Publishing house of the Voronezh State University. Vol. 1. 1964, pp. 59.
14. Gorshkov V.S., Savelyev V.G., Abakumov A.V. Vyazhushchie, keramika i steklokristallicheskie materialy: Struktura i svoystva. [Cementing, ceramics, and glass-crystalline materials: Structure and properties]. Moscow: Stroyizdat. 1995. 576 p.
15. Jung V. Microconcrete theory and its development. *Proceedings VNITI session on the achievements of Soviet science in the field of silicates*. Moscow. 1949, pp. 50–53. (In Russian).
16. Zhuravlev V.F. Khimiya vyazhushchikh veshchestv. [Chemical binders]. Moscow: State scientific and technical publishing house of chemical literature. 1951. 205 p.
17. Timashev V.V. Izbrannye trudy. Sintez i gidratatsiya vyazhushchikh materialov. [Selected works. Synthesis and hydration of cementitious materials]. Moscow: Nauka. 1986. 424 p.
18. Belov N.V. Ocherki po strukturnoi mineralogii. [Essays on structural mineralogy]. Moscow: Nedra. 1976. 344 p.
19. Boki G.B. Kristallokhimiya. [Crystal chemistry]. Moscow: Nauka. 1971. 400 p.
20. Palatnik L.S., Papirov I.I. Epitaksial'nye plenki [Epitaxial films]. Moscow: Nauka. 1971. 480 p.
21. Benshteyn Yu.I., Butt Yu.M., Timashev V.V., Kaverin B.S. Crystallization hydrated cement stone growths on carbonate substrate. *Silicates: Proceedings MchTI*. Iss. LXVIII. Moscow. 1971, pp. 238–242. (In Russian).
22. Ilyukhin V.V. Gidrosilikaty kal'tsiya. Sintez monokristallov i kristallokhimiya. [Calcium silicate. Synthesis of single crystals and crystal]. Moscow: Nauka. 1979. 44 p.
23. Shchukin E.D., Alekhine E.A., Rehinder P.A. Problemy sovremennoi kristallografii. O srastanii kristallov pri obrazovanii dispersnykh kristallizatsionnykh struktur. [Problems of modern crystallography. Adhesions in the formation of crystals dispersed crystallization structures]. Moscow: Nauka. 1975. pp. 61–71.
24. Glukhov V.D., Tsyrempilov A.D., Runova R.F. Shchelochnye betony na osnove effuzivnykh porod. [Alkaline concrete on the basis of volcanic rocks]. Irkutsk: Publishing House of the Irkutsk University. 1990. 176 p.
25. Sviridov V.L., Ovcharenko G.I. Natural zeolites – minerals for construction materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1999. No. 9, pp. 9–11. (In Russian).
26. Vlasov V.V., Barsukov L.G., Krivneva G.G. The chemical activity of natural and technogenic silica-alumina feedstock in the early stages of structure besklinkernykh composite binders. *Modern problems of building materials: Materials of the VII Academic readings RAACS*. Belgorod. 2001. Part 1, pp. 59–65. (In Russian).
27. Urhanova L.A., Permiakov D.M., Chimitov A.Z. Silicate-based concrete activated binder of substandard lime and volcanic rocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 8, pp. 40–41. (In Russian).

- ное состояние и перспектива развития строительного материаловедения: *Материалы международной научно-технической конференции*. Самара. 2004. С. 566–570.
29. Чернышов Е.М., Потамосшнева Н.Д., Кукина О.Б., Степанова М.П. Строительные композиты с контактно-конденсационными нано-, микро-структурными матрицами из искусственного портландита. *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы XV Академических чтений РААСН. Международная научно-техническая конференция*. Казань: КазГАСУ. 2010. С. 308–321.
 30. Чернышов Е.М., Степанова М.П., Потамосшнева Н.Д. Портландито-алюмосиликатные контактно-конденсационные системы твердения и композиты на их основе: возможные механизмы структурообразования // *Строительство и архитектура: Научный вестник Воронежского ГАСУ*. 2012. Вып. № 3 (12). С. 86–95.
 31. Чернышов Е.М., Степанова М.П., Потамосшнева Н.Д. Портландито-алюмосиликатные контактно-конденсационные системы твердения и композиты на их основе: оптимизация определяющих условий и факторов технологии // *Строительство и архитектура: Научный вестник Воронежского ГАСУ*. 2012. Вып. № 3 (12). С. 96–105.
 32. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Коротких Д.Н. и др. Приложения нанохимии в технологии твердофазовых строительных материалов: научно-инженерная проблема, направления и примеры реализации // *Строительные материалы*. 2008. № 2. С. 32–36.
 28. Chernyshov E.M., Potamoshneva N.D., Sergutkina O.R., Kukina O.B. Portlandite-karbonatkaltsievye material with contact-condensation mechanism of structure formation. *Current state and prospects of development of building materials: Materials of the international scientific conference*. Samara. 2004, pp. 566–570. (In Russian).
 29. Chernyshov E.M., Potamoshneva N.D., Kukina O.B., Stepanova M.P. Building composites with nano-contact and condensation, matrix microstructure of artificial portlandite. *Modern problems of building materials: Materials XV Academic readings RAACS. International scientific and technical conference*. Kazan: KSUAE. 2010, pp. 308–321. (In Russian).
 30. Chernyshov E.M., Stepanova M.P., Potamoshneva N.D. Portlandite-aluminosilicate contact-condensing system hardening and composites based on them: possible mechanisms of pattern formation. *Stroitel'stvo i arkhitektura: Nauchnyi vestnik Voronezhskogo GASU*. 2012. Vol. 3 (12), pp. 86–95. (In Russian).
 31. Chernyshov E.M., Stepanova M.P., Potamoshneva N.D. Portlandite-aluminosilicate contact-condensing system hardening and composites based on them: optimization of conditions and factors determining technology. *Stroitel'stvo i arkhitektura: Nauchnyi vestnik Voronezhskogo GASU*. 2012. Vol. 3 (12), pp. 96–105. (In Russian).
 32. Chernyshov E.M., Artamonov O.V., Korotkih D.N., et al. Applications of nanochemistry in solid-phase technology of building materials: scientific and engineering problems, directions and examples. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2008. No. 2, pp. 32–36. (In Russian).



**7–9
сентября
2016 г.**

**Республика Адыгея
г. Майкоп**

**Оргкомитет:
140050, Московская обл.,
п. Красково,
ул. К. Маркса, д. 117,
РГА**

**Телефон:
+7 8-916-501-36-56**

**E-mail: rga-service@mail.ru
www.rosgips.ru**

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

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

Тематика конференции:

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

Генеральный информационный спонсор: журнал

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**

УДК 691.54:666.951

В.Д. ЧЕРКАСОВ¹, д-р техн. наук (vd-cherkasov@yandex.ru),
 В.И. БУЗУЛУКОВ¹, д-р техн. наук (buzulukov-v@yandex.ru);
 О.В. ТАРАКАНОВ², д-р техн. наук (zigk@pguas.ru);
 А.И. ЕМЕЛЬЯНОВ¹, канд. техн. наук (emeljanovai@list.ru)

¹ Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68)

² Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)

Структурообразование цементных композитов с добавкой модифицированного диатомита

Наиболее эффективным методом повышения качества бетона является введение в цементные системы добавок различного функционального назначения. Разработанные авторами ранее минеральные добавки на основе химически модифицированного диатомита, вводимые в количестве 1–1,5% от массы цемента, повышают прочность цементного камня при сжатии в среднем до 40%. С целью установить участие частиц модифицированного диатомита в процессах, происходящих в цементных композитах с добавкой, были изучены изменения во времени количественного фазового состава материалов сырьевой смеси с помощью рентгеновской дифрактометрии. Показано, что модифицированный диатомит активно участвует в процессах кристаллизации продуктов гидратации цемента, что приводит к улучшению структуры и прочности цементного камня.

Ключевые слова: модифицированный диатомит, цементный композит, рентгеновская дифрактометрия, добавки в бетоны.

V.D. CHERKASOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (vd-cherkasov@yandex.ru), V.I. BUZULUKOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (buzulukov-v@yandex.ru), O.V. TARAKANOV², Doctor of Sciences (Engineering) (zigk@pguas.ru), A.I. YEMELYANOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (emeljanovai@list.ru)

¹ Mordovia State University named after N.P. Ogarev (68, Bolshevistskaya Street, Saransk, 430005, Republic of Mordovia, Russian Federation)

² Penza State University of Architecture and Civil Engineering (28, Germana Titova Street, Penza, 440028, Russian Federation)

Structure Formation of Cement Composites with Addition of Modified Diatomite

The introduction of additives of various functional purposes in cement systems is the most efficient method for improving the concrete quality. Mineral additives developed early by authors on the basis of the chemically modified diatomite, when introduced in the quantity of 1–1.5% of cement mass, increase the cement stone strength at compression up to 40% on the average. To determine the participation of particles of the modified diatomite in processes taking place in cement composites, time changes of the quantitative phase composition of materials of the raw mix have been studied with the help of X-ray diffractometry. It is shown that the modified diatomite actively participates in the processes of crystallization of products of cement hydration that leads to improving the structure and strength of the cement stone.

Keywords: modified diatomite, cement composite, X-ray diffraction, concrete admixes.

Одной из задач в области капитального строительства является улучшение качества бетона. При этом она включает снижение материалоемкости и стоимости. Наиболее технологичным и достаточно эффективным методом повышения качества бетона является введение в цементные системы добавок различного функционального назначения [1–7]. Ранее [8–10] авторами были разработаны минеральные добавки в цементные системы на основе химически модифицированного диатомита, введение которых в цементные композиты в количестве 1–1,5% от массы цемента позволяет повысить прочность при сжатии цементного камня в среднем до 40%. Предполагается, что эффективность использования указанных добавок обусловлена их участием в процессах кристаллизации новых фаз в цементной системе.

Для установления участия частиц модифицированного диатомита в процессах, происходящих в цементных композитах с добавкой, были изучены изменения во времени количественного фазового состава материалов сырьевой смеси с помощью рентгеновской дифрактометрии (Дрон-6 с ионизационной регистрацией интенсивности рентгеновских лучей). Идентификация фаз производилась по наиболее интенсивным линиям.

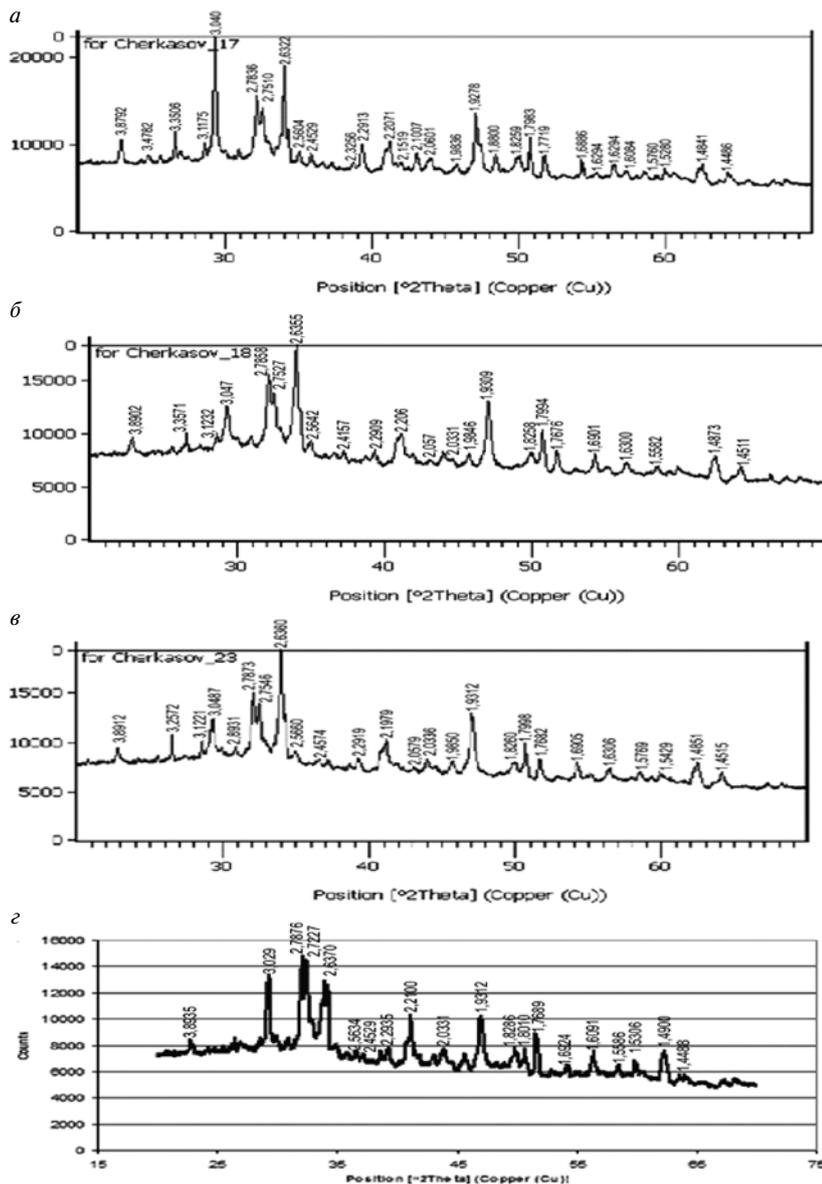
Исходный вяжущий материал был представлен портландцементом М500. В качестве добавок использовали немодифицированный диатомит и модифицированный соляной кислотой (ДХВ), известью (ДМИ) и микрочастицами углерода (ДМУ или карбонизованный диатомит). Снятие рентгенограмм проводилось после 28 сут твердения цементных композитов. Полученные результаты представлены на рисунке.

Анализ полученных данных показывает, что интенсивность рефлексов безводных силикатных фаз C_3S (2,776 и 2,73 Å) и C_2S (2,785 и 2,748 Å) относительно рефлексов $Ca(OH)_2$ (2,63 Å) в образцах с добавками ДМИ, ДХВ, ДМУ (рисунок, а, б, в) значительно выше по сравнению с бездобавочными образцами, что свидетельствует об активации процессов гидратации в образцах со всеми модификаторами.

В образцах, полученных с модифицированным диатомитом, наиболее низкая интенсивность безводных силикатных фаз отмечается с добавкой карбонизованного диатомита (рисунок, в) и диатомита, модифицированного соляной кислотой (рисунок, б). Косвенно это может свидетельствовать об увеличении скорости гидратации и гидролиза силикатных фаз в присутствии этих добавок.

Рефлексы извести ($d=1,93; 1,79; 1,485$ Å) в контрольном образце (рисунок, г) несколько выше, чем в образцах с добавками, что свидетельствует о ее присутствии в свободном, несвязанном состоянии. В образцах с добавками модифицированного диатомита $Ca(OH)_2$ может вступать во взаимодействие с аморфным кремнеземом диатомита с образованием гидросиликатных структур, осаждающихся на частицах микронаполнителей и углеродных частицах.

В образцах с добавлением модифицированного диатомита отражения силикатных структур имеют многоступенчатый вид. Это свидетельствует, что на поверхности цементных зерен в местах выхода силикатных минералов в присутствии гидратной извести и модифицированного диатомита образуются тонкодисперсные деформированно-напряженные гидросиликатные структуры



Рентгенограммы цементного камня после 28 сут твердения: а – с добавкой ДМИ; б – с добавкой ДХВ; в – с добавкой ДМУ; г – без добавок

различного строения. Возможно, именно подобные мелкокристаллитные структуры способствуют повышению прочности цементного камня с добавками. Следует предположить, что наиболее интенсивно гидролизная известь связывается диатомитом, модифицированным известью, о чем свидетельствуют примерно равные сравнительные значения интенсивностей $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и силикатных фаз в интервале углов $2\theta=30\text{--}35^\circ$. В образцах с добавками диатомита, модифицированного соляной кислотой и углеродными частицами, сравнительная интенсивность $\text{Ca}(\text{OH})_2$ несколько выше.

Интенсивность отражений этtringита ($d=3,88 \text{ \AA}$) примерно равна в образцах без добавок (рис. 1, г) и образцах с добавками (рисунок, а, б, в), однако интенсивность отражений этtringита при $d=2,209 \text{ \AA}$ в возрасте 28 сут выше в контрольном образце, что свидетельствует о стабильном его состоянии и замедлении перекристаллизации в моногидросульфатоалюминат кальция (ГСАК-1) ($2,206 \text{ \AA}$) и др.

Выявлено, что практически во всех образцах с добавками интенсивность этtringита (при $d=3,88$ и $2,209 \text{ \AA}$) снижается к 28 сут по сравнению с ранними сроками,

что свидетельствует о его перекристаллизации в моносульфатную форму.

В образце с диатомитом, модифицированным углеродными частицами (рисунок, в) в возрасте 28 сут, наряду с гидратами C_3AH_6 ($2,04$; $2,30 \text{ \AA}$) присутствуют метастабильные AFm-фазы C_2AH_8 ($1,75 \text{ \AA}$) и, возможно, $\text{C}_4\text{AH}_{13-19}$, что указывает на некоторую стабилизацию гидроалюминатных фаз в присутствии добавок. Этtringит ($d=3,88$; $3,48 \text{ \AA}$) в контрольном образце интенсивно образуется в ранние сроки (1 сут), и количество его снижается к 28 сут вследствие его перекристаллизации.

В образцах с добавками, судя по незначительному снижению интенсивности, не происходит резкой перекристаллизации этtringита к 28 сут, что, очевидно, способствует общему укреплению структуры, поскольку поздняя перекристаллизация AFt-фаз приводит к высвобождению гидратной воды, протеканию процессов вторичной кристаллизации гидратов AFm-фаз, изменению плотности и пористости гидроалюминатных фаз и в целом к рыхлению и разуплотнению структуры. В образцах с исследуемыми добавками, очевидно, подобные процессы протекают менее интенсивно в отличие от контрольного состава. В узком интервале углов $2\theta=48\text{--}52^\circ$ для контрольного образца в отличие от образцов с добавками характерна высокая интенсивность отражений при $d=1,75 \text{ \AA}$, которую возможно отнести к метастабильным гидроалюминатам кальция C_2AH_8 , имеющим слоистую структуру, близкую по строению к $\text{Ca}(\text{OH})_2$, получаемую из структуры $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при замене ионов кальция Ca^{2+} на ионы Al^{3+} или Fe^{3+} . Очевидно, это свидетельствует о том, что процессы перекристаллизации AFm-фаз в наиболее термодинамически устойчивую фазу C_3AH_6 в контрольном составе несколько замедлены. Для образцов с добавками модифицированного диатомита (особенно известью) характерно присутствие отражений C_3AH_6 ($2,3$; $1,6 \text{ \AA}$). Процессы перекристаллизации AFm-фаз в кубические структуры C_3AH_6 происходят замедленно, но чем быстрее они завершаются, тем более стабильной становится структура цементного камня.

На основании вышеизложенных результатов можно сделать вывод, что модифицированный диатомит активно участвует в процессах кристаллизации продуктов гидратации цемента. Это приводит к улучшению структуры и прочности цементного камня.

Список литературы

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М.: Стройиздат, 1998. 768 с.
2. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
3. Демьянова В.С., Калашников В.И., Борисов А.А. Об использовании дисперсных наполнителей в цементных системах // *Жилищное строительство*. 1999. № 1. С. 17–18.

4. 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. 88–92.
 5. Калитина М.А., Казмина А.В., Арсланбекова Ф.Ф. Комплексные поликомпонентные добавки для бетона. *Жилищное строительство*. 2015. № 3. С. 23–26.
 6. Дворкин Л. И., Дворкин Л. О. Основы бетоноведения. СПб: ИнфоОл, 2006. 690 с.
 7. Дворкин Л.П., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М. Цементные бетоны с минеральными наполнителями. Киев: Будівельник, 1991. 136 с.
 8. Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Емельянов А.И., Киселев Е.В., Черкасов Д.В. Активная минеральная добавка на основе химически модифицированного диатомита // *Известия вузов. Строительство*. 2011. № 12. С. 50–55.
 9. Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Емельянов А.И., Черкасов Д.В. О химическом модифицировании диатомита и возможности его дальнейшего использования в качестве активной минеральной добавки // *Вестник ВолГАСУ. Серия: Строительство и архитектура*. 2013. № 31 (50). Ч. 2. С. 207–211.
 10. Бузулуков В.И., Ерофеев В.Т., Емельянов А.И., Черкасов Д.В. Эффективность применения карбонизированного диатомита в цементных композитах // *Технологии бетонов*. 2015. № 1–2. С. 30–31.
- References**
1. Batrakov V. G. Modifitsirovannye betony [Modified concretes]. Moscow: Stroizdat. 1998. 768 p.
 2. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. Modifitsirovannye vysokokachestvennye betony [Modified high quality concrete]. Moscow: ASV, 2006. 368 p. (In Russian).
 3. Demyanova V. S., Kalashnikov V. I., Borisov A. A. About the use of particulate fillers in cement systems. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 1999. No. 1, pp. 17–18. (In Russian).
 4. 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. 88–92. (In Russian).
 5. Kalitina M.A., Kazmina A.V., Arslanbekova F.F. Influence of complex multicomponent additives on properties of a cement stone and concrete. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 3, pp. 23–26. (In Russian).
 6. Dvorkin L.I., Dvorkin L.O. Osnovi betonovedeniya [Concrete science]. St. Petersburg. 2006. 690 p.
 7. Dvorkin L.P., Solomatov V.I., Vyrovoy V.N., S.M. Chudnovsky. Cementnye betony s mineral'nymi napolnitel'jami [Cement concretes with mineral fillers]. Kiev: Budivelnik. 1991. 136 p.
 8. Cherkasov V.D., Buzulukov V.I., Emel'yanov A.I., Kiselev, E.V., Cherkasov D.V. Active mineral additive on the basis of chemically modified diatomite. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2011. No. 12, pp. 11–21. (In Russian).
 9. Cherkasov V.D., Buzulukov V.I., Emel'yanov A.I., Cherkasov D.V. On the chemical modification of diatomite and the possibility of its further use as an active mineral additives. *Vestnik VolGASU. Seriya: «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2013. No. 31 (50), P. 2, pp. 30–31. (In Russian).
 10. Buzulukov V.I., Erofeev V.T., Emel'yanov A.I., Cherkasov, D.V. Effectiveness of carbonized diatomite in cement composites. *Tekhnologii betonov*. 2015. No. 1–2, pp. 30–31. (In Russian).

VIII Международная конференция

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ NTC-2016

Внимание! Изменились даты проведения конференции!

12–16 марта 2016 г.

Шарм-эль-Шейх, Египет

Организаторы конференции

Национальный исследовательский центр жилья и строительства (NBRC)

Египетско-российский университет (ERU)

Ижевский государственный технический университет

им. М.Т. Калашникова

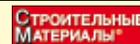
Египетский союз инженеров



Тематика конференции

- Нанокompозиты в строительных материалах
- Нанотехнологии в строительстве
- Защита от пожара с помощью наночастиц
- Нанотехнологии в кондиционировании воздуха
- Наноструктурирующие материалы в архитектуре
- Производство лакокрасочных материалов с нанодобавками
- Нанотехнологии стекол и керамики
- Нанотехнологии для энергоэффективности в зданиях
- Моделирование нанокompозитов
- Модификация минеральных вяжущих наносистемами

Информационная поддержка – журнал «Строительные материалы»®



Сайт конференции: http://inter.istu.ru/russian/nano_r.html

Контактная информация в России

Профессор Григорий Иванович Яковлев

ИжГТУ им. М.Т. Калашникова

426069 Ижевск, ул. Студенческая, 7

E-mail: gyakov@istu.ru

Тел.: 8-9128566688. Факс: +7(3412)59 25 55

Контактная информация в Египте

Профессор Шериф Солиман Хелми

Египетско-российский университет

Cairo High Road, Bard City-Suez

E-mail: president@eruegypt.com

Тел.: +20(02)28643349, (02)28643341. Факс: +20(02)28643332

УДК 691.214.8

А.Ф. БУРЬЯНОВ, д-р техн. наук (rga-service@mail.ru), В.В. КРИВЕНКО, инженер,
А.Д. ЖУКОВ, канд. техн. наук

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

Физико-химическая природа декоративности мрамора

Мрамор – это полностью метаморфически перекристаллизованный известняк, декоративные свойства которого формируются в результате геологических процессов. Природный мрамор характеризуется прочностью, стойкостью к атмосферным воздействиям, и, в первую очередь – декоративностью. Факторами декоративности являются структура мрамора, его прозрачность, окраска.

Ключевые слова: мрамор, метаморфизм, известняк, структура, окраска.

A.F. BURIANOV, Doctor of Sciences (Engineering)(rga-service@mail.ru), V.V. KRIVENKO, Engineer, A.D. ZHUKOV, Candidate of Sciences (Engineering) Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

Physical-Chemical Nature of Marble Decorativeness

Marble is fully metamorphic recrystallized limestone, decorative properties of which are formed as a result of geological processes. Natural marble is characterized by strength, resistance to atmospheric impacts and, primarily, by decorativeness. Decorativeness factors are the marble structure, its transparency and coloration.

Keywords: marble, metamorphism, limestone, structure, coloration.

Мрамор является метаморфической породой. Формирование мрамора начинается при температуре выше 250°C и высоком давлении и состоит в собирательной перекристаллизации кальцита и его окрашивании [1]. Основные этапы и события формирования мрамора перечислены в табл. 1. Глубины и давления рассчитаны для геотермических градиентов 11°C и 33°C/км соответственно.

Типичный результат метаморфических процессов показан на рис. 1. Мраморизованный известняк окрашен оксидами железа в желто-красный цвет. Оксиды железа – это гематит и окисленный сульфид железа, присутствующий в подчиненном состоянии в прожилках. Видны реликтовые отпечатки моллюсков. Очень редко встречаются не до конца перекристаллизованные раковины. Видны включения других минералов – силикатов, сульфатов.

Собственно мрамором с геологической точки зрения, можно называть только полностью перекристаллизованный известняк [2, 3]. Однако в технике, строительстве и торговле мрамором называют любую карбонатную и иногда некарбонатную породу, удовлет-

ворительно поддающуюся полировке – известняк, доломит, мраморизованный известняк (не полностью перекристаллизованный известняк), мрамор, арагонит, кальцифиры, некоторые силикаты (серпентин). Дополнительным критерием определения минерала как мрамор является совокупность его морфологических свойств: сахарный блеск на изломе, характер рисунка, видимая прочность и др.

Достоинствами природного мрамора являются прочность, стойкость к атмосферным воздействиям, и в первую очередь декоративность [4, 5]. Именно декоративность мрамора и стала основой его использования в архитектуре и строительстве в течение тысячелетий. Использованию мрамора способствовала также доступность и широкое распространение месторождений всех материалов, относящихся к этой группе (рис. 2).

Внешний вид (декоративность) является итоговым проявлением всех явлений, приводящих к образованию мрамора. Факторами декоративности являются структура мрамора, его прозрачность и окраска.

Таблица 1

Температура, °C	События	Образующая порода	Давление, МПа	Глубина, км
300–500	Метагенез. На стадии метагенеза в карбонатных породах продолжаются перекристаллизация и укрупнение зерен, а от фаунистических остатков сохраняются неопределимые реликты, вскоре исчезающие вообще. Для стадии метагенеза характерны мрамор, мраморизованные известняки, доломиты и другие сильно измененные осадочные породы	Мраморизованный известняк, мрамор: плотность 2400–2800 г/см ³ , прочность 50–120 МПа	250–800	12–30
200	Катагенез. Мел характерен для нижней подстадии. Мел в подстадию глубинного катагенеза замещается известняками, структура известняков изменяется в направлении укрупнения зернистости. Степень уплотнения различных известняков сближается. Характерны: уплотнение, дегидратация, повышение минерализации подземных вод до 25–30 г на 100 г раствора, образование новых минералов из-за поступления мигрирующих флюидов в иные термобарические и геохимические обстановки	Известняк: плотность 2000–2800 г/см ³ , прочность 15–100 МПа	150–500	7–20
100	Диагенез. Стадия диагенеза заканчивается с прекращением жизнедеятельности организмов и достижением физико-химического равновесия в осадке. Стадия диагенеза завершается превращением осадка в осадочную породу – мел	Мел: плотность 1600–2400 г/см ³ , прочность 0,5–15 МПа	100–300	2,5–7,5
50–90	Седиментогенез. Образование донных отложений	Уплотненный осадок, ил		0,4–1,2



Рис. 1. Мраморизованный известняк

Кристаллическая структура мрамора. Кальцит пре-рекристаллизуется в тригональной сингонии. Кристаллическая структура в элементарной ячейке спайного ромбоэдра состоит из ионов кальция (Ca^{2+}) и карбонат-ионов $[\text{CO}_3]^{2-}$. Оба типа ионов располагаются как бы в гранцентрированных решетках. Отдельные кристаллы кальцита укрупнились в результате собира-тельной перекристаллизации за счет других, так что по-рода в целом приобрела сахаровидный облик.

Некоторые разновидности мрамора мелкозернисты, другие настолько грубозернисты, что в них хорошо раз-личима спайность зерен кальцита по ромбоэдру. Размер зерен зависит от условий метаморфизма и пропорцио-нален температуре перекристаллизации кальцита. Различают крупнозернистую структуру мраморов с раз-мером зерен свыше 1 мм, среднезернистую — 0,25–1 мм и мелкозернистую — до 0,25 мм.

По своей внутренней структуре мрамор является гранобластовым. Гранобластовые структуры характери-зуются тем, что все зерна, слагающие породу, обладают относительно одинаковым размером и имеют округлые или зазубренные контуры.

Прозрачность мрамора — это следствие однонаправлен-ного расположения кристаллов в породе, которое обеспе-чивает однонаправленность потока света без его рассеяния. Среди кальцитов встречаются как абсолютно прозрачные (исландский шпат), так и непрозрачные разновидности.

У мрамора существует некоторая (до 4 см) прозрач-ность верхнего слоя кристаллов, в результате чего свет отражается от нижележащих слоев и формирует эффект ореола, воспринимающийся как теплый (биологический аналог — прозрачность кожи). Прозрачность мрамора не зависит от размеров и формы кристаллов, и складывается из строения породы и наличия примесей, прежде все-го доломита и глин, изменяющих однонаправленность проникающего потока света и «замутняющих» среду.

Окраска мрамора является частным случаем окраски минералов вообще и зависит от условия генезиса того или иного сорта мрамора.

Выделяются четыре основные группы цвета минералов. **Идиохроматическая (собственная) окраска** минералов обусловлена особенностями входящих в их состав химиче-ских элементов (видообразующих или примесных, играю-щих роль хромофоров), характером электронной, зонной, структуры кристаллов, а также наличием дефектов в кри-сталлах (вакансий, межузельных атомов и т. п.).

Радиационная окраска связана с образованием под действием естественных ионизирующих излучений электронно-дырочных центров окраски (синяя и фио-летовая окраска галита, флюорита, желтая и дымчатая — кварца, кальцита и др.).

Аллохроматическая окраска вызвана механическими примесями, чаще всего включениями окрашенных ми-нералов, иногда пузырьков жидкостей, газов и т. п. Так, оранжево-красный цвет сердолика обусловлен включе-ниями гидроокислов железа, зеленый цвет празема (разновидности кварца) связан с включениями иголо-чек актинолита или хлорита.

Псевдохроматическая окраска обусловлена процес-сами дифракции и интерференции света, а также рас-сеяния, преломления, полного внутреннего отражения падающего белого света, связанными с особенностями строения минеральных образований, закономерным чередованием фаз различного состава или состоянием поверхностного слоя кристаллов (различного рода по-бежалости — радужные пленки на борните, халькопи-рите, пирите, ковеллине и др.).

Основным фактором окрашивания мрамора является температура метаморфических процессов свыше 250°C , которая приводит к повышению растворимости минера-лов, образующих настоящие рассолы с концентрацией 250–300 г/л. Решающим фактором является растворение минералов-хромофоров, проникающих в тело известня-ка, и кристаллизующихся при понижении температуры. Так, играющий основную роль в окрашивании мрамора гематит (а также ильменит), нерастворимый в нормаль-ных условиях, при 350°C и выше приобретает неограни-ченную растворимость, и в растворенном виде служит основой для образования окисленных (лимонит, гетит), восстановленных (мелкодисперсный сульфид железа в присутствии избытка органики и сероводорода) и мета-морфических силикатов (хлорит, эпидот).

Окрашивающие мрамор минералы-хромофоры, обыкновенно представляют собой соли железа (черный, желтый, красный цвета), меди и железа (зеленый, си-ний, черный), углерода (черный, серый), хотя в резуль-тате контактного метаморфизма возникают скарные метеханизмы цветообразования, приводящие к появле-нию кальциевых силикатов — диоксидов различных оттенков синего цвета и других хромофоров: волласто-



Рис. 2. Чили. Мраморные пещеры Хенераль – Каверн

Таблица 2

Цвет	Хромофор
Белый	Кальцит CaCO_3
Красный	Оксиды и гидроокислы железа III — гематит, гетит
Желтый, бурый	Гидроокислы железа, карбонаты железа и марганца: сидерит, родохрозит
Зеленый	Железосодержащие силикаты: хлорит, эпидот
Голубой	Соединения меди и алюминия, диопсиды – силикаты кальция
Черный, серый, серо-голубой	Высокодисперсный сульфид железа, графит, битум



Рис. 3. Включения графита в массив мрамора Calacatta carrara

нита, гроссуляр-андрагита, диопсид-геденбергита, везувиана, эпидота, тремолита (табл. 2).

Важнейшая геохимическая особенность железа — наличие у него нескольких степеней окисления. Закисное железо FeO — основная форма нахождения железа в мантии и земной коре. Окисное железо Fe_2O_3 характерно для самых верхних, наиболее окисленных частей земной коры, в частности осадочных пород. Степени окисления +2 соответствует *черный оксид* FeO и зеленый гидроксид $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Степени окисления +3 соответствуют *красно-коричневый оксид* Fe_2O_3 и *коричневый гидроксид* $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Степени окисления +2 и +3 легко переходят при изменении окислительно-восстановительных условий.

Серые, голубоватые и черные цвета могут быть обусловлены также примесями битумов, графита (рис. 3). Черный цвет также обусловлен включениями тонкодисперсного сульфида железа, который в присутствии кислорода превращается в его окислы.

Интенсивность окраски основными хромофорами и ее оттенки зависят от:

- количества хромофора на единицу объема;
- дисперсности частиц хромофора: тонкодисперсные вызывают площадное распространение оттенков, а собранные в конкреции составляют пятна или прожилки;
- локальной зернистости участка породы: мелкозернистые разности имеют более густую окраску, а с увеличением крупности зерен кальцита интенсивность окраски падает.

В мраморах могут встречаться и другие минералы на основе железа. Сидерит (FeCO_3) — содержит примерно 35% железа; обладает желтовато-белым (с серым или коричневым оттенком в случае загрязнения) цветом. *Марказит* (FeS_2) содержит 46,6 % железа; встречается в виде желтых, как латунь, бипирамидальных ромбических кристаллов. *Мелантерит* ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) реже встре-

чается в природе и представляет собой зеленые (или серые из-за примесей) моноклинные кристаллы. *Вивианит* ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) встречается в виде *сине-серых* или *зелено-серых* моноклинных кристаллов.

Помимо вышеописанных минералов железа цветовую линейку могут дополнять: андрагит ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$) и его разновидности разной окраски; демантоид (зеленый); топазолит (желто-зеленый); колофонит (красновато-коричневый, смоляной блеск); желлетит (светло-зеленый); меланит (черного цвета, содержит TiO_2).

Многие включения часто отрицательно влияют на долговечность и декоративность мрамора как отделочного материала. К таким соединениям относятся включения сульфидов (пирита, пирротина, халькопирита, сфалерита, галенита), сульфатов (барита, целестина, гипса, ангидрита) и других вторичных минералов, неустойчивых к выветриванию.

Даже являясь мономинеральной породой, мраморы часто содержат различные количества доломита, глин, прослоек песка и т.п., и при метаморфизме за счет таких пород возникают *кальцифиры* — породы, состоящие из кальцита и магнезиальных минералов, аналогичные по ассоциации магнезиальным скарнам.

Особое место в декоративности мрамора занимают прожилки, представляющие собой трещины, заполненные минералами иного цвета, чем тело основного пласта. Такие трещины возникают в процессах движения пласта различного рода (заглубление, подъем, тектонические движения и др.). Заполняются трещины минералами, часто отличными от кальцита, например, глинистыми, и в условиях, отличных от условий формирования основной залежи [6]. В результате прожилки окрашены в иные цвета, и формируют сложный и красивый сетчатый узор на камне.

Список литературы

1. Кривенко В.В., Овчининский Д.В., Вайнштейн М.М., Бурьянов А.Ф., Гончаров Ю.А. Оселковый мрамор: древние традиции и современные технологии // *Строительные материалы*. 2008. № 8. С. 16–18.
2. Кузьмина В.П. Цвет композиционных материалов // *Строительные материалы*. 2008. № 2. С. 16–17.
3. Карасев Ю.Г., Карасева О.Ю. Природный облицовочный камень: производство, экспорт, импорт, цены // *Горный журнал*. 1996. № 6. С. 15–17.
4. Fornaro M., Bosticco L. Underground Stone Quarrying in Italy // *Marmo Macchine International*. 1994. № 6. P. 28–54.
5. Zhukov A.D., Bobrova Ye.Yu., Zelenshchikov D.B., Mustafaev R.M., Khimich A.O. Insulation systems and green sustainable construction // *Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering*. 2014. Vol. 1025–1026. P. 1031–1034.
6. Лебединский В.И. В удивительном мире камня. М.: Недра. 1978. 159 с.

References

1. Krivenko V.V., Ovchininskii D.V., Vainshtein M.M., Bur'yanov A.F., Goncharov Yu.A. Artificial marble: the ancient traditions and modern technologies. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 8, pp. 16–18. (In Russian).
2. Kuz'mina V.P. Color composite materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 2, pp. 16–17. (In Russian).
3. Karasev Yu.G., Karaseva O.Yu. Natural stone cladding: production, exports, imports, prices. *Gornyi zhurnal*. 1996. No. 6, pp. 15–17. (In Russian).
4. Fornaro M., Bosticco L. Underground Stone Quarrying in Italy. *Marmo Macchine International*. 1994. No. 6, pp. 28–54.
5. Zhukov A.D., Bobrova Ye.Yu., Zelenshchikov D.B., Mustafaev R.M., Khimich A.O. Insulation systems and green sustainable construction. *Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering*. 2014. Vol. 1025 – 1026, pp. 1031–1034.
6. Lebedinskiy V.I. V udivitel'nom mire kamnya [In the wonderful world of stone.]. Moscow: Nedra. 1978. 159 p.



АО «ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий» (АО «ЦНИИЭП жилища»)

Объединенная редакция научно-технических журналов «Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

VI Международная научно-практическая конференция
«Развитие крупнопанельного домостроения в России»

InterConPan-2016

International Conference of Large-panel Construction

МАЙ 2016 г.

КРАСНОДАР

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

- Состояние базы крупнопанельного домостроения в РФ
- Модернизация предприятий КПД
- Оборудование и технологии
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Архитектурно-планировочные решения
- Качество и энергоэффективность полносборных зданий
- Расчет и конструирование узлов сборных элементов
- Новые решения фасадов
- Опыт строительства крупнопанельного жилья

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ:

- 1-й день** 1) пленарное заседание
 2) секции:
 «Архитектура и особенности проектных решений крупнопанельных зданий» «Гибкая технология предприятий ДСК и КПД»
- 2-й день** – выездная сессия:
 ЗАО «ОБД»
 ООО ИСК «БУДМАР»
 ЖИЛОЙ КОМПЛЕКС В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

Спонсор конференции:



Партнер конференции:



К проведению конференции готовятся тематические номера журналов «Жилищное строительство» № 3-2016 г. и «Строительные материалы»® № 3-2016 г., в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 01.03.2016 г.

Организационный комитет:

Телефон/факс: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08

kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3
 редакция журнала «Жилищное строительство»

ЗАВОДЫ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СУХИХ СМЕСЕЙ

- фасовочные машины
- интенсивные смесители
- весовые дозаторы
- виброклассификаторы
- рукавные фильтры
- системы управления на базе PC и PLC

