

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №3



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

МАРТ 2017 г. (746)



**Широкий спектр машин и оборудования для производства
преднапряжённых железобетонных изделий**



NORDIMPIANTI SYSTEM SRL
Via Erasmo Piaggio, 19/A
66100 Chieti (CH) - Italy

 +39 0871 540222

 **nordimpianti**

Посетите наш сайт nordimpianti.com



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

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

№3

Основан в 1955 г.

(746) март 2017 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,
 академик РАН
 (Санкт-Петербург)

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

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

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

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

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

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

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»®, 2017

Крупнопанельное домостроение

И.В. ЮДИН, И.В. ПЕТРОВА, В.Ф. БОГДАНОВ

**Совершенствование конструктивных решений,
 технологии и организации строительства
 крупнопанельных и панельно-каркасных домов Волжским ДСК..... 4**

В.А. ШЕМБАКОВ

**Возможности использования российской технологии
 сборно-монолитного каркаса для строительства в России
 качественного доступного жилья и дорог..... 9**

**Региональный лидер строительной отрасли России –
 ОАО «ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ № 1» (Информация) 16**

**Первая линия по производству пустотных плит компании Nordimpianti
 в Якутии (Информация)..... 19**

С.Г. ЕМЕЛЬЯНОВ, Н.В. ФЕДОРОВА, В.И. КОЛЧУНОВ

**Особенности проектирования узлов конструкций
 жилых и общественных зданий из панельно-рамных элементов
 для защиты от прогрессирующего обрушения..... 23**

PROGRESS GROUP — это больше чем поставщик технологий (Информация) 28

А.Г. КОВРИГИН, А.В. МАСЛОВ, А.А. ВАЛЬД

**Факторы, влияющие на надежность композитных связей,
 применяемых в КЖД 31**

М.А. ГОНЧАРОВА, А.Н. ИВАШКИН, А.А. КОСТА

**Подбор и оптимизация составов бетонов для производства
 многопустотных плит перекрытия безопалубочного формования 35**

И.Н. ТИХОНОВ, В.З. МЕШКОВ, А.И. ЗВЕЗДОВ, И.П. САВРАСОВ

**Эффективная арматура для железобетонных конструкций зданий,
 проектируемых с учетом воздействия особых нагрузок 39**

Е.Ф. ФИЛАТОВ

**Экспресс-методы прогнозирования активности цемента
 в заводской лаборатории 46**

Отрасль в современных условиях

А.А. ВИШНЕВСКИЙ, Г.И. ГРИНФЕЛЬД, А.С. СМИРНОВА

Российский рынок автоклавного газобетона. Итоги 2016 года 49

Технология производства извести

А.В. НЕСТЕРОВ, Д.О. ДАТУКАШВИЛИ

Производство кальциевой извести в России 52

В.И. ЗУЕВ, А.Е. МИКАЛУЦКИЙ

Совершенствование известьюобжиговых вращающихся печей 61

Материалы и конструкции

Э.В. КОТЛЯРСКИЙ, В.И. КОЧНЕВ, В.М. ОЛЬХОВИКОВ, А.И. АБРАМОВА

**Холодная регенерация конструктивных слоев
 при устройстве покрытий на муниципальных дорогах..... 70**

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

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

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

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

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROYTEL'NYE MATERIALY®

№3

Founded in 1955 (746) March 2017

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

Large-panel housing construction

I.V. YUDIN, I.V. PETROVA, V.F. BOGDANOV

**Improvement of Constructive Solutions, Technology and Organization
of Construction of Large-Panel and Panel-Frame Houses of Volga DSK.....4**

V.A. SHEMBAKOV

**Possibilities to Use the Russian Technology of Precast-Monolithic Frame
for Construction of Qualitative Affordable Housing and Roads in Russia9**

**Regional Leader of Building Industry of Russia –
OOO «REINFORCED CONCRETE STRUCTURES № 1» (Information).....16**

**The First Line for Producing Hollow Slabs of Nordimpianti Co.
in Yakutia (Information).....19**

S.G. EMELIANOV, N.V. FEDOROVA, V.I. KOLCHUNOV

**Design Peculiarities of Nodes of Residential and Public Buildings' Structures
Made of Panel-Frame Elements for Protection against Progressive Collapse23**

PROGRESS GROUP is More than Technologies Supplier (Information).....28

A.G. KOVRIGIN, A.V. MASLOV, A.A. VALD

**Factors Influencing on Reliability of Composite Ties Used
in Large-Panel Housing Construction31**

M.A. GONCHAROVA, A.N. IVASHKIN, A.A. KOSTA

**Proportioning and Optimization of Concretes for Production
of Hollow-Core Floor Slabs of Off-Shuttering Forming.....35**

I.N. TIKHONOV, V.Z. MESHKOV, A.N. ZVEZDOV, I.P. SAVRASOV

**Efficient Reinforcement for Reinforced Concrete Structures of Buildings Designed
With Due Regard for Impact of Special Loads39**

E.F. FILATOV

Express-Methods for Forecasting Cement Activity in the Plant Laboratory46

Industry under present conditions

A.A. VISHNEVSKY, G.I. GRINFELD, A.S. SMIRNOVA

Russian Market of Autoclave Gas Concrete. Results of 2016.....49

Technology of lime manufacture

A.N. NESTEROV, D.O. DATUKASHVILI

Production of High-Calcium Lime in Russia.....52

V.I. ZUEV, A.E. MIKALUTSKY

Improvement of Lime-Burning Rotary Kilns61

Materials and structures

E.V. KOTLAYRSKY, V.I. KOCHNEV, V.M. OL'KHOVIKOV, A.I. ABRAMOVA

Cold Regeneration of Structural Layers When Surfacing Municipal Roads70

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 № 3

А.В. РУДЕНСКИЙ

Рациональное использование строительных материалов и ресурсосбережение – актуальные направления повышения эффективности работ при строительстве и ремонте автомобильных дорог 76

В.С. ЛЕСОВИК, Д.Ю. ПОПОВ, Е.С. ГЛАГОЛЕВ

Текстиль-бетон – эффективный армированный композит будущего 81

Результаты научных исследований

Е.В. КОРОЛЕВ

Технико-экономическая эффективность новых технологических решений. Анализ и совершенствование 85

А.М. САЛАХОВ, В.П. МОРОЗОВ, Ф.Г. ВАГИЗОВ, А.А. ЕСКИН,
А.Р. ВАЛИМУХАМЕТОВА, А.Л. ЗИННАТУЛЛИН

Научные основы управления цветом лицевого кирпича на заводе «Алексеевская керамика» 90

А.И. НИЖЕГОРОДОВ, А.В. ЗВЕЗДИН, Т.Б. БРЯНСКИХ

Уточненная модель теплоусвоения вермикулита при обжиге в электрических печах с учетом новых экспериментальных данных 96

Stroitel'nye Materialy No. 3

A.V. RUDENSKY

Rational Application of Building Materials and Resource Saving – Actual Way of Improving Works Efficiency When Constructing and Repairing Automobile Roads 76

V.S. LESOVIK, D.Ju. POPOV, E.S. GLAGOLEV

Textile-Concrete – Efficient Reinforced Composite of the Future 81

Results of scientific research

E.V. KOROLEV

Technical-Economical Efficiency of New Technological Solutions. Analyses and Improvement 85

A.M. SALAKHOV, V.P. MOROZOV, F.G. VAGIZOV, A.A. ESKIN,
A.R. VALIMUHAMETOVA, A.L. ZINNATULLIN

The Scientific Basis of Color Control Lining Brick at «Alekseevskaya Ceramics» Factory 90

A.I. NIZHEGORODOV, A.V. ZVEZDIN, T.B. BRYANSKIH

Specified Model of Vermiculite Heat Absorption While Burning in Electric Kilns with New Experimental Data 96

Уважаемые коллеги!

Подписку на журнал «Строительные материалы»® всегда можно оформить через редакцию. Для этого необходимо прислать заявку в произвольной форме по тел./факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36 или по эл. почте: mail@rifsm.ru. В заявке надо указать название организации (для выставления счета), юридический и почтовый адреса, телефон и контактное лицо. Открыта подписка на электронную версию журнала: <http://rifsm.ru/page/5/>

На почте подписку можно оформить:

Оставайтесь с нами!



По объединенному каталогу
«Пресса России»

индекс **70886**



По каталогу агентства
«Роспечать»

индекс **79809**

И.В. ЮДИН¹, инженер (iyudin@chdsk21.ru); И.В. ПЕТРОВА², канд. пед. наук (iri551468@mail.ru); В.Ф. БОГДАНОВ³, канд. экон. наук (bogdanov-1943@mail.ru)

¹ ООО «Волжский домостроительный комбинат» (429950, г. Новочебоксарск, ул. Промышленная, 73)

² ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет, Чебоксарский институт (филиал)» (428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 54)

³ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» (428015, г. Чебоксары, Московский просп., 15)

Совершенствование конструктивных решений, технологии и организации строительства крупнопанельных и панельно-каркасных домов Волжским ДСК

Показано развитие крупнопанельного домостроения (КПД) в Чувашской Республике. Выявлены особенности этого вида строительства в разные периоды функционирования домостроительного комбината (ДСК). В 1964–1992 гг. ДСК не только осваивал выпуск известных серийных домов, но и усовершенствовал серию 121. Нарастив объемы строительства путем организации непрерывного комплексного потока. В 1993–2007 гг. при переходе к рыночной экономике обнаружилось острее недостаточные потребительские свойства ранее реализованных КПД. Освоение новой технологии сборно-монолитного каркасного домостроения и ее дальнейшее развитие удержали ДСК на строительном рынке. Ныне комбинат успешно строит как модернизированные крупнопанельные (КПД), так и панельно-каркасные дома (ПКД).

Ключевые слова: домостроительный комбинат, крупнопанельный дом, непрерывный комплексный поток, реконструкция, сборно-монолитный каркас, жесткий узел, панельно-каркасный дом.

Для цитирования: Юдин И.В., Петрова И.В., Богданов В.Ф. Совершенствование конструктивных решений, технологии и организации строительства крупнопанельных и панельно-каркасных домов Волжским ДСК // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 4–8.

I.V. YUDIN¹, engineer (iyudin@chdsk21.ru); I.V. PETROVA², Candidate of Sciences (Pedagogics) (iri551468@mail.ru);

V.F. BOGDANOV³, Candidate of Sciences (Economics) (bogdanov-1943@mail.ru)

¹ ООО "Volga house-building factory" (73, Promyshlennay Street, 429950 Novocheboksarsk, Russian Federation)

² Moscow Polytechnic University, Cheboksary Institute (branch) (54, K. Marksa Street, 428000, Cheboksary, Russian Federation)

³ "Chuvash State University named after I.N. Ulyanov" (15, Moskovsky Avenue, 428015, Cheboksary, Russian Federation)

Improvement of Constructive Solutions, Technology and Organization of Construction of Large-Panel and Panel-Frame Houses of Volga DSK

The development of large-panel housing construction in the Chuvash Republic is shown. Peculiarities of this type of construction in different periods of operation of the integrated house-building factory are revealed. In 1964–1992, the factory not only mastered the production of well-known serial houses, but improved the series 121. The factory increased volumes of construction by organizing the continuous complex production flow. In 1993–2007, in the course of transition to the market economy, non-sufficient consumer properties of previously produced large-panel houses manifested sharper. Mastering of the new technology of precast-monolithic frame housing construction and its further development has kept the factory at the construction market. At present, the integrated factory successfully produces both modernized large-panel houses and panel-frame houses.

Keywords: integrated house-building factory, large-panel house, continuous complex flow, reconstruction, precast-monolithic frame, hard node, panel-frame house.

For citation: Yudin I.V., Petrova I.V., Bogdanov V.F. Improvement of constructive solutions, technology and organization of construction of large-panel and panel-frame houses of Volga DSK. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 4–8. (In Russian).

После затяжного кризиса в крупнопанельном домостроении наступила пора возрождения домостроительных комбинатов [1–7].

В Чувашской Республике индустриальные дома строит Волжский домостроительный комбинат (ДСК) в г. Новочебоксарск. В развитии ДСК можно выделить несколько этапов.

Этап первый (1964–1992 гг.). Строились полносборные крупнопанельные дома массовых серий 1-090, «КОПЭ» и другие.

В широких масштабах развивались специализация и поточное строительство благодаря более рациональным производственной и организационной структурам управления ДСК, объединяющим на одном промышленно-строительном предприятии все переделы КПД, включая добычу нерудных строительных материалов, изготовление из них керамзита, бетона и др., а затем деталей КПД, их перевозку к объектам, монтаж, спецработы, благоустройство и сдачу объекта в эксплуатацию.

В ДСК были образованы специализированные строительно-монтажные управления (СМУ) для организации непрерывного комплексного потока по крупнопанельному домостроению на многие годы вперед.

Например, одно СМУ специализировалось на производстве работ нулевого цикла, т. е. выполнив их на одном объекте в полном объеме, переходило на следующий дом, открывая фронт работ другому СМУ, возводящему надземную часть и т. д. Такая организация строительства создала условия для возведения частей зданий специализированными потоками, особенно на монтаже надземной части, где преобладал метод «монтаж с колес» по почасовым графикам в едином ритме производства панелей и их доставки на строительные площадки по «челночной», «челночно-маятниковой» и по смешанным схемам перевозок. Научная организация строительства жилых домов путем создания ДСК, реализованная на практике, новая система планирования и экономического стимулирования (1969 г.) и преобладающее государственное финансирование (90%) обеспечили рост объемов строительства жилья в 1970-х гг. в 4–5 раз больше, чем в предыдущие 10 лет.

Совершенствование крупнопанельного домостроения продолжалось. ДСК и АО «Чувашгражданпроект» реализовали унифицированную серию 121 «Ч» («Ч» – чувашская). КПД этой серии потребителями оценивались наравне с кирпичным жильем из-за функцио-



Рис. 1. Технологическая линия по производству элементов сборно-монолитного каркаса: колонн, преднапряженных ригелей и плит несъемной опалубки

нально грамотного подхода к объемно-планировочным решениям. Канули в прошлое особо заметные недостатки первых массовых серий, такие как проходные комнаты, совмещенные санузлы, отсутствие кладовок, малые кухни и др. Дома серии 121 «Ч» строились из 5- и 9-этажных блок-секций.

Предприятие вводило в эксплуатацию ежегодно 280 тыс. м² жилья, а также до 40 тыс. м² школ и детских садов.

К концу рассматриваемого этапа численность работающих на предприятии превысила 5 тыс. человек. Комбинатом было построено около 6 млн м² жилья и часть этой площади (0,5 млн м²) за пределами Чувашии в Татарской, Удмуртской, Мордовской республиках и в Нижегородской, Самарской, Саратовской, Московской, Новгородской, Курской, Свердловской, Тюменской областях и др. В 1988 г. 80% городского населения проживало в отдельных квартирах, и к этому времени удельный вес крупнопанельного домостроения достиг 50%, а в отдельных городах 70–90%.

В завершение этого же этапа, учитывая перспективность конструкционного легкого бетона [8–9], его качественный потенциал, а также возрастающую востребованность продукции ДСК, на предприятии были построены корпуса по производству высокопрочного керамзитового гравия на местной уникальной глине, в которых смонтированы и действуют три вращающиеся печи по обжигу сырьевых гранул. Общая их производительность в год 210 тыс. м³ керамзитового гравия марок П300–П350 по ГОСТ 9757–90. Т. е. ДСК создал задел для своего дальнейшего развития на последующих этапах.

В целом первый этап характеризуется не только высоким ритмом и стабильностью работы промышленного домостроительного конвейера, недостаточной механизацией и автоматизацией труда рабочих в крупнопанельном домостроении, однообразием архитектурного облика микрорайонов, относительно невысокой комфортностью квартир, но и предвидением будущего ДСК на базе развития легкобетонных конструкций как одного из направлений научно-технического прогресса в строительстве.

Этап второй (1993–2007 гг.). В начале 1990-х гг. с введением в экономику первых элементов рынка, а в управление — полного хозрасчета к недостаткам первого этапа КПД прибавилась высокая энергоемкость технологий в производстве и эксплуатационные затраты на содержание домов. Государство перестало быть главным инвестором. Жилье стало продаваться, а не раздаваться. Реального покупателя-собственника ста-

ла интересовало не просто жилая площадь, но и ее потребительские свойства: безопасность, долговечность, надежность, комфортность, уют и др. Существующие традиционные технологии промышленного домостроения перестали удовлетворять быстро меняющиеся потребности рынка. Мощности ДСК стали падать. Многие ДСК разорились вовсе. В этих условиях целесообразны «гибкие» технологии домостроения, обеспечивающие высокую скорость строительства и доступную стоимость жилья большинству населения исходя (как позднее в 2002 г. выяснилось) из равенства средней стоимости стандартной квартиры 54 м² со средним совокупным денежным доходом семьи из трех человек за три года.

В 1993 г. в трудных экономических условиях ДСК купил французскую технологическую линию по производству железобетонных элементов сборно-монолитного каркаса типа Saret и запустил ее в эксплуатацию на производственных площадях комбината (рис. 1).

Сборно-монолитный каркас (СМК) состоит из трех основных железобетонных элементов: колонн, ригелей и плит несъемной опалубки для монолитной несущей части перекрытий. Дополнительно в него могут включаться диафрагмы жесткости. Возможен вариант выполнения перекрытий сборными в виде многослойных предварительно напряженных плит. Колонны выполняются секционными. Длина секции колонны ограничивается технологическими возможностями транспортировки и монтажа (L=17 м). Характерно уменьшение площади сечения колонн по мере роста этажности. Секции колонн стыкуются между собой специальным разъемом штепсельного типа без применения сварки. В каркасе малоэтажных (до 5 этажей) зданий устанавливаются бесстыковые колонны.

Сопряжение колонн с ригелями и перекрытиями (рис. 2) производится с помощью соединительных элементов без применения сварочных работ. Для этого в месте сопряжения плиты перекрытия и ригеля арматурный каркас колонны не бетонируется. Это позволяет в процессе сборки каркаса пропускать арматуру сквозь колонну по выступающим хомутам ригеля. При омоноличивании сопряжения образуется жесткий узел, обеспечивающий достаточную устойчивость каркаса.

Ригели изготавливаются с предварительно напряженной арматурой. Сборно-монолитные перекрытия состоят из сборных железобетонных предварительно напряженных плит толщиной 60 мм, служащих несъемной опалубкой для устройства несущей части плиты перекрытия. Толщина этой части плиты устанавливается в зависимости от пролета, нагрузки, дополнительно армируется для обеспечения неразрезности диска перекрытия после омоноличивания.

СМК адаптировался к суровым климатическим условиям России путем реализации проектных и технологических решений узлов наружных стен, обеспечивающих защиту от промерзания при производстве работ в зимних условиях. В полном объеме были проведены натурные испытания СМК с пустотным настилом на соответствие требованиям СНиП и получены положительные заключения экспертных органов Госстроя России. Адаптированные решения защищены многими патентами России. СМК может обеспечивать строительство зданий до 34 этажей. На основе технологии СМК закрытым акционерным обществом «Рекон» созданы отечественные технологические линии по производству элементов каркаса, которые размещены по всей России на 25 заводах.

Преимущества СМК в сравнении с традиционными несущими каркасами зданий серии ИИ-02 и ИИ-04 проявляются в следующих возможностях:

- реализация любого планировочного решения по архитектурному замыслу декоративного оформления зданий при использовании СМК и несущих наружных стен, опирающихся на междуэтажные перекрытия;

- планировка квартиры как в период проектирования, так и в процессе строительства и эксплуатации зданий; при этом электрические, канализационные, водопроводные и газовые разводки до границы квартиры остаются неизменными;

- изготовление всех элементов каркаса (колонн, ригелей) различной длины, ширины и высоты в одной и той же опалубке;

- свободная планировка конструктивной системы зданий;

- отсутствие сварных стыков при сборке каркаса как при стыковке колонн с ригелями, так и при наращивании колонн;

- высокая сейсмоустойчивость зданий;

- монтаж одного этажа односекционного блока по технологии СМК осуществляется всего за одну смену бригадой из пять человек.

Домостроители продолжали совершенствовать СМК. В 2003 г. по заказу комбината НИИЖБ выполнял научно-исследовательские работы, конечной целью которых явилось определение технической возможности и технико-экономической эффективности замены элементов сборно-монолитного каркаса из тяжелого бетона на плотных (привозных с Урала в связи с их отсутствием в Чувашии) природных заполнителях на равнопрочные конструкционные легкие бетоны, изготовляемые на высокопрочном керамзитовом гравии собственного производства.

Проведенные исследования [10] позволили разработать конструкционные керамзитобетоны классов по прочности на сжатие В25–В35, марок по плотности D1750–D1850.

Выполнение СМК в легкобетонном варианте:

- уменьшает массу здания до 25%, что дает возможность: снизить расход стальной арматуры на 10–12% в нижележащих конструкциях и фундаментах; снизить затраты на устройство фундаментов и на возведение здания в целом; уменьшить или даже исключить необходимые затраты на укрепление оснований под зданиями при слабых (просадочных) грунтах; все это особенно эффективно для развивающегося строительства высотных зданий в мегаполисах;

- снижает теплоотдачу здания или повышает до 15–20% уровня его тепловую защиту за счет соответствующего улучшения в целом теплотехнической однородности наружных стен, контактирующих с элементами наружного каркаса из существенно менее теплопроводных по сравнению с тяжелыми бетонами конструктивных легких бетонов, что приводит к энергоэффективности здания в результате снижения энергозатрат на отопление;

- повышает пожаробезопасность здания из-за более высокой огнестойкости легкого бетона по сравнению с равнопрочным тяжелым;

- увеличивает надежность эксплуатации конструктивной системы здания путем исключения возможности внутренней коррозии бетона, в частности наиболее реальной и опасной – щелочной;

- обуславливает сейсмостойкость здания вышеуказанным снижением массы его конструктивной системы и соответственно уменьшением сейсмического воздействия на фундамент [11–12].

ДСК стал производить не только элементы каркаса из бетона классов по прочности на сжатие В25–В35 на высокопрочном керамзите, но и сваи из керамзитобетона классов В25–В30, марки по морозостойкости

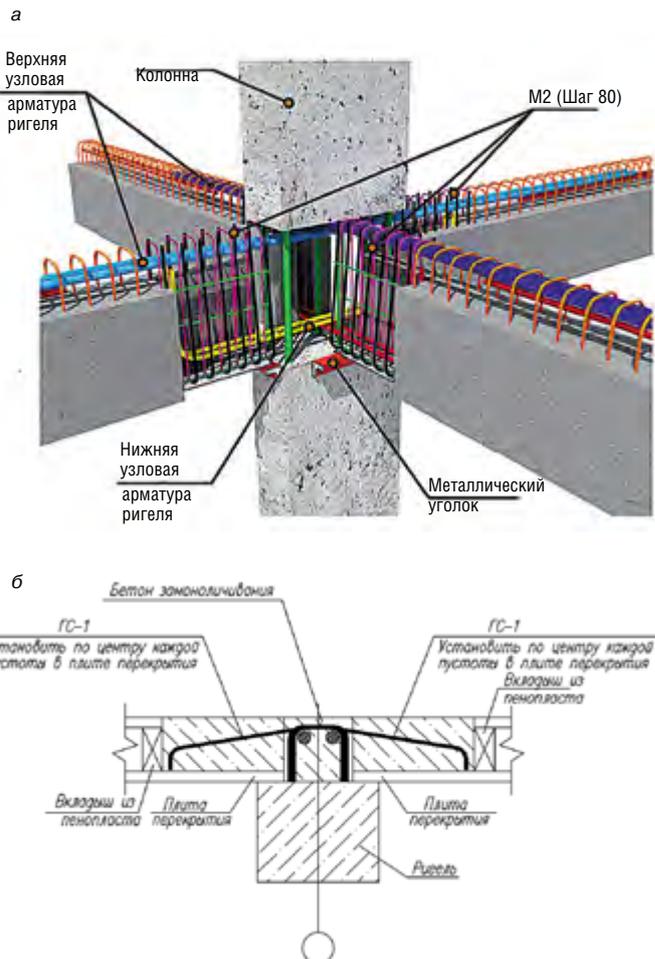


Рис. 2. Узлы: а – сопряжение колонны с ригелями; б – сопряжение многопустотных плит с ригелем

F300. Соответствующие рекомендации и заключения выданы специалистами НИИЖБ и НИИОСП. Такие сваи, как показывает опыт, имеют ряд преимуществ по сравнению с их аналогами из тяжелого бетона: они более технологичны при устройстве ростверка фундамента здания из-за большей ударной вязкости легкого бетона и более долговечны в эксплуатации за счет его большей морозостойкости.

Учитывая перспективность легкобетонного варианта СМК, комбинат стал расширять область его применения в городах Чувашии и по регионам РФ. Так, в 2005–2007 гг. ДСК построил каркасные здания в легкобетонном варианте в городах Нижнем Новгороде, Екатеринбурге, Казани, Московской области.

Как видно, на втором этапе своего развития комбинат претерпел серьезную реконструкцию, реализовал переход к технологии сборно-монолитного каркасного домостроения, адаптировал ее к условиям России и развил дальше в легкобетонном варианте, создал одно из направлений панельно-каркасного домостроения [13], рассматриваемого в настоящее время как новый этап развития КПД.

Этап третий (2008–2016 гг.). На комбинате в 2008 г. завершилась очередная реконструкция и модернизация производства. Была закуплена и установлена технологическая линия зарубежного производства по изготовлению на длинном ($L = 105$ м) стенде методом непрерывного безопалубочного формирования с применением керамзитобетона: предварительно напряженных многопустотных панелей перекрытий; перегородок высотой на этаж (толщиной 68 и 90 мм); наружных



Рис. 3. Сборно-монокристаллический каркасный дом по адресу: ул. Дементьева, 18 в жилом районе «Садовый» (г. Чебоксары) с планом секции

стенных панелей. На этом же стенде было освоено безопалубочное формование керамзитобетонных заливных свай и ригелей. При производстве этим методом панелей перекрытий, армируемых напрягаемой прядевой арматурой или высокопрочной проволокой ВР-2 взамен стержневой арматуры $\Phi 12$ - $\Phi 14$ в традиционных аналогах панелей такого назначения, получена экономия арматуры более 25%.

Установка нового бетоносмесительного узла на комбинате и адресная подача бетона позволили значительно увеличить мощность предприятия по панельному домостроению (на 200 тыс. m^2 жилой площади в год) и довести ее до уровня 360 тыс. m^2 в год. Хотя коэффициент использования мощности остается высоким, ДСК к дальнейшему наращиванию мощности не стремится, так как избыток мощности заставляет искать заказчиков за пределами региона, что приводит к удорожанию строительства за счет повышенных транспортных и других расходов. После модернизации и установки новых опалубочных форм с магнитным креплением бортов появилась возможность производить как наружные, так и внутренние стеновые панели новых типоразмеров.

В настоящее время комбинат производит:

- сборно-монокристаллические каркасные дома модернизированной серии 121 этажностью до 16 этажей, в которых панели служат заполнением каркаса и ограждающими элементами (рис. 3);

- бескаркасные панельные здания до 9 этажей, в которых панели являются несущими и ограждающими конструкциями (рис. 4).

Конструкции наружных стен состоят из панелей, размер которых по высоте равен одному этажу, а по ширине – одной или двум комнатам. Панели могут быть глухими (без проемов), с оконными или дверными проемами.



Рис. 4. Крупнопанельный жилой дом поз. 15.1 в микрорайоне 3А в жилом районе «Садовый» (г. Чебоксары) с планом блок-секции

Многослойные стеновые панели: наружный и внутренний слои выполняются из бетона, между ними размещается утеплитель из пенополистирола. Все слои соединяются базальтопластиковыми связями, теплопроводность которых в 40 раз меньше, чем у металлических связей.

Крупнопанельные и панельно-каркасные дома ДСК в последние годы строит в жилом районе «Садовый» (г. Чебоксары), архитектурный стиль которого разработан с участием японского архитектора Мичио Бандо. Строительство двух микрорайонов – 3 и 3А – почти завершилось. В жилом районе будет построено 2,5 млн m^2 жилья на 100 тыс. жителей. Внутри района размещаются крупнопанельные, а на главных улицах – панельно-каркасные дома. В их лестнично-лифтовых узлах используются проходные лифты, обеспечивающие улучшенный вариант доступности для инвалидов и других маломобильных групп населения.

На комбинате созданы все условия для развития малоэтажного домостроения. На технологических линиях ДСК производятся керамзитобетонные блоки и перемычки для наружных стен малоэтажных домов (комбинатом построен городок «Серебряный» на 228 коттеджей в пригороде г. Чебоксары), а также много других изделий и конструкций: фундаментные блоки, плиты перекрытий, лестничные балки, площадки, марши, кольца и крышки колодцев и др.

Сегодня ДСК владеет многими прогрессивными технологиями, необходимыми для индустриального

строительства жилья. Волжская 121-я серия, по мнению авторов, является рациональным решением для социально доступного и комфортного жилья. Сборно-монолитный каркас в этой серии позволяет воплотить в жизнь разнообразные объемно-планировочные решения как здания в целом, так и квартир, а выполнение его элементов из конструкционных легких бетонов открывает широкие возможности для возведения высокоэнергоэффективных надежных и безопасных в эксплуатации зданий при снижении материалоемкости и стоимости строительства.

Инновационное развитие Волжского ДСК привлекает внимание потребителей его продукции, строительной общественности, преподавателей и студентов вузов. На ДСК функционирует базовая кафедра строи-

тельного производства Московского политехнического университета, где студенты строительных факультетов вузов Чувашии изучают не только изготовление строительных конструкций, но и технологию и организацию монтажа современных промышленных объектов, а также организацию строительных площадок, исполнительную документацию, строительный контроль, систему менеджмента качества, порядок ввода объектов в эксплуатацию и др.

Использование опыта ДСК по КПД и ПКД с использованием конструкционных легких бетонов может стать одним из эффективных вариантов решения вопросов увеличения темпов и качества строительства жилья, энерго- и ресурсосбережения, снижения стоимости строительства.

Список литературы

1. Баранова Л.Н. Развитие индустриального домостроения и промышленности строительных материалов в различных регионах России // *Вестник Российской академии естественных наук*. 2013. № 3. С. 61–63.
2. Усманов Ш.И. Формирование экономической стратегии развития индустриального домостроения в России // *Политика, государство и право*. 2015. № 1 (37). С. 76–79.
3. Антипов Д.Н. Стратегии развития предприятий индустриального домостроения // *Проблемы современной экономики*. 2012. № 1. С. 267–270. № 10 (87). С. 24–27.
4. Магай А.А., Дубынин Н.В. Крупнопанельные жилые дома с широким шагом несущих конструкций, обеспечивающих свободную планировку квартир // *Жилищное строительство*. 2016. № 10. С. 21–24.
5. Николаев С.В. Возрождение домостроительных комбинатов на отечественном оборудовании // *Жилищное строительство*. 2015. № 5. С. 4–8.
6. Дубынин Н.В. От крупнопанельного домостроения XX в. к системе панельно-каркасного домостроения XXI в. // *Жилищное строительство*. 2015. № 10. С. 12–27.
7. Тихомиров Б.И., Коршунов А.Н. Линия безопалубочного формования – завод КПД с гибкой технологией // *Строительные материалы*. 2012. № 4. С. 22–29.
8. Железобетон в XXI веке. Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Под ред. К.В. Михайлова. М.: НИИЖБ, 2001. С. 390.
9. Ярмаковский В.Н., Бремнер Т.У. Легкий бетон: настоящее и будущее // *Строительный эксперт*. 2005. № 20. С. 5–7. № 21. С. 5–7.
10. Юдин И.В., Ярмаковский В.Н. Инновационные технологии в индустриальном домостроении с использованием конструкционных легких бетонов // *Строительные материалы*. 2010. № 1. С. 15–17.
11. Ярмаковский В.Н., Семченков А.С., Козелков М.М., Шевцов Д.А. О ресурсоэнергосбережении при использовании инновационных технологий в конструктивных системах зданий в процессе их создания и возведения // *Вестник МГСУ*. 2011 № 3. Т. 1. С. 209–215.
12. Грызлов В.С. Шлакобетоны в крупнопанельном домостроении // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 40–41.
13. Николаев С.В., Шрейбер А.К., Этенко В.П. Панельно-каркасное домостроение – новый этап развития КПД // *Жилищное строительство*. 2015. № 2. С. 3–7.

References

1. Baranova L.N. Development of industrial housing construction and the industry of construction materials in various regions of Russia. *Vestnik Rossijskoi akademii estestvennykh nauk*. 2013. No. 3, pp. 61–63. (In Russian).
2. Usmanov Sh.I. Formation of economic strategy of development of industrial housing construction in Russia. *Politika, gosudarstvo i pravo*. 2015. No. 1 (37), pp. 76–79. (In Russian).
3. Antipov D.N. Strategy of development of the enterprises of industrial housing construction. *Problemy sovremennoi ekonomiki*. 2012. No. 1, pp. 267–270. (In Russian).
4. Magay A.A., Dubynin N.V. Large-Panel Residential Buildings with a Broad Step of Bearing Structures, Ensuring the Free Layout of Apartments From large-panel housing construction of XX to system of panel and frame housing construction XXI. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 10, pp. 21–24. (In Russian).
5. Nikolaev S. V. The Revival of house-building factories in the domestic equipment. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 5, pp. 4–8. (In Russian).
6. Dubynin N.V. From large-panel housing construction of XX to system of panel and frame housing construction XXI. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 10, pp. 12–27. (In Russian).
7. Tikhomirov B.I., Korshunov A.N. The line of bezopalubochny formation – efficiency plant with flexible technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 4, pp. 22–26. (In Russian).
8. Reinforced concrete in the XXI century. The state and prospects of development of concrete and reinforced concrete in Russia: Monografiya pod. red K. V. Mikhailov. Moscow: NIIZHB, 2001. 390 p.
9. Yarmakovskiy V.N., Bremner, T.W. Lightweight concrete: present and future. *Stroitelny expert*. 2005. No. 20, pp. 5–7. No. 21, pp. 5–7. (In Russian).
10. Yudin I. V., Ermakovskiy V. N. Innovative technologies in industrial building research Institute with the use of structural lightweight concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 1, pp. 15–17. (In Russian).
11. Yarmakovskiy V.N., Semchenkov A.S., Kozelkov M.M., Shevtsov D.A. About energy saving when using innovative technologies in constructive systems of buildings in the course of their creation and construction. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3, Vol. 1, pp. 209–215. (In Russian).
12. Gryzlov V.S. Shlakobeton in large-panel housing construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 3, pp. 40–41. (In Russian).
13. Nikolaev S.V., Shreiber A.K., Etenko V.P. Panel and frame housing construction – a new stage of development of efficiency. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 2, pp. 3–7. (In Russian).

УДК 69.056.1

В.А. ШЕМБАКОВ (zao.rekon@mail.ru), управляющий ГК «Рекон-СМК», генеральный директор ЗАО «Рекон», заслуженный строитель России, руководитель авторского коллектива по развитию и внедрению технологии СМК
 ЗАО «Рекон» (428003, г. Чебоксары, Дорожный пр., 20а)

Возможности использования российской технологии сборно-монолитного каркаса для строительства в России качественного доступного жилья и дорог

Приведены возможности использования технологии сборно-монолитного каркаса (технологии СМК) для достижения целей, поставленных в «Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу до 2030 г.» Распоряжения Правительства № 868-р от 10.05.2016 г. Показано, что российская технология сборно-монолитного каркаса, предлагаемая ГК «Рекон-СМК», способна обеспечить внутренний и внешний рынки качественными, доступными и энергоэффективными строительными материалами российского производства, снизить зависимость от зарубежных технологий, оборудования и компонентов.

Ключевые слова: сборно-монолитный каркас, заводская готовность, энергоэффективность, скорость строительства.

Для цитирования: Шембаков В.А. Возможности использования российской технологии сборно-монолитного каркаса для строительства в России качественного доступного жилья и дорог // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 9–15.

V.A. SHEMAKOV (zao.rekon@mail.ru), Manager, GK "Rekon-SMK", General Director, zAO "Rekon", Honored Builder of the Russian Federation, Head of Writing Staff of Development and Introduction of SMK Technology ZAO "Rekon" (20a Dorozhny Passway, 428003, Cheboksary, Russian Federation)

Possibilities to Use the Russian Technology of Precast-Monolithic Frame for Construction of Qualitative Affordable Housing and Roads in Russia

Possibilities to use the technology of precast-monolithic frame (SMK technology) for achieving the goals set in "Strategy of development of building materials industry for the period until 2020 and further until 2030" of the Government Resolution № 868-p of 10.05.2016 are presented. It is shown that the Russian technology of precast-monolithic frame proposed by GK "Rekon-SMK" is able to provide the domestic and foreign markets with qualitative, affordable and energy efficient building materials of the Russian production, to reduce dependence on foreign technologies, equipment, and components.

Keywords: precast-monolithic frame, factory readiness, energy efficiency, speed of construction.

For citation: Shembakov V.A. Possibilities to use the russian technology of precast-monolithic frame for construction of qualitative affordable housing and roads in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 9–15. (In Russian).

Правительство РФ в Распоряжении № 868-р от 10.05.2016 г. определило цель «Стратегии развития промышленности строительных материалов» как формирование высокотехнологичной, конкурентоспособной, устойчивой и сбалансированной промышленности строительных материалов инновационного типа, обеспечивающей внутренний и внешний рынки качественной, доступной, энергоэффективной продукцией.

Согласно данным анализа деятельности отечественных заводов ЖБИ, отраженного в «Стратегии развития промышленности строительных материалов», большинство российских «производителей железобетонных изделий работают на оборудовании и с использованием технологий 1970–1980 гг., которые не отвечают современным требованиям в отношении производительности, уровня автоматизации, энергоэффективности и качества готового продукта» [1–4].

Иностранные производители продвигают на российский рынок собственное оборудование, предлагая комфортные условия «связанного зарубежного финансирования через специализированные банки и экспортные агентства». В 2014 г. общий объем финансирования российскими предприятиями и банками зарубежного машиностроения составил более 1,5 млрд дол. США. При этом стоимость и обслуживание импортного оборудования в несколько раз превышает стоимость отечественных предложений. Доля

нематериальных активов (импортных) может составлять до 1/2 цены готовой продукции [5–7].

В Распоряжении Правительства РФ № 868-р от 10.05.2016 г. указано, что **не используется интеллектуальная составляющая отрасли – технические решения, разработанные российскими специалистами.**

Одной из целей Стратегии развития промышленности строительных материалов Правительство РФ определило формирование сбалансированной и конкурентоспособной промышленности строительных материалов инновационного типа, независимой от зарубежных технологий и оборудования. Для достижения этой цели **Группа компаний «Рекон-СМК» предлагает разработанную и успешно развивающуюся более 15 лет российскую стеновую технологию сборно-монолитного каркаса (технология СМК)** [8]. Технология СМК полностью отвечает требованиям российских строительных норм и стандартов и достойно конкурирует с новейшими западными технологиями, вобрав в себя **лучшие** решения сборного, монолитного, кирпичного и других строительных технологий.

Основа российской технологии СМК – это монтаж по принципу **конструктора** каркаса **бессварного соединения**. Элементы каркаса изготавливаются на универсальной **технологической линии (стенд) по рабочим чертежам проекта**. На универсальной технологической линии после быстрой переналадки также можно выпускать дорожные плиты, сваи, балконные плиты, наружные стеновые плиты «НС» и другие конструкции.



Рис. 1. Ввод в эксплуатацию после технического перевооружения универсального стэнда и формовочных столов 4×12 м с кантованием для выпуска конструкций сборно-монокитного каркаса с «НС» нового типа в ООО «Маскат», г. Астана, Казахстан. ЗАО «РЕКОН», Россия



Рис. 2. Универсальный стэнд, адресная подача с редуктором-наполнителем и стэндовой технологией пустотного настила. ЗАО «РЕКОН», г. Нефтекамск, Республика Башкортостан. 2014 г.



Рис. 3. Пуск в эксплуатацию технологических линий по выпуску колонн, ригелей, балок до 18 м, НС, свай, дорожных плит с постнапряжением и другого железобетона. 2014 г. Атырау, Казахстан. ЗАО «РЕКОН»

Российская технология СМК обеспечивает:

- заводское качество, универсальность и архитектурную выразительность железобетонных изделий (97% каркаса);
- экономию энергии (в три раза меньше по сравнению с существующими технологиями производства ЖБИ);
- экономию материалов (в 1,5 раза меньше, чем при монолитном и панельном домостроении);
- высокую скорость круглогодичного строительства (до 5 тыс. м² сборно-монолитного каркаса в месяц под одним башенным краном);
- меньший вес несущих конструкций по сравнению с другими конструкциями (0,146 м³ сборного ЖБИ на 1 м² общей площади здания) и, как следствие, снижение расходов на фундаменты и использование на стройплощадке механизмов с меньшей грузоподъемностью;
- высокую сейсмостойчивость зданий;
- любые объемно-планировочные решения (пролет между колоннами составляет до 15 м);
- **универсальность**, обеспеченная быстрой переналадкой оборудования под выпуск необходимой для рынка в данный момент продукции.

С 1998 г. изготовление технологических линий по выпуску элементов СМК осуществляет машиностроительный завод ЗАО «Рекон» (г. Чебоксары), входящий в состав ГК «Рекон-СМК». Производственная мощность линии составляет от 15 до 200 тыс. м² общей площади в год. Для размещения оборудования необходим цех площадью от 720 до 3000 м². Завод приступает к выпуску продукции через 6–12 мес.

За 19 лет ГК «Рекон-СМК» (г. Чебоксары) разработала, испытала и запустила в эксплуатацию **84 завода** по производству сборно-монолитных конструкций в гг. Москва, Санкт-Петербург, Кириши, Тула, Нижний Новгород, Чебоксары, Саранск, Пенза, Оренбург, Нефтекамск, Новоуральск, Екатеринбург, Тюмень, Советский (Ханты-Мансийский АО), Новосибирск, Красноярск, Иркутск, Мирный (Республика Саха) и т. д. Использование выпущенной указанными заводами продукции позволило ввести в эксплуатацию в Российской Федерации более 6 млн м² жилья и административных зданий и сооружений в год.

За период 2013–2015 гг. ГК «Рекон-СМК» изготовлено и поставлено **шесть заводов** в Республику Казахстан – города Астана, Уральск, Атырау, Караганда, Кокшетау; в Республику Беларусь – г. Хойники, в Украину – г. Черновцы.

В 2014–2015 гг. специалисты ГК «Рекон-СМК» разработали и выпустили сплитформер, ранее закупаемый в Италии и Германии для оснащения технологических линий. Стоимость данной машины, произведенной в России, в три раза дешевле импортного аналога, а надежность при эксплуатации выше.

Технология СМК позволяет добиться надежности и легкости конструкций, закладывая при проектировании железобетонных изделий меньший расход бетона и арматуры и, соответственно, **уменьшить стоимость квадратного метра здания** по сравнению с другими технологиями. Реализация принятой расчетной схемы во многом зависит от качества исполнения принятых проектных решений.



Рис. 4. Завод по производству конструкций сборно-монолитного каркаса с пустотным настилом. Одновременная работа в двух пролетах на универсальных стандах с двумя адресными подачами со слипформером и конусным вибробетоноукладчиком после техпереоборудования, г. Пенза, ОАО «Механика». Все оборудование произведено ЗАО «РЕКОН», г. Чебоксары



Рис. 5. Технологическое оборудование: автоматический накопитель-раздатчик, адресная подача, автоматический размотчик термопокрывала, универсальный станд с активной якорной станцией. ОАО «Железобетон», г. Саранск, Республика Мордовия. ЗАО «РЕКОН», г. Чебоксары. 2012 г.



Рис. 6. Автоматизированный завод ЗАО «РЕКОН» с двумя универсальными стандами, БСУ, адресной подачей, раздатчиком-накопителем длиной 18 м, мощностью 100 тыс. м² в год зданий сборно-монолитного каркаса с пустотным настилом. 2015 г., г. Советский, ХМАО, ООО «Советский завод ЖБИ»

Производство элементов каркаса по технологии СМК отличается от существующих производств – конвейерных, постовых, поточно-агрегатных и др. – в подготовке формы, ее армировании, оснащении, укладке бетона, пропарке и наборе прочности, отгрузке продукции и возврате на новый цикл. Все операции последовательно выполняются на универсальной технологической линии с адресной подачей в автоматизированном цикле, начиная с укладки бетонной массы, закрытия термопокрывала и заканчивая прогревом бетона. Бетон, уложенный в форму, не передвигается ни по горизонтали, ни по вертикали, тем самым обеспечиваются благоприятные условия для гидратации цементного камня; в изделии не образуется во время этого процесса никаких волосяных, наружных и внутренних трещин, т. е. создаются условия для получения высокопрочных несущих конструкций.

Качество выпускаемых железобетонных изделий – главный критерий российской технологии СМК.

Для достижения поставленных Правительством РФ целей, отраженных в «Стратегии развития промыш-

ленности строительных материалов», планируется стимулирование внутреннего спроса на продукцию промышленности строительных материалов «за счет осуществления дорожного строительства с использованием цементабетона». Согласно решению Экспертного Совета от 16.03.2015 г., проведенного с участием представителей Московского автодорожного института (МАДИ) и Института материаловедения и эффективных технологий (ИМЭТ), г. Москва, было предложено использовать для строительства дорог преднапряженные пазогребневые плиты, изготовленные промышленным способом на универсальных технологических линиях, выпускаемых ГК «Рекон-СМК». Круглогодичное строительство дорог на любом грунте (песок, болото и т. п.) с использованием преднапряженных плит и с учетом увеличения срока эксплуатации дорожного полотна без ремонта будет иметь рентабельность в 5–6 раз выше по сравнению с дорогами, строящимися по асфальтобетонной технологии. Возможности технологии СМК позволяют удвоить объемы дорожного строительства.





РЕКОН - СМК
ГРУППА КОМПАНИЙ
ПРОЕКТ-ЗАВОД-СТРОЙКА-ПАТЕНТ



ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

РЕКОН
ЧЕБОКСАРЫ

WWW.REKON-SMK.RU

WWW.REKON-TECH.RU

ЗАО «РЕКОН»
428003, г. Чебоксары, Дорожный пр., 20а
zao.rekon@mail.ru +7 (8352) 64-72-59

Реклама



Рис. 7. Универсальный стэнд с автоматическим открыванием бортов, универсальным вибробетонукладчиком с конусным бункером с поперечным и вертикальным перемещением с адресной подачей бетона по выпуску «НС», г. Хойники, Республика Беларусь; г. Чебоксары, Россия. ЗАО «РЕКОН». 2015 г.

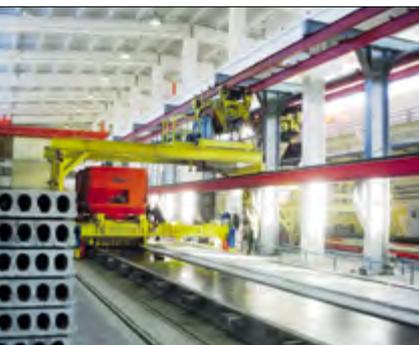


Рис. 8. Автоматизированный комплекс БСУ с адресной подачей, слипформером $a=1,5$ м и универсальным стэндом, г. Чебоксары

Рис. 9. Автоматизированный завод ЗАО «РЕКОН» с двумя универсальными стэндами, БСУ, адресной подачей, раздатчиком-накопителем длиной 18 м, мощностью 100 тыс. м² зданий сборно-монолитного каркаса с пустотным настилом. 2015 г., г. Советский, ХМАО. ООО «Атлант»

Рис. 10. Фрагмент фасада здания с СМК и трехслойной «НС» высокой заводской готовности с отделкой фибробетоном. 2015 г., г. Чебоксары. ГК «Рекон-СМК»

Доказательством **универсальности** выпускаемых ГК «Рекон-СМК» технологических линий является изготовление четырехслойных конструкций наружной стеновой панели «НС», которые обеспечивают теплозащитные свойства наружной стены, звукоизоляцию, высокую архитектурную выразительность и отсутствие явлений остаточной влаги («точка росы»), имея гарантию **более 50 лет**. Отличие от других технологий: свежесложенный бетон никуда не передвигается до полной гидратации цементного камня, обеспечивая тем самым **высокую плотность и качество бетонной поверхности фасада и тела бетона**. Возможны различные способы оформления наружных стеновых панелей: облицовка из каменной крошки или керамики, архитектурный бетон, покраска и др.

Специальное предложение ГК «Рекон-СМК» (г. Чебоксары) для малых городов – это изготовление за 2 мес универсальной технологической линии «Мини-ДСК» мощностью 15 тыс. м² общей площади в год. Характеристика «Мини-ДСК»: полная номенклатура ЖБИ; площадь цеха – 720 м²; численность персонала – 10 чел.; потребляемая мощность электроэнергии – 100 кВт/ч. При наличии рынка сбыта возможно увеличение мощности «Мини-ДСК» в 2–3 раза.

Специалисты ГК «Рекон-СМК» проводят обучение методам проектирования и строительства, а также способам изготовления ЖБИ по технологии СМК. В соответствии со «Стратегией Правительства РФ по развитию промышленности строительных материалов» для



Рис. 11. Мини-ДСК мощностью 15–20 тыс м² общей площади каркаса зданий в год в составе БСУ, адресная подача, вибробетонукладчик, универсальный стэнд с сердечниками со встроенными магнитами, размотчик чехла с термопокрывалом, г. Чебоксары, ЗАО «РЕКОН». Срок исполнения 1,5 мес



Рис. 12. Формование преднапряженных пазогребневых плит с постнапряжением на универсальном стэнде с применением универсального вибробетонукладчика. Октябрь 2014 г., г. Чебоксары. ОАО «Монолитстрой»



Рис. 13. Строительство участка дороги с применением преднапряженных пазогребневых дорожных плит. Сентябрь 2014 г., г. Чебоксары, ЗАО «РЕКОН»

поддержки отечественной базы машиностроения путем создания новых производств и модернизации действующих производств, а также разработки альтернативных вариантов комплектования оборудованием при заданной технологии производства и номенклатуре выпускаемой продукции планируется организовать отраслевой инженеринговый центр «Оборудование и технологии». Для выполнения поставленных Правительством РФ перед строителями задач ГК «Рекон-СМК» (г. Чебоксары) предлагает проекты строительства заводов с поставкой изготовленных на ЗАО «Рекон» (г. Чебоксары) универсальных технологических линий по выпуску полной номенклатуры ЖБИ из предварительно напряженного и ненапряженного железобетона мощностью 50–200 тыс. м² общей площади в год.

В качестве альтернативного варианта комплектования технологической линии ЗАО «Рекон» (г. Чебоксары) готово дооснастить более 80 работающих по технологии СМК заводов ЖБИ оборудованием по выпуску дорожных плит и иных сборных элементов для строительства дорог.

Технология СМК способна выполнить цели и задачи, поставленные Правительством РФ, — обеспечить внутренний и внешний рынки качественными, доступными и энергоэффективными строительными материалами российского производства, снизить зависимость от зарубежных технологий, оборудования и компонентов.

Список литературы

1. Николаев С.В., Шрейбер А.К., Хаютин Ю.Г. Инновационные системы каркасно-панельного домостроения // *Жилищное строительство*. 2014. № 5. С. 3–5.
2. Николаев С.В., Шрейбер А.К., Этенко В.П. Панельно-каркасное домостроение — новый этап развития КПД // *Жилищное строительство*. 2015. № 2. С. 3–7.
3. Николаев С.В. Возрождение домостроительных комбинатов на отечественном оборудовании // *Жилищное строительство*. 2015. № 5. С. 4–8.
4. Николаев С.В. Панельные и каркасные здания нового поколения // *Жилищное строительство*. 2013. № 8. С. 2–9.
5. Шембаков В.А. Сборно-монолитное каркасное домостроение. Чебоксары, 2013.
6. Семченков А.С. Регионально-адаптированные сборно-монолитные строительные системы для

многоэтажных зданий // *Бетон и железобетон*. 2013. № 3. С. 9–11.

7. Ярмаковский В.Н., Семченков А.С., Козелков М.М., Шевцов Д.А. О ресурсоэнергосбережении при использовании инновационных технологий в конструктивных системах зданий в процессе их создания и возведения // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. Т. 1. С. 209–215.
8. Шембаков В.А. Технология сборно-монолитного домостроения СМК в массовом строительстве России и стран СНГ // *Жилищное строительство*. 2013. № 3. С. 26–29.

References

1. Nikolaev S.V., Shreiber A.K., Khayutin Yu.G. Innovative systems of frame and panel housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 5, pp. 3–5. (In Russian).
2. Nikolaev S.V., Shreiber A.K., Etenko V.P. Panel and frame housing construction — a new stage of development of efficiency. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 2, pp. 3–7. (In Russian).
3. Nikolaev S.V. Revival of House Building Factories on the Basis of Domestic Equipment. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 2, pp. 4–9. (In Russian).
4. Nikolaev S.V. Panel and Frame Buildings of New Generation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 8, pp. 2–9. (In Russian).
5. Shembakov V.A. Sbornno-monolitnoe karkasnoe domostroenie [Combined and monolithic frame housing construction]. Cheboksary, 2013.
6. Semchenkov A.S. Regional adapted combined and monolithic construction systems for multystoried buildings. *Beton i zhelezobeton*. 2013. No. 3, pp. 9–11.
7. Yarmakovskiy V.N., Semchenkov A.S., Trestles M.M., Shevtsov D.A. About energy saving when using innovative technologies in constructive systems of buildings in the course of their creation and construction. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3, Vol. 1, pp. 209–215. (In Russian).
8. Shembakov V.A. Technology of Precast and Cast-in-Situ Housing Construction SMK in Mass Construction of Russia and Country-Members of Commonwealth of Independent States (CIS). *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 3, pp. 26–29. (In Russian).



Региональный лидер строительной отрасли России – ОАО «ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ № 1»

ООО «Железобетонные конструкции № 1» – это ведущее предприятие строительной индустрии Чувашии по производству сборных железобетонных и бетонных конструкций, имеющее многолетний безупречный опыт в работе. Использование новейших технологий и грамотный подбор высококлассных специалистов вывели компанию на передовые позиции в области производства строительных материалов.

Regional Leader of Building Industry of Russia – ООО «REINFORCED CONCRETE STRUCTURES № 1»

ООО «Reinforced Concrete Structures № 1» is the leading enterprise of the building industry of Chuvashia for producing pre-cast reinforced concrete and concrete structures with years of impeccable experience in the work. The use of the newest technologies, competent selection of high-class specialists led the company to the forefront in the field of building material production.

ОАО «ЖБК-1» расположено в городе Чебоксары – столице Чувашской Республики и ведет свою многолетнюю историю с 1962 г., когда основу предприятия составил завод ЖБИ при Чебоксарском хлопчатобумажном комбинате, имущественный комплекс которого был выкуплен ОАО «Чувашэнерго» в 1998 г. у ООО «Атон». Завод успешно работал, как и все предприятия строительного комплекса, в условиях плановой экономики. Коллективу предприятия удалось преодолеть череду банкротств и смен собственников в 1990-е гг. 9 апреля 2008 г. ОАО «Чувашэнергоспецремонт» было переименовано в ОАО «Железобетонные конструкции № 1». Новый импульс развития ОАО «ЖБК-1» получил в 2004 г., когда была проведена реконструкция следующих производственных мощностей:

2005 г. – технологическая линия по производству элементов сборно-монолитного каркаса (ригеля и колонны);

2006 г. – ввод в строй линии производства и отгрузки товарного бетона и раствора мощностью 30 тыс. м³/год;

2008 г. – вторая технологическая линия по производству элементов сборно-монолитного каркаса (ригеля и колонны);

2009 г. – создан формовочный цех № 2, где смонтирован универсальный широкий стенд, позволяющий изготавливать широкий диапазон сборных железобетонных конструкций, таких как, стеновые панели, сваи,

диафрагмы жесткости, балконные плиты, шахты лифтов, элементы сборно-монолитного каркаса (колонны, плиты опалубки) и другие индивидуальные изделия;

2010 г. – на базе формовочного цеха № 2 смонтирован вибропресс, позволяющий изготавливать керамзитобетонные блоки, бордюрные камни, тротуарные плитки методом объемного прессования.

Менеджмент предприятия видит одной из стратегических целей постоянный процесс модернизации оборудования завода и сохранение накопленного десятилетиями технологического опыта. В 2016 г. в ОАО «ЖБК-1»





завершена масштабная модернизация производства: построен комплекс зданий и сооружений, обеспечивающий изготовление многопустотных плит перекрытия стеновым способом методом экструзии на оборудовании итальянской фирмы Nordimpianti. При этом объем инвестиций составили более 400 млн р. Совместно со специалистами итальянской фирмы Nordimpianti установлено современное оборудование – технологические линии, которые открывают новые возможности для строительной сферы как в Чувашии, так и за ее пределами.

Метод экструзии хорошо известен во всем мире и считается наиболее эффективным и экономически выгодным. Экструзионная машина формует изделия за один проход, используя метод экструзии без необходимости вибрации, таким образом сводя шум машины до минимума. Бетон проталкивается в пространство вокруг формовочных труб с помощью шнеков, что обеспечивает отличный уровень уплотнения в каждой точке вдоль изделия. Формовочные трубы и боковые формующие устройства создают форму и пустоты изделия.

При реализации проекта модернизации большое внимание уделялось автоматизации производственных процессов. Так, загрузка расходных бункеров инертными материалами и цементом, приготовление бетонной смеси (с требуемыми характеристиками по прочности и подвижности), формовка многопустотных плит методом экструзии контролируются автоматикой.

На сегодняшний день **ОАО «ЖБК-1» обладает уникальными возможностями** по производству многопустотных плит перекрытия толщиной 220 мм, шириной

1,5; 1,2 и 1 м и пролетом до 10,5 м различных типов нагрузок. Данная технология позволяет также при необходимости производить плиты различных толщин и пролетов.

В цеху разместили семь формовочных дорожек. При полной загрузке завод сможет производить в год 270 тыс. м² перекрытий.

Отличительной чертой ОАО «Железобетонные конструкции № 1» является гибкость в работе с клиентами, жесткое выполнение договорных сроков поставки железобетонных конструкций, постоянное совершенствование качественных характеристик выпускаемой продукции. В настоящее время ведутся работы по освоению новых технологий производства сборных железобетонных конструкций, значительно повышающих их потребительские свойства по сравнению с традиционными конструкциями.

ОАО «ЖБК-1» активно работает над расширением продуктовой линейки в области каркасного домостроения из сборного железобетона.

Гордость ОАО «ЖБК-1» — уникальная возможность производства плит высотой сечения 500 мм и пролетом до 21 м для строительства промышленных и общественных зданий.

Современное оборудование с компьютерным управлением и дозаторными устройствами позволяет выпускать бетонные смеси любого состава с гарантией их высокого качества. Ежедневный контроль качества выпускаемой продукции осуществляется действующей при заводе собственной специализированной строи-





тельной лабораторией, аккредитованной Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии. Лаборатория осуществляет контроль качества входящих материалов и далее контроль качества продукции от начала замеса до укладки на строительных объектах. Таким образом, производственный процесс ОАО «ЖБК-1» направлен на соответствие современным требованиям рынка стройиндустрии.

В настоящее время ОАО «ЖБК-1» – это современное многопрофильное предприятие, осуществляющее весь комплекс изготовления и доставки продукции своим заказчикам, которое имеет обширную инфраструктуру: автоматизированные формовочные линии, погрузочное оборудование, удобные подъездные пути, как для автомобильного, так и для железнодорожного транспорта.

Для изготовления продукции ОАО «ЖБК-1» берутся лучшие экологически чистые материалы. Железобетонные изделия и конструкции соответствуют действующим требованиям нормативных документов. Проходят в неукоснительном порядке контрольное испытание технических величин. Производство изделий выполняется с применением современных противоморозных и пластифицирующих добавок.

Это обеспечивает их безопасное и долгое использование в суровых российских климатических условиях.

В ОАО «ЖБК-1» создана обширная материально-техническая база, штат квалифицированных работников. Компания благодаря налаженным бизнес-процессам успешно осуществляет производственный цикл, начиная с подготовки технического проекта, заканчи-

вая перевозкой к заказчику готовой продукции, которая изготавливается в соответствии с типовыми серийными решениями, а также по индивидуальным проектам.

Почему железобетонные изделия ОАО «ЖБК-1» лучше других? Продукция ОАО «ЖБК-1» обладает рядом преимуществ, к которым относятся:

- наличие собственного производства позволяет осуществлять контроль над процессом изготовления продукции, качеством материалов, условиями хранения. ОАО «ЖБК-1» несет ответственность за качество выпускаемых изделий и сроки их выпуска;
- использование цемента высокого качества – применяется только цемент ЦЕМ I 42,5. Он закупается у завода-производителя, имеющего соответствующий сертификат. На складе производства цемент обновляется каждую неделю, сохраняя физико-химические свойства;
- наличие собственного склада ЖБИ и конструкций в Чебоксарах. Часто покупателям других производителей необходимо ждать заказанную ими продукцию на протяжении нескольких недель. ОАО «ЖБК-1», чтобы сэкономить время наших клиентов, хранит на собственном складе ходовой товар.

Благодаря этим преимуществам продукция ОАО «ЖБК-1» всегда высокого качества! Слаженность и профессионализм коллектива позволяют выполнять работы любой сложности на высочайшем уровне и в кратчайшие сроки!

Завод ОАО «ЖБК-1» непрерывно наращивает производственные мощности и проводит техническое перевооружение. Свое развитие завод ведет в наиболее перспективном направлении – внедрение в производство продукции для сборного монолитно-каркасного домостроения.

ОАО «ЖБК-1» с каждым годом укрепляет свои позиции на строительном рынке. Существенный вклад деятельности ОАО «ЖБК-1» направлен на реализацию благотворительных, социальных программ и духовное возрождение общества. Растет объем и номенклатурный перечень производства железобетонных изделий, и география поставок. В настоящее время у фирмы более 200 деловых партнеров. Заказы по комплектации железобетонными изделиями поступают не только из Чувашии, но и из соседних регионов: Республики Мордовия, Ульяновской области, Нижегородской области, Республики Татарстан.

В самое ближайшее время ЖБК-1 планирует выйти на полную производственную мощность!



Первая линия по производству пустотных плит компании Nordimpianti в Якутии

Компания «Сокол» осуществила успешный ввод в эксплуатацию производственной линии по выпуску пустотных плит перекрытия из предварительно напряженного железобетона на оборудовании Nordimpianti в поселке Мохсоголлох, Республика Саха (Якутия). Применение сборного железобетона для строительства зданий и сооружений различного назначения чаще всего обосновано прежде всего высокими темпами строительства, более низкими затратами человеческого труда на строительной площадке и возможностью проводить строительные-монтажные работы в более широком диапазоне погодных и температурных условий (по сравнению с монолитным способом).

«Sokol» Co. has carried out the successful commissioning of production lines for the production of hollow core slabs of pre-stressed concrete at the equipment of Nordimpianti Co. in the settlement of Mokhsogollokh, Sakha Republic (Yakutia). The use of pre-cast reinforced concrete for construction of buildings and structures of various purposes is more often substantiated, first of all, by fast pace of construction, lower cost of human labor on a construction site and possibility to carry out building-assembling works within a wide range of weather and temperature conditions (comparing with the monolithic method)

Эти параметры и стали ключевыми при принятии решения о расширении производства на заводе «Сокол», расположенном в поселке Мохсоголлох недалеко от Якутска. Пустотная плита перекрытия – продукт не новый, и производство этих изделий на заводе существовало уже давно (с 1965 г.). Но все возрастающие потребности в сборном железобетоне и стремление перейти на качественно новый уровень производства пустотных плит подтолкнули руководство завода «Сокол» обратить внимание на современные методы безопасного производства предварительно напряженных многопустотных плит перекрытия.

Завод был основан в 1957 г. как Бестяхский завод промстройматериалов. Создание и развитие завода прочно связаны с началом развернутого строительства жилья и промышленных зданий в условиях вечной мерзлоты. Рынок Якутска требовал все большее количество строительных материалов, и поэтому завод активно развивался. Так, с 1967 г. налажен выпуск керамзитового гравия, а в 1970 г. – начат выпуск изделий для крупнопанельного домостроения. В 2003 г. завод был преобразован в общество с ограниченной ответственностью «Сокол». В настоящее время ООО «Сокол» предлагает широкий выбор из более чем 100 наименований продуктов, охватывающих широкий спектр сборных железобетонных элементов: сваи, плиты (в том числе – перекрытия), прогоны; лестничные ступени; бордюры, опорные плиты, диафрагмы, блоки/полублоки и т.д.

Имея практически 60-летний опыт в производстве строительных материалов в целом и сборного железобетона в частности, «Сокол» является одной из ведущих компаний в строительной индустрии Якутии. Уделяя особое внимание качеству и надежности производимых продуктов, «Сокол» стал надежным партнером для тысячи инвесторов.

Занять лидирующие места на рынке строительных материалов компания «Сокол» смогла, следуя трем принципам управления: справедливость, надежность и инновации. Так, большое внимание на заводе уделяется вопросам повышения качества выпускаемой продукции. Современные технологии производства, а также тщательно разработанная и внедренная на предприятии система контроля позволяют гарантировать стабильно высокое качество продукции на всех стадиях изготовления, начиная от контроля качества входных материалов и заканчивая контролем готовых изделий. Таким образом, полностью исключается выпуск недоброкачественной продукции. Стратегия развития завода — максимально усовершенствовать оборудование, увеличить объемы производства железобетонных изделий, поддерживать высокое качество ЖБИ, опираясь не только



Первая линия компании Nordimpianti в Якутии – наиболее близкая к Полярному кругу

на вложение инвестиций, но и на богатейший опыт и знания своих сотрудников, обеспечивающих выпуск конкурентоспособной продукции.

Одна из последних инициатив, направленная на выполнение стратегии, принятой на предприятии, – создание производственного участка для выпуска предварительно напряженной пустотной плиты методом безопасного формования. Замена агрегатно-поточной технологии изготовления железобетонных конструкций на безопасное формование — общемировая тенденция, позволяющая не только улучшить качество продукции, но и заметно расширить ее ассортимент, увеличив на порядок номенклатуру выпускаемых изделий. Это особенно востребовано в странах СНГ и Восточной Европы, на этапе экономических реформ переживающих, пусть и несколько «приглушенный» кризисными явлениями последних лет, строительный бум.

Знакомство ООО «Сокол» с компанией Nordimpianti состоялось в 2012 г. – тогда компания начала переговоры с различными поставщиками оборудования для производства пустотных плит безопасным методом.

Специалисты ООО «Сокол» изучили различные варианты, присутствующие на рынке оборудования, а также провели тщательный анализ решений, которые были предложены и реализованы в других странах. Выбор партнеров для поставки оборудования был весьма непростым. До принятия окончательного решения техническим персоналом ООО «Сокол» было посещение множества производственных объектов и выставок в различных странах. В частности, в 2013 г. специалисты компании посетили один из крупнейших



Два производственных станда безопалубочного формования – первый шаг в развитии современной линии по производству преднапряженных изделий на заводе «Сокол»



Директор ООО «Сокол» Р. Еремеев показывает качество первой пустотной плиты во время ввода в эксплуатацию машин



Идеальное качество наружной поверхности изделий

заводов по производству сборного железобетона в Украине – Бетонкомплекс, расположенный в Киеве и входящий в состав промышленно-строительной группы «Ковальская».

Одним из непростых вопросов для специалистов и руководства ООО «Сокол» стал выбор между технологиями производства пустотных плит перекрытия – Экструдером, Слипформером или Виброформованием. Каждая технология имеет свои достоинства и недостатки. Однако, после посещения завода в Киеве выбор был сделан однозначно в пользу экструдерной технологии – ведь благодаря детальным разъяснениям со стороны специалистов завода Бетонкомплекс, имеющим опыт работы с экструдерами уже более 5 лет, и технической поддержке со стороны компании Nordimpianti руководитель ООО «Сокол» сделал свой выбор и отверг все сомнения.

Со слов Радиона Еремеева, директора ООО «Сокол», пустотные плиты все чаще являются важнейшей составляющей инвестиционных проектов, уникальными элементами, работающими в особых условиях в каждом строительном проекте, а потому требующими индивидуального подхода. Осознавая ограниченность возможностей агрегатно-поточной технологии, был инициирован запуск первой экструдерной линии Nordimpianti, который преследовал сразу несколько целей. В первую очередь — существенное расширение номенклатуры продукции и принципиальное улучшение ее качества.

Экструдер Nordimpianti – машина, специально разработанная для производства пустотных плит перекрытия, позволяющая выпускать эти изделия и обладающая следующими преимуществами (относительно других методов производства плит):

- высокое уплотнение бетона;
- низкое содержание цемента на 1 м^3 бетона;
- низкие затраты на обслуживание машины;

- высокая степень обжатия арматуры бетоном;
- простое управление машиной;
- идеальные наружные поверхности выпускаемой плиты;
- короткое время набора прочности бетона и низкие затраты на термовлажностную обработку.

В частности, это подтвердилось специалистами компании «Бетонкомплекс»: в летнее время прогрев плит, произведенных на экструдере, не производится, а естественное созревание бетона до набора необходимой прочности длится менее 12 ч). В суровых условиях резко-континентального климата и вечной мерзлоты этот фактор оказался практически решающим.

Остановившись на экструзионной технологии производства пустотных плит, технические специалисты ООО «Сокол», также высоко оценили неоспоримые преимущества экструдера Nordimpianti: трансмиссионный блок, полностью погруженный в масляную ванну; минимальное количество открытых движущихся частей; составные шнеки для уплотнения бетона; комбинированная система уплотнения бетона с возможностью регулировки каждой фазы; гальванизированные элементы машины и пр.

Благодаря эффективным конструктивным решениям, экструдер Nordimpianti исключает риск производства некачественных изделий – арматуру в проектом положении удерживает распределяющая пластина в непосредственной близости перед шнеками, а значительная масса машины – около 8 т обеспечивает надежное сцепление бетона с арматурой при его укладке на стенд и точную геометрию изделия. Кроме того, в главной формовочной машине применяется инновационное решение от Nordimpianti – шнеки, состоящие из двух частей. Это решение позволяет значительно сократить расход быстроизнашивающихся рабочих частей машины, ведь теперь, вместо того чтобы менять полностью изношен-



Геометрия плиты, отформованной на экструдере Nordimpianti на высочайшем уровне

ный шнек, меняется только его последняя часть. Таких замен можно произвести 3–4 до того как придется заменить полностью шнек.

К сожалению, экономические реалии и ситуация на мировом строительном рынке внесли свои коррективы. Но тем не менее в сентябре 2015 г. был заключен контракт и началось финансирование новой производственной линии. Было принято решение осуществлять полномасштабную модернизацию в несколько этапов. Полнокомплектная линия рассчитана на применение четырех производственных станков с набором машин и механизмов, обеспечивающих выпуск пустотной плиты в объеме 520–650 м² плит в сутки.

Первый этап линии был введен в эксплуатацию в августе 2016 г., состоит он из двух формовочных станков длиной по 114 м каждый с реакционными упорами, обеспечивающими восприятие усилия от обжатия предварительно напряженной арматуры до 300 т. Кроме того, в комплект поставки входил набор вспомогательных машин – системы для предварительного напряжения арматуры, машины для поперечной распиловки готовых изделий, траверсы с комплектами захватов для изделий.

Обучение штата компании и ввод в эксплуатацию производственной линии были осуществлены специалистами Nordimpianti менее чем за две недели. Технические специалисты компании Nordimpianti совместно со специалистами ООО «Сокол» провели множество работ по правильному подбору инертных материалов, проектированию состава бетона, подбору режимов формования изделий и т. д. И как результат их командной работы – ни один квадратный метр с момента тестовых формовок плиты не был признан бракованным!

Осуществление инновационного проекта модернизации производства ООО «Сокол» – это результат партнерского сотрудничества компаний, объединяющих в себе производственный опыт, многолетнее присутствие



Командная работа первоклассных специалистов Nordimpianti и персонала ООО «Сокол» – залог высокого качества продукции

на рынке и чуткое следование потребностям заказчика. Стоит заметить, что реализация этого проекта осуществлялась компанией Nordimpianti совместно с компанией Anton Ohlert, представители которой находятся в Москве, и именно благодаря плодотворному сотрудничеству всех участников потребности ООО «Сокол» были удовлетворены полностью.

Одной из основных стратегий развития компании Nordimpianti является сотрудничество с местными партнерами в различных странах мира. Nordimpianti имеет более 40 представителей по всему миру. Столь широкая сеть представителей позволяет Nordimpianti быть ближе к конечному потребителю и предлагать постоянные и надежные услуги в течение всего времени работы производства.

Обе компании невероятно удовлетворены результатом: ООО «Сокол», которая реализовала свой инновационный проект, вышла на рынок с высококонкурентным продуктом и нашла для себя надежного партнера, готового оказать любую поддержку в любое время; компания Nordimpianti, успешно запустила новую линию (первую линию Nordimpianti в Якутии), открывающую новые горизонты на рынке с огромным строительным потенциалом.

nordimpianti Concrete Experience...

Nordimpianti System SRL
Via Erasmo Piaggio, 19/A 66100 Chieti (CH) – Abruzzo, Italy
T +39 0871 540222 F +39 0871 562408
Andrey Borisenkov | Sales Export Manager
Mob. +39 335 64 98 388
+7 926 49 87 286 + 380 50 424 14 19
info@nordimpianti.com www.nordimpianti.com

ROCKBAR®

Компания «Гален» провела армирование верхнего слоя фундаментной плиты 17-этажного здания в Подмосковье с помощью стеклопластиковой арматуры **ROCKBAR®-G**.



Преимущества

- Абсолютная коррозионная стойкость, щелочестойкость
- Низкая теплопроводность
- Немагнитный материал
- Абсолютная экологичность и пожаробезопасность
- Легкость
- Высокая прочность
- Долговечность
- Диэлектрик

ДЕТАЛИ ПРОЕКТА:

Арматура **ROCKBAR®-G** Ø15 мм заменила стальную арматуру класса А500С Ø20 мм при армировании фундаментной плиты 17-этажного здания

	Ø	длина арматуры	вес
Арматура ROCKBAR®-G	Ø=15 мм	22.674 м	8014 кг
Арматура А500С	Ø=20 мм	22.674 м	56004 кг

Результаты применения арматуры **ROCKBAR®-G**

- снизились издержки
- сократились логистические расходы
- уменьшилось время строительно-монтажных работ

Технические характеристики

Наименование характеристики	Базальтопластиковая арматура ROCKBAR-B	Стеклопластиковая арматура ROCKBAR-G
Прочность при растяжении, не менее	1 300 МПа	1 000 МПа
Модуль упругости при растяжении, не менее	50 000 МПа	50 000 МПа
Плотность	2,0 г/см	2,0 г/см
Теплопроводность	< 0.46 Вт/(м°С)	< 0.56 Вт/(м°С)
Удлинение при разрыве	2,2 %	2,2 %
Коэффициент линейного термического расширения	9-12	9-12
Теплостойкость	300 °С	150 °С
Электрическая проводимость	диэлектрик	диэлектрик
Коррозионная и химическая устойчивость	очень высокая	высокая
Магнитная характеристика	не намагничивается	



УДК 624

С.Г. ЕМЕЛЬЯНОВ, советник РААСН, д-р техн. наук (esg@mail.ru),
 Н.В. ФЕДОРОВА, советник РААСН, д-р техн. наук, (klynavit@yandex.ru),
 В.И. КОЛЧУНОВ, академик РААСН, д-р техн. наук (asiorel@mail.ru)

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ) (305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94)

Особенности проектирования узлов конструкций жилых и общественных зданий из панельно-рамных элементов для защиты от прогрессирующего обрушения

Приведена методология расчетного анализа живучести конструктивных систем зданий из железобетонных панельно-рамных элементов промышленного изготовления. Показано, что при расчете и проектировании несущих элементов и узлов каркаса здания по вторичной расчетной схеме после выключения одного из несущих элементов должен учитываться коэффициент динамических догрузений. Приведены примеры конструктивных решений узлов и стыков панельно-рамных элементов и плит перекрытия для снижения вероятности прогрессирующего разрушения здания при аварийных воздействиях.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, защита, живучесть конструктивных систем зданий, железобетонные панельно-рамные элементы, железобетонные элементы промышленного изготовления, каркас здания, расчет конструкций по предельным состояниям.

Для цитирования: Емельянов С.Г., Федорова Н.В., Колчунов В.И. Особенности проектирования узлов конструкций жилых и общественных зданий из панельно-рамных элементов для защиты от прогрессирующего обрушения // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 23–26.

S.G. EMELIANOV, Councillor of RAASN, Doctor of Sciences (Engineering) (esg@mail.ru), N.V. FEDOROVA, Councillor of RAASN, Doctor of Sciences (Engineering) (klynavit@yandex.ru), V.I. KOLCHUNOV, Academician of RAASN, Doctor of Sciences (Engineering) (asiorel@mail.ru)
 Southwest State University (94, 50-let Oktyabrya Street, 305040, Kursk, Russian Federation)

Design Peculiarities of Nodes of Residential and Public Buildings' Structures Made of Panel-Frame Elements for Protection against Progressive Collapse

The methodology of computational analysis of endurance of structural systems of buildings constructed of industrially manufactured reinforced concrete panel-frame elements is presented. It is shown that, when calculating and designing bearing elements and nodes of the building frame according to the secondary calculation scheme after breakdown one of the bearing elements, the coefficient of dynamic additional loading should be taken into account. Examples of structural solutions of nodes and joints of panel-frame elements and floor slabs for reducing the probability of progressive collapse of the building under emergency impacts are presented.

Keywords: progressive collapse, protection, durability of structural systems of buildings, reinforced concrete panel-frame elements, industrially manufactured reinforced concrete elements, building frame, calculation of structures according to limit states.

For citation: Emelianov S.G., Fedorova N.V., Kolchunov V.I. Design peculiarities of nodes of residential and public buildings' structures made of panel-frame elements for protection against progressive collapse. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 23–26. (In Russian).

В последние годы во многих странах существенно изменились требования к проектированию несущих конструкций зданий и сооружений. В России с принятием Федерального закона ФЗ 384 «Безопасность зданий и сооружений. Технический регламент» и актуализированной редакции ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» наряду с традиционным расчетом конструкций по предельным состояниям требуется расчет конструктивной системы на аварийное воздействие, вызванное внезапным выключением одного из несущих элементов [1–4] и др. Методология такого расчета до настоящего времени по ряду причин носит дискуссионный характер, но, несмотря на это, в некоторых странах активно создаются методы и нормативная база для проектирования конструкций зданий, предусматривающие их защиту от прогрессирующего обрушения, и в первую очередь для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности [5–7].

В основу этих методов положена идея допустимости локального разрушения части здания, но при этом ограничиваются размеры зоны разрушения. Далее производится расчет здания по так называемой первичной расчетной схеме, затем назначаются возможные выключаемые элементы, и на этой основе строится так называемая вторичная расчетная схема. Производится расчет здания по вторичной расчетной схеме и определяются усилия в измененной конструктивной системе. Результатом рас-

чета по вторичной расчетной схеме является определение новых измененных (по отношению к проектным) силовых потоков в конструктивной системе здания после ее структурной перестройки, вызванной удалением из первичной расчетной схемы несущего вертикального или горизонтального элемента. Обеспечение прочности оставшихся неразрушенных конструкций конструктивной системы здания в запрельном состоянии, на уровне их геометрической неизменяемости достигается расчетом и соответствующим конструированием этих конструкций и узлов их соединения. При этом важнейшей задачей расчетного анализа является задача определения динамических догрузений в элементах конструктивной системы. При внезапной структурной перестройке конструктивной системы и соответственно расчетной схемы из первичного статического состояния во вторичное динамическое состояние все конструктивные элементы и узлы их соединения получают динамические догрузения [8, 9].

Коэффициент динамических догрузений θ в сечении элемента конструктивной системы после ее внезапной структурной перестройки определяется как отношение обобщенного усилия, действующего в этом сечении во вторичной расчетной схеме (после выключения из системы одного из элементов) к усилию в этом же сечении в исходной (первичной), расчетной схеме (рис. 1). Количественные значения этих догрузений зависят от материала конструкций, характера деформиро-

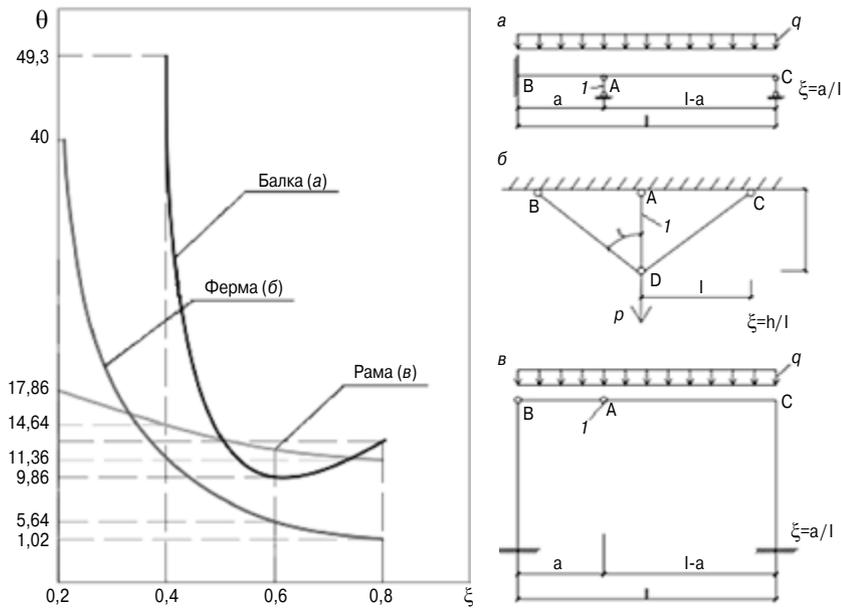


Рис. 1. График зависимости « θ - ξ » в сечении А для стержневых систем: а – балка; б – ферма; в – рама; 1 – выключаемый элемент; q и P – соответственно распределенная и сосредоточенная нагрузки

вания сечений конструкций, топологических особенностей конструктивной системы, местоположения выключаемого элемента и рассматриваемого расчетного сечения в оставшихся неразрушенными элементах конструкции.

Анализируя полученные графики изменения коэффициента динамических догрузений θ для трех характерных типов конструкций в зависимости от параметра топологии конструктивной системы ξ , можно видеть влияние этого параметра. Причем для разных типов рассматриваемых конструктивных систем это значительное влияние существенно отличается: максимально оно проявляется в балке и ферме и существенно меньше в раме. Исходя из этих усилий должно производиться конструирование несущих конструкций здания и узлов их сопряжения для снижения вероятности прогрессирующего разрушения.

Описанная и применяемая в настоящее время схема расчетного анализа для защиты здания от прогрессирующего разрушения имеет как минимум два принципиальных недостатка.

Первый состоит в том, что назначение выключаемых элементов для различных типов зданий производится исходя из опыта проектировщика и, естественно, носит в известной степени субъективный характер. Второе – назначение выключаемых элементов, как правило, связывают с конкретным типом здания (каркасное, панельное, сборное, кирпичное и др.) и технологиями его исполнения (монолитное, сборное, сборно-монолитное). По этому принципу были разработаны все имеющиеся в стране и за рубежом нормативные и рекомендательные документы [5–7, 10–13].

Несмотря на названные недостатки, а также крайне ограниченное экспериментальное обоснование предлагаемых решений, некоторые общие принципы конструирования зданий для их защиты от прогрессирующего разрушения могут быть названы.

Общую устойчивость пространственной системы здания можно повысить постановкой связевых элементов по соответствующим направлениям силовых потоков, которые образуются в процессе выключения вертикальных или горизонтальных элементов системы.

Внутренние связи в конструктивной системе каркаса многоэтажного здания устанавливаются в пределах перекрытия каждого этажа в двух направлениях (рис. 2). Они должны быть прямыми и проходить непрерывно через все перекрытия от одного до другого края. При этом их необходимо соответствующим образом закрепить в связевых элементах, располагаемых по периметру здания. Для каркаса здания из панельно-рамных элементов [2] система горизонтальных связей устанавливается в пределах монолитных участков сборно-монолитных ригелей рам (рис. 2, а). Вертикальные связи, объединяющие стойки панелей рам, устанавливаются по высоте здания от нижнего до верхнего уровня перекрытий (рис. 2, б). Конструктивно их выполняют с помощью закладных деталей в стойках панелей рам и соединяют между собой стальными накладками.

Для обеспечения расчетной прочности вертикальных несущих элементов (стоек панелей рам) на растяжение они должны иметь расчетную прочность на растяжение и соответственно армирование, равное наибольшему усилию, возникающему в этом элементе от расчетной комбинации вертикальных нагрузок и передающемуся на этот элемент с обратным знаком после аварийного вы-

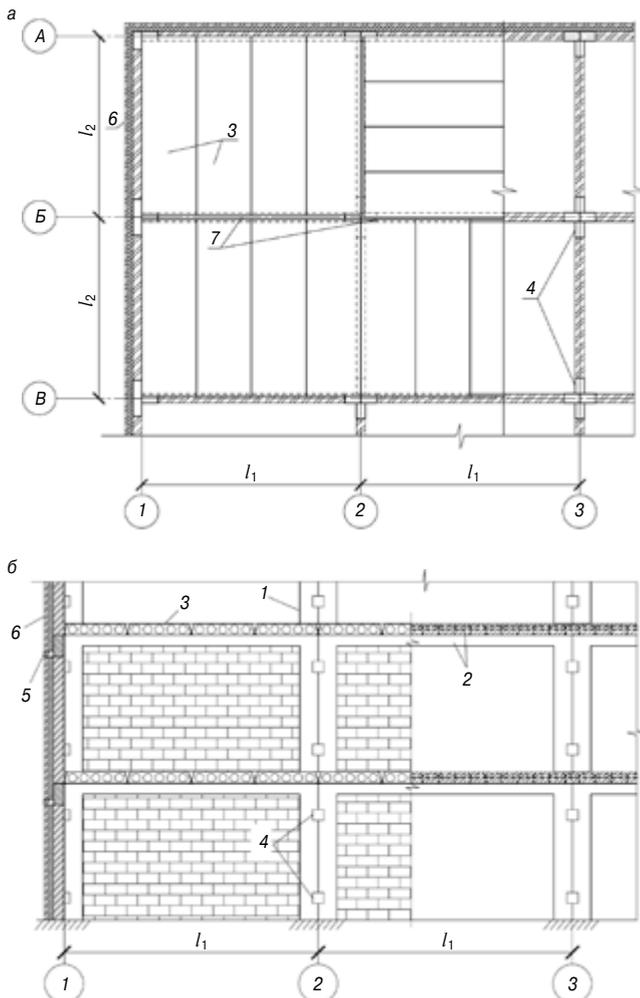


Рис. 2. Схема горизонтальных (а) и вертикальных (б) связей в многоэтажном каркасно-панельном здании: 1 – стойка панели рамы; 2 – сборно-монолитный ригель; 3 – панель перекрытия; 4 – вертикальные связи; 5 – обвязочный ригель; 6 – наружная стена; 7 – горизонтальные связи в плоскости перекрытия

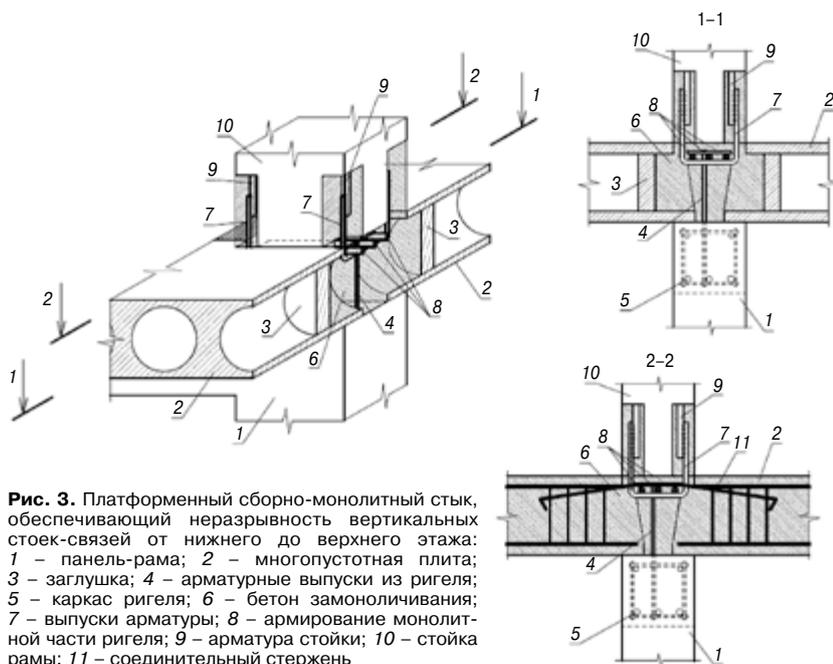


Рис. 3. Платформенный сборно-монолитный стык, обеспечивающий неразрывность вертикальных стоек-связей от нижнего до верхнего этажа: 1 – панель-рама; 2 – многоячеечная плита; 3 – заглушка; 4 – арматурные выпуски из ригеля; 5 – каркас ригеля; 6 – бетон замоноличивания; 7 – выпуски арматуры; 8 – армирование монолитной части ригеля; 9 – арматура стойки; 10 – стойка рамы; 11 – соединительный стержень

ключения из работы нижележащего элемента. Соответственно платформенный сборно-монолитный стык, обеспечивающий неразрывность вертикальных стоек-связей от нижнего до верхнего этажа, рекомендуется выполнять по схеме, представленной на рис. 3, приоритет которой защищен патентом РФ № 2589779 С1 [14].

Для снижения вероятности прогрессирующего разрушения конструктивной системы здания в результате внезапного выключения вертикальной опоры разрушение конструкции должно быть ограничено некоторой допустимой зоной, определяемой в зависимости от расположения удаляемого вертикального элемента по наружному контуру здания или внутри здания. Если выключаемая вертикальная опора расположена в пределах одного этажа внутри каркаса здания в неконтролируемой зоне первого этажа или зоне подземной парковки (например, колонна Б–2 на рис. 2, а), то локальное разрушение должно быть ограничено пролетами здания, непосредственно связанными с внезапно удаляемым вертикальным элементом (на рис. 2, а пролеты 1–2; 2–3; Н–Б; Б–В). Если вертикальная опора расположена на внешнем контуре здания (например, колонна Б-1 на рис. 2, а), то локальное разрушение должно быть ограничено пролетами здания, непосредственно связанными с удаляемой опорой (пролеты А–Б; Б–В; Б–2 на рис. 2, а). Названные критерии расчета подтверждены экспериментальными исследованиями фрагментов каркаса здания [8–9]. Аналогичные критерии приняты и нормами США при расчете зданий на прогрессирующее разрушение [5].

Для снижения вероятности прогрессирующего разрушения в результате внезапного выключения одного из горизонтальных сборно-монолитных ригелей также должны быть введены критерии зон соответствующим образом обоснованного локального разрушения каркаса здания в зависимости от расположения выключаемого элемента или сечения. Например, если выключается опорное сечение ригеля по оси Б, расположенное над стойкой Б–2 (рис. 2, а), то локальное разрушение следует ограничить двумя соседними примыкающими к этой опоре пролетами ригеля по оси Б и соответственно плитами, опирающимися на этот ригель. При выключении пролетного сечения ригеля локальное разрушение следует ограничить самим ригелем и опирающимися на него плитами смежных пролетов этих плит.

Выполнение этих критериев обеспечивается проведением расчетного анализа здания на сочетание проектных нагрузок и на запроектное воздействие в виде внезапного выключения опорного или проектного сечения ригеля. Обеспечение требуемой прочности несущих конструкций за пределами допустимой зоны локального разрушения производится усилением конструкций, расположенных за пределами этих зон. Например, в рассматриваемой конструктивной системе усиление ригелей, примыкающих к выключаемым во второй расчетной схеме пролетом, может быть выполнено постановкой дополнительной верхней и нижней арматуры, обеспечивающей необходимую прочность при изменении знака изгибающего момента с учетом динамических догрузений в сечениях рассчитываемой конструкции ригеля.

Увеличение несущей способности плит перекрытия в пролетах, примыкающих к зоне допустимого локального разрушения, выполняется постановкой

дополнительного армирования приопорных каркасов и соединительных стержней в приопорных зонах плит. Один из вариантов такого решения для рассматриваемой панельно-рамной конструктивной системы показан на рис. 3.

Приведенная методология расчетного анализа живучести конструктивных систем и особенности конструирования узлов конструкций применительно к каркасно-панельным зданиям из железобетонных панельно-рамных элементов показывает, что традиционные требования к проектированию таких зданий должны быть дополнены новыми элементами, обеспечивающими их защиту от прогрессирующего разрушения.

Список литературы

1. Травуш В.И., Колчунов В.И., Ключева Н.В. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 3. С. 4–11.
2. Колчунов В.И., Емельянов С.Г. Вопросы расчетного анализа и защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения // *Жилищное строительство*. 2016. № 10. С. 17–21.
3. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Чесноков Д.А. Защита многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 6. С. 12–15.
4. Шапиро Г.И., Гасанов А.А., Юрьев Р.В. Расчет зданий и сооружений в МНИИТЭП // *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. № 6. С. 31–33.
5. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191, 2010, 658 p.
6. Еврокод 1. Воздействия на конструкции, ч. 1–7. Общие воздействия. Особые воздействия. Белорусская редакция. Минск, 2010. 67 с.
7. Code of practice for the use of masonry, the Standards Policy and Strategy Committee, 2005. 80 p.
8. Гениев Г.А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. М.: АСВ, 2004. 216 с.
9. Колчунов В.И., Андросова Н.Б., Ключева Н.В., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: АСВ, 2014. 208 с.

10. СТО 008-02495342–2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. М.: АО «ЦНИИПромзданий», 2009. 23 с.
11. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. МНИИТЭП, 2002. 16 с.
12. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. МНИИТЭП, 2005. 76 с.
13. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. НИЦ СтаДио., 1999. 35 с.
14. Патент РФ № 289779. *Платформенный сборно-монолитный стык* / Колчунов В.И., Ключева Н.В., Филатова С.А., Мартыненко Д.В. Оpubл. 10.07.2016. Бюл. № 19.
6. Evrokod 1. *Vozdeistviya na konstruksii, chast' 1–7. Obshchie vozdeistviya. Osobyie vozdeistviya*, Belorusskaya redaktsiya. Minsk. 2010, 67 p.
7. Code of practice for the use of masonry, the Standards Policy and Strategy Committee, 2005. 80 p.
8. Geniev G.A. *Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstruksii pri zaproektnykh vozdeistviyakh* [The strength and deformability of reinforced concrete structures under beyond design impacts]: Nauchnoe izdanie. Moscow: ASV, 2004. 216 p.
9. Kolchunov V.I., Androsova N.B., Klyueva N.V., Bukhtiyarova A.S. *Zhivuchest' zdaniy i sooruzheniy pri zaproektnykh vozdeistviyakh* [Vitality buildings at beyond design impacts] Moscow: ASV, 2014. 208 p.
10. СТО 008-02495342–2009. *Predotvrashchenie progressiruyushchego obrusheniya zhelezobetonnykh monolitnykh konstruksii zdaniy* [Prevention of progressive collapse of reinforced concrete monolithic constructions of buildings] Moscow: TsNIIPromzdaniy, 2009. 23 p. (In Russian).

References

1. Travush V.I., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Some areas of survivability theory of structural systems of buildings and structures. *Promyshlennoe i gradanskoe stroitelstvo*. 2015. No. 3, pp. 4–11. (In Russian).
2. Kolchunov V.I., Emel'yanov S.G. Questions billing analysis and protection of large buildings against progressive collapse. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 10, pp. 17–21. (In Russian).
3. Kodysh E.N., Trekin N.N., Chesnokov D.A. Protection of high-rise buildings from the progressive collapse. *Promyshlennoe i gradanskoe stroitelstvo*. 2016. No. 6, pp. 12–15. (In Russian).
4. Shapiro G.I., Gasanov A.A., Yur'ev R.V. The calculation of buildings and structures in MNIITEP. *Promyshlennoe i gradanskoe stroitelstvo*. 2007. No. 6, pp. 31–33. (In Russian).
5. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191, 2010, 658 p.
11. Rekomendatsii po zashchite zhilykh karkasnykh zdaniy pri chrezvychainykh situatsiyakh, [Advice on protection of residential frame buildings in emergencies] MNIITEP, 2002. 16 p. (In Russian).
12. Rekomendatsii po zashchite monolitnykh zhilykh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya, [Advice on protection monolithic apartment buildings from the progressive collapse] MNIITEP, 2005. 76 p. (In Russian).
13. Rekomendatsii po predotvrashcheniyu progressiruyushchikh obrusheniy krupnpanel'nykh zdaniy, [Recommendations to prevent progressive collapse of large buildings] Nits Stadio., 1999. 35 p. (In Russian).
14. Patent RF 289779. *Platformennyyi sborno-monolitnyi styk* [The platform prefabricated monolithic joint]. Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Filatova S.A., Martynenko D.V. Published 10.07.2016. Bulletin No. 19. (In Russian).






Мы работаем для



ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
ЦЕМЕНТА И СУХИХ СМЕСЕЙ



ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
БЕТОНА



ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СБОРНОГО
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

ТЕС 7300

(пневматический, производительный, распыляющий, 1000Вт, 220В)



НВ 5010

(резервуарная клеевая система, 1260 Вт, 220В)



ТЕС 3400

(механический, 400Вт, 220В)



ИДЕАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЕЙ В ЖБИ-ОПАЛУБКЕ

CASTTEC — клеевая технология крепления закладных деталей в ЖБИ-производстве основана на применении термоплавкого клея CASTTEC 42-43 /CASTTEC 27-ВК и оборудования для его нанесения: ТЕС- пистолетов и клеевых систем резервуарного типа.

CASTTEC выгодно отличается от других методов фиксации закладных рядом основных факторов: производительностью; простотой применения; мобильностью; низкой трудоёмкостью и себестоимостью.

CASTTEC — клей не требует использования праймеров, схватывается практически мгновенно, легко удаляется с формы и закладных после распалубки.

CASTTEC наносится с помощью высокопроизводительных ТЕС-клеевых пистолетов в виде точек, линий или распылением и значительно упрощает и ускоряет процесс подготовки ЖБИ-изделий.

CASTTEC — эффективно «работает» (в т. ч. по смазке) на «горизонте» и «вертикали» с различными материалами: металлом, деревом, ПНД и другими пластиками, пенополистиролом, финской фанерой и деревом.

В России и СНГ **CASTTEC** клеевую технологию от Power Adhesives Ltd. представляет компания «DVI Eurotech Ltd». В производстве ЖБИ, в монтажно-строительных и отделочных операциях, в производстве окон и дверей, а также для сотен других задач соединения материалов специалисты «DVI Eurotech Ltd» всегда подберут для Вас оптимальную формулу клея.

Инженеры DVI Eurotech бесплатно проведут испытания в условиях Вашего производства и при необходимости передадут **CASTTEC** — комплект для тестовой эксплуатации на период 1-2 месяца.



Фиксация элементов электро-разводки.



Фиксация металлической закладной после нанесения CASTTEC-клея.



Фиксация пенополистирола к форме и металлической закладной к пенополистиролу.

Эксклюзивный представитель в России и СНГ



109 129, Россия, Москва
ул. Текстильщиков 8-я; дом 11
Телефон: (499) 176 8751,

Факс: (499) 176 8752
E-mail: info@dvieurotech.com
www.dvieurotech.com

PROGRESS GROUP — это больше чем поставщик технологий

На протяжении многих лет группа предприятий PROGRESS GROUP успешно работает на рынках Российской Федерации и других стран СНГ. Концерн, объединяющий в себе пять машиностроительных предприятий, одно предприятие по разработке программного обеспечения и компанию — производителя сборных железобетонных конструкций, разработал и установил в регионе десятки производственных линий с учетом индивидуальных требований каждого заказчика. Однако ключ к успеху — это непрерывное совершенствование: предприятия концерна PROGRESS GROUP постоянно инвестируют в новые разработки и решения. Конечная цель — предоставить заказчику все лучшее из одних рук, одновременно обеспечив его поддержкой в эффективном производстве железобетонных элементов самого высокого качества.

During many years the group of enterprises PROGRESS GROUP successfully works at the markets of the Russian Federation and other CIS countries. The concern which combines five machine-building enterprises, an enterprise for development of software, and a company-producer of pre-cast reinforced structures has developed and installed in the region tens production lines with due regard for individual requirements of every customer. However, the key to success is continuous improvement: enterprises of PROGRESS GROUP Concern constantly invest in new developments and solutions. The ultimate goal is to provide the customer with all the best from one source at the same time providing support in the efficient production of reinforced concrete elements of the highest quality.

Эффективность и качество — в сложной современной экономической обстановке эти два понятия играют не последнюю роль и порой являются ключевым фактором успеха работы завода по производству сборных железобетонных элементов. Наряду со строительством новых предприятий на протяжении многих лет концерн PROGRESS GROUP успешно реализует проекты по оптимизации и модернизации уже существующих мощностей. Есть множество примеров восстановления конкурентоспособности предприятий.

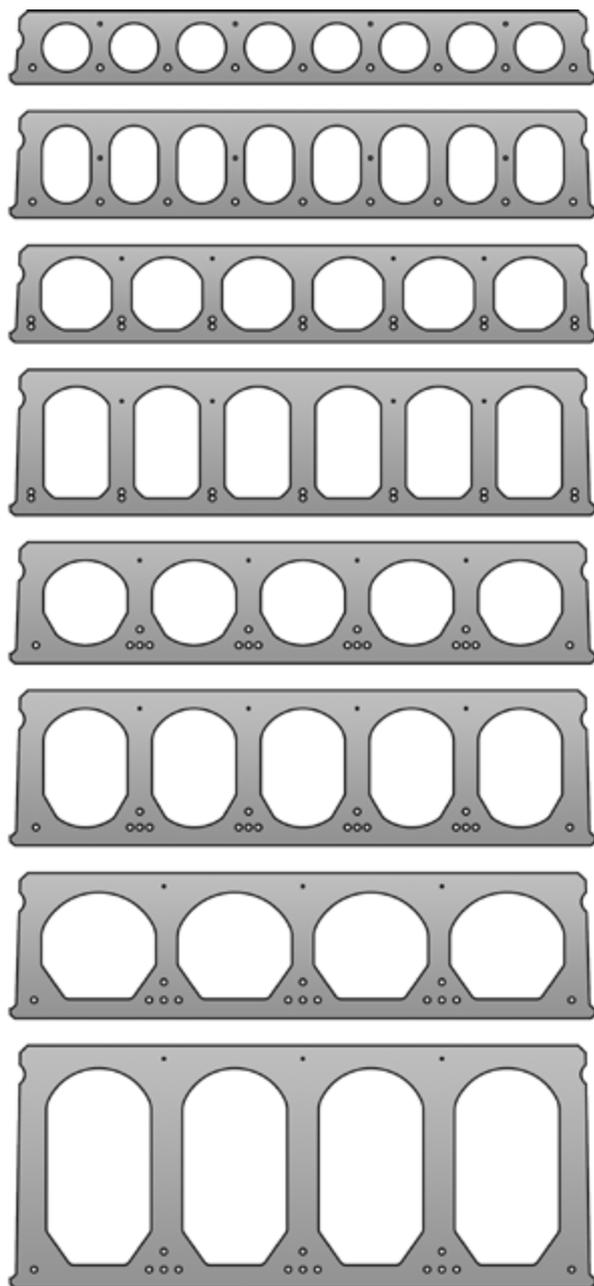
Совместно с инженерной компанией LiCon GmbH — представителем PROGRESS GROUP в странах СНГ — осуществляется очень тесное взаимодействие с заказчиком. При этом концерн PROGRESS GROUP выступает не столько в роли поставщика технологий, сколько в качестве партнера. Главный упор делается на понимание нужд и потребностей клиента, разработку соответствующих решений и техническую поддержку как в процессе, так и после ввода оборудования в эксплуатацию. Ряд новых разработок позволяет при этом существенно повысить эффективность и качество производства благодаря сравнительно небольшим инвестициям.

Экструдер серии X-Liner: новая технология уплотнения

Компания Echo Precast Engineering разработала для экструдера серии X-Liner новую технологию уплотнения Flow



Новая технология уплотнения Flow Compaction способствует эффективности и гибкости производства преднапряженных железобетонных перекрытий



С помощью новой технологии уплотнения экструдер X-Liner FC может производить более высокие преднапряженные перекрытия и гибко формировать полости



Роботизированная система Mesh Spacer осуществляет полностью автоматизированную укладку проставок



Точное позиционирование проставок гарантирует равномерное бетонирование. Это дает значительный потенциал экономии

Comraction. Эта новая технология позволяет осуществлять индивидуальное управление каждым шнеком. Таким образом, повышается скорость производственного процесса, улучшается качество уплотнения и снижается износ. Кроме того, можно также очень быстро осуществить переход на другую высоту плиты.

В отличие от прочих технологий уплотнения, технология Flow Comraction позволяет производить более высокие преднапряженные перекрытия и гибко формировать полости. Это позволяет еще более оптимизировать количество необходимого бетона. В результате – затратноэффективное производство и высокое качество конечной продукции.

Автоматизированная укладка проставок.

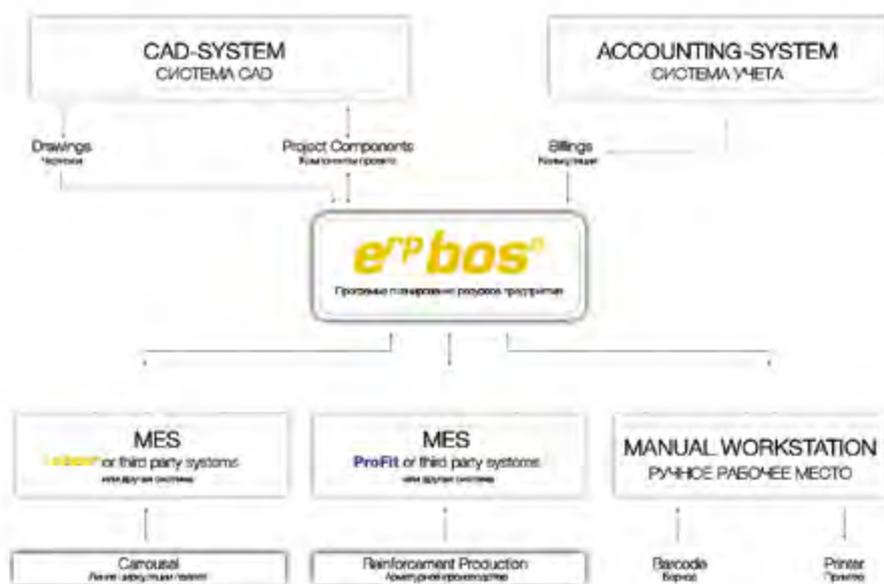
Для укладки проставок арматурной сетки также предлагается новое решение: с помощью роботизиро-

ванной системы осуществляется полностью автоматизированная точная укладка на паллету специальных проставок.

Этот позиционирующий робот, получивший название Mesh Spacer, забирает необходимое количество проставок из магазина и выполняет их укладку в соответствии с данными файла CAD-CAM. Собственный алгоритм рассчитывает оптимальное позиционирование, которое проверяется с помощью интегрированной лазерной системы. Таким образом, гарантируется равномерное бетонирование. Автоматизация этого рабочего шага, с одной стороны, позволяет свести к минимуму количество проставок, а с другой – одновременно повысить качество сборного бетонного элемента. Кроме того, повышается экономическая эффективность: согласно расчетам PROGRESS GROUP экономия составит 20 евроцентов на 1 м². Если, например, годовой объем производства составляет 500 тыс. м², робот Mesh Spacer позволяет легко сэкономить 100 тыс. евро.

e^{RP}bos[®]: повышение эффективности и качества благодаря оптимально интегрированному программному решению.

Система планирования ресурсов предприятия (ERP) e^{RP}bos[®] была разработана с учетом практического опыта всех предприятий концерна PROGRESS GROUP и обеспечивает идеальную интеграцию всех технологических цепочек, от планирования и производства до сбыта и бухгалтерии. Открытые интерфейсы позволяют избежать изолированной работы приложений и облегчают интеграцию в уже существующую структуру. Таким образом, отпадает необходимость решать сложные проблемы совместимости интерфейсов, с которыми сталкиваются



Система ERP e^{RP}bos[®] обеспечивает идеальную интеграцию всех технологических цепочек: от планирования и производства до сбыта и бухгалтерии



Наличие собственного завода по производству сборных железобетонных элементов, расположенного в том же городе, что и штаб-квартира концерна, обеспечивает тесную связь с производством

многие предприятия. Кроме того, благодаря интеграции, например, с системами BIM (информационного моделирования зданий), можно связать даты производства и поставки или расходы по проекту и материалам непосредственно с моделью здания. Это позволяет наладить постоянный контроль сроков и расходов и своевременно обнаружить любые отклонения.

Чтобы усилить свое присутствие на рынке программного обеспечения, в начале 2016 г. в рамках концерна PROGRESS GROUP было основано собственное предприятие по разработке программного обеспечения Progress Software Development (PSD). Это позволило концерну PROGRESS GROUP укрепить свои позиции в качестве поставщика комплексных решений для предприятий отрасли: от линий циркуляции паллет, машин для производства арматуры и опалубочных систем до линий по производству преднапряженных элементов, а также систем планирования и управления ресурсами предприятий.

Тесная связь с производством благодаря собственному заводу сборных железобетонных элементов.

Большое значение для концерна, как и прежде, имеет собственный завод по производству сборных железобетонных элементов, расположенный в штаб-квартире холдинга в городе Бриксен. Здесь не только тестируются новые технологии, но и появляются новые решения на основании практических наработок. Эксплуатирующее предприятие – дочерняя компания PROGRESS AG – на двух линиях циркуляции паллет производит железобетонные элементы для регионального рынка. Поэтому отнюдь не случайно здесь успешно используются как робот Mesh Spacer, так и ПО ePbos®. Такая тесная связь с производством еще более усиливается благодаря взаимоотношениям концерна со своими заказчиками: самые разнообразные нужды и требования производителей бетонных элементов со всего мира – это мощнейший стимул, формирующий инновационный потенциал PROGRESS GROUP.



PROGRESS GROUP GmbH | The Squire 15 Am Flughafen | DE-60549 Frankfurt am Main
www.progress-group.info | +49 6977 044 044

УДК 69.056.52

А.Г. КОВРИГИН, инженер, руководитель группы технической поддержки (anton.kovrigin@bzs.ru),
 А.В. МАСЛОВ, инженер, А.А. ВАЛЬД, заместитель директора

ООО «Бийский завод стеклопластиков» (Россия, 659316, Алтайский край, г. Бийск, ул. Ленинградская, 60/1)

Факторы, влияющие на надежность композитных связей, применяемых в КПД

Гибкие связи из композитных материалов, выполненные даже из одинаковых исходных материалов, могут существенно отличаться по эксплуатационным характеристикам. В результате проведенных испытаний композитных гибких связей определены физические и химические характеристики. Установлено, что гибкие связи с навитым жгутом или песчаным анкерным элементом значительно теряют (до 90%) прочность сцепления с бетоном после щелочного воздействия. Гибкие связи с цилиндроконическим уширением за весь срок эксплуатации теряют не более 9% исходной прочности сцепления с бетоном и могут гарантировать надежность и долговечность конструкции. Технология производства теплоэффективных стеновых панелей с использованием гибких связей СПА® 7,5 производства ООО «Бийский завод стеклопластиков» применяется на заводах Российской Федерации, в Белоруссии, Казахстане, Германии, Франции и Швейцарии. Для рынка Евросоюза была разработана своя торговая марка для гибких связей – ThermoPin®. Получен общий допуск строительного надзора в испытательной лаборатории Deutsches Institut für Bautechnik г. Берлин.

Ключевые слова: крупнопанельное домостроение, гибкая композитная связь, долговечность, несущая способность, требования нормативной документации, коэффициенты условий работы; комплекс технической оценки композитных гибких связей; методика расчета количества связей.

Для цитирования: Ковригин А.Г., Маслов А.В., Вальд А.А. Факторы, влияющие на надежность композитных связей, применяемых в КПД // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 31–34.

A.G. KOVRIGIN, Engineer, Head of Technical Support Group (anton.kovrigin@bzs.ru), A.V. MASLOV, Engineer, A.A. VALD, Deputy Director LLC «Biysk factory of glass fibre reinforced plastics» (60/1, Leningradskaya Street, Biysk, Altay Region, 659316 Russian Federation)

Factors Influencing on Reliability of Composite Ties Used in Large-Panel Housing Construction

Flexible ties from composite materials made of similar initial materials can have significantly different operational characteristics. As a result of tests of composite flexible ties, their physical and chemical characteristics have been determined. It is established that flexible ties with a coiled bundle or with a sand anchor element significantly lose the adhesion strength with concrete (up to 90%) after alkaline impact. Flexible ties with cylindro-conical broadening during the whole operational time losenot more than 9% of the initial adhesion strength and can guarantee the reliability and durability of structures. The technology of production of thermal-efficient wall panels with the use of flexible ties СПА® 7,5 manufactured at LLC «Biysk factory of glass fibre reinforced plastics» is used at the factories of the Russian Federation, Belorussia, Kazakhstan, Germany, France, and Swiss. For the market of the European Union, a special trade mark for flexible ties – ThermoPin® has been developed. The general tolerance of construction supervision has been obtained at the testing laboratory Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.

Keywords: large-panel housing construction, flexible composite tie, durability, bearing capacity, requirements of normative documentation, coefficients of operational conditions, complex of technical assessment of composite flexible ties.

For citation: Kovrigin A.G., Maslov A.V., Vald A.A. Factors influencing on reliability of composite ties used in large-panel housing construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 31–34. (In Russian).

В России стеновые панели с гибкими связями из композитных материалов выпускаются на протяжении 19 лет. В настоящее время наблюдается интенсивное замещение элементов из традиционных материалов (стальных и железобетонных соединительных элементов) композитными гибкими связями. Их внедрению способствуют требования по теплопроводности, коррозионной стойкости, долговечности и материалоемкости строительных конструкций и сооружений [1–4]. Кроме того, использование композитных гибких связей позволяет ускорить технологический процесс производства трехслойных стеновых панелей ввиду отсутствия необходимости в дополнительных операциях (загибов металлических связей, привязке к арматуре, сварке, подрезке утеплителя). За длительный период работы производителям композитных связей удалось накопить значительный исследовательский и производственный опыт [5–6]. С накоплением опыта стало очевидно, что для надежной и длительной эксплуатации трехслойной панели, в составе которой присутствуют композитные гибкие связи, последние должны обладать необходимыми физико-механическими показателями, высокой щелочестойкостью несущего стержня и анкерующего элемента, а также высокой теплостойкостью. Для достижения этих задач необходимо уделять особое внимание выбору сырья, из которого будет изготавливаться

композит, совершенству и стабильности технологического процесса и, несомненно, конструкции элемента, обеспечивающего зацепление гибкой связи в бетоне.

В ГОСТ 54923–2012 «Композитные гибкие связи для многослойных ограждающих конструкций. Технические условия» в качестве рекомендуемых к применению на заводах КПД указаны: связь с цилиндроконическим анкерным участком, гибкая связь с двуплоскостным периодическим профилем и связь с песчаным анкерным участком. Однако устройство винтового (периодического профиля) путем наклейки пропитанного связующим жгута из базальтовых и стеклянных волокон нецелесообразно, поскольку навивка срезается с поверхности стержня при вырыве [7]. При выдергивании из бетона опесчаненных образцов разрушение происходит в зоне контакта: и по бетону, и по слою крупного песка на поверхности стержня вследствие среза крупных зерен (М.В. Балахин, В.П. Устинов, Г.В. Акулов, Б.В. Устинов. Отчет о сравнительных испытаниях. Сравнительная оценка характеристик гибких связей из полимерных композиционных материалов, предназначенных для применения в трехслойных стенах с высоким тепловым сопротивлением / ИЦ СМиК «СибНИИСтрой». Новосибирск, 2006). Т. е. песок отслаивается от тела стержня и уже не может обеспечивать надежное сцепление гибкой связи с бетоном.

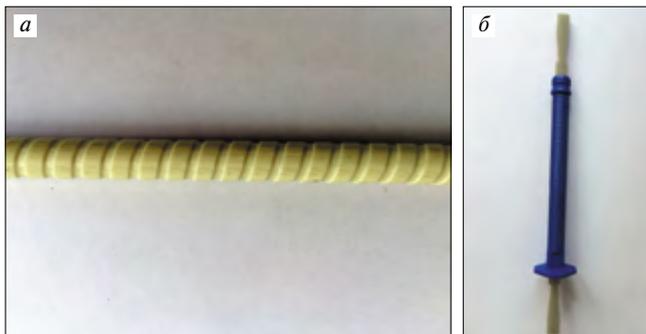


Рис. 1. Гибкие связи зарубежных компаний



Рис. 2. Гибкие связи СПА 7,5 для трехслойных наружных панелей

Некоторые российские производители также пришли к выводу, что связи с песчаным анкерным участком необходимо дополнительно усиливать напрессовкой металлических втулок на участки анкеровки. Характер разрушения при вырыве таких связей из бетона является переменным. Приложение выдергивающей осевой нагрузки приводит к разрушению бетона вокруг связи либо к вытягиванию стержня из металлической втулки [8]. Причем с увеличением прочности бетона вероятность последнего исхода возрастает. Как известно, в случае, когда разрушение носит непостоянный характер, трудно спрогнозировать падение характеристик сцепления гибкой связи с бетоном.

Анализируя рынок предложения гибких связей в Европе и США, можно заметить, что зарубежные производители придерживаются концепции единой структуры несущего стержня и анкерующей части гибкой связи. Исполнение этой концепции может быть различным. Так, компания «Schöck Bauteile GmbH», которая уже более 50 лет занимается непрерывным НИОКР и внедрением высококачественных решений для строительства по всему миру, изготавливает композитную гибкую связь, профиль которой сформирован путем фрезерования из основного тела стержня по всей его длине для создания выступающего ребра (рис. 1, а). Другой производитель в США – компания «Thermomass» находит верным решение изготавливать анкерующую часть гибкой связи в виде уширения квадратного профиля, которое формируется также путем фрезерования из композитного стержня (рис. 1, б). Описанные изделия не имеют частей, соединение которых образовано средствами химических связей. Такая концепция в зарубежной практике позво-

ляет гарантированно обеспечить долговечность и химическую стойкость гибкой связи. Кроме того, узел соединения такой гибкой связи с бетоном имеет постоянный характер разрушения при вариациях глубины заделки связи в бетонах различной прочности, что, в свою очередь, позволяет достоверно прогнозировать падение характеристик сцепления гибких связей с бетоном.

ООО «БЗС» разработало собственную конструкцию анкерующего элемента, образуя на концах стержня цилиндрические уширения. Уширение и силовой стержень являются цельной структурой. Такая конструкция обеспечивает надежную и долговечную фиксацию гибкой связи в бетоне. Исследования, проведенные ООО «Композит-тест» (Протокол контрольных испытаний на вырыв из бетона стеклопластиковой арматуры СПА Бийского завода стеклопластиков № 0622/1035–2006 от 21.07.06 ЗАО «Институт «Композит-Тест», Королев»), показывают, что усилия вырыва гибких связей с цилиндрическими анкерными участками при глубине анкеровки 40 мм и классе бетона В25 составляют 14,3 кН, т. е. ~1430 кгс. Характер разрушения на всех испытанных образцах одинаков и представляет собой растрескивание и вытягивание конуса бетона.

Однако в зависимости от способа формирования уширения в конусной части могут образовываться участки, заполненные только связующим без силовых волокон, а в худшем случае пустоты. Очевидно, что поры и пустоты значительно ослабляют несущую способность, долговечность анкерного зацепа и являются наиболее вероятными местами разрушения гибкой связи. Таким образом, несущая способность гибких связей может значительно отличаться в зависимости от конструкции и технологии ее формирования. Поэтому все гибкие связи должны допускаться к применению только после получения положительного заключения об их прочности и стойкости к агрессивным средам самих связей и анкерующего элемента.

Поскольку в российских нормах на сегодняшний день еще нет строгой методики определения несущей способности гибких связей, можно руководствоваться подходом европейских специалистов в проведении испытаний и анализе их результатов. Немецкие институты Deutsche Institut für Bautechnik DiBT (г. Берлин) и Technische Universität Kaiserslautern (г. Кайзерслаутерн) при оценке гибких связей СПА 7,5 (рис. 2) Бийского завода стеклопластиков установили следующие требования к проведению испытаний.

1. Оценка связей должна проводиться по прочности самих связей и по прочности узла сцепления с бетоном.
2. Прочность связей и анкерного узла оценивается в исходном состоянии и после проведения испытаний на стойкость к щелочной среде бетона. Для этого проводились ускоренные испытания по химическому старению связей. Так определялась долговременная прочность связей.



Рис. 3. Дефекты в структуре материала. Степень влияния дефектов на долговечность определяется их количеством

3. Оценка долговременной прочности (химическое старение) должна проходить под одновременным действием статической нагрузки, так как это более полно моделирует реальные условия эксплуатации.
4. Химическое старение должно быть достаточно продолжительным, по европейским нормам рекомендуется старение в течение 5000 ч в щелочном растворе с $pH \sim 13$. Для сравнения, по российским нормам старение проходит в течение 720 ч.
5. На протяжении срока старения осуществляют контрольные измерения с определенной периодичностью, для того чтобы получить статистические данные по снижению прочности с течением времени. Полученные результаты экстраполируют на весь срок эксплуатации.
6. Разрушение узла сцепления должно происходить исключительно по бетону, как до старения, так и после. Только в случае постоянного характера разрушения связи считаются пригодными для использования, поскольку только в этом случае, возможно спрогнозировать падение характеристик.

Следует заметить, что конструкция анкерующего зацепа является важным, но не единственным аспектом, обеспечивающим надежность, долговечность и химическую стойкость гибкой связи. На контролируемые физико-механические характеристики также оказывает влияние качество армирующего наполнителя, рецептура связующего вещества, их пропорциональное содержание в готовом изделии, выбор технологического процесса и его стабильность.

Для обеспечения высоких физико-механических показателей необходимо выбрать сырье с высокими исходными показателями прочности и модуля упругости. Затем следует рассчитать и выбрать оптимальные соотношения объемных долей наполнителя и полимерной матрицы [9].

Чтобы обеспечить совместную работу силовых волокон и обеспечить их щелочестойкость, очень важно



Рис. 4. Гибкая связь ThermoPin® – торговая марка для стран Евросоюза

сформировать однородную структуру полимерной матрицы композита. Так как именно полимер обеспечивает защиту волокон от разрушающего воздействия агрессивной среды, наличие пор в матрице недопустимо [9] (рис. 3).

Учитывая то, что эксплуатационные характеристики материала и его долговечность во многом зависят от теплостойкости, последняя является важным параметром для контроля. Теплостойкость базальтопластика и стеклопластика определяется составом и степенью отверждения полимера. По результатам экспериментальных данных получена зависимость теплостойкости от степени полимеризации: при повышении степени отверждения (полимеризации) возрастает температура стеклования связующего. Температура стеклования показывает предельную рабочую температуру полимерной матрицы в композитном материале. Это граница перехода из стеклообразного состояния в упругоэластичное [10]. Наиболее распространенные в России производственные линии позволяют достичь степени полимеризации на уровне 65%. Такому уровню полимеризации

Гибкая связь СПА® Ø 7,5мм
для трехслойных железобетонных панелей

Реклама

- ✔ Соответствует требованиям нормативной документации
- ✔ Огнестойкость в системе
- ✔ Долговечность 100 лет
- ✔ Щелочестойкость
- ✔ Теплоэффективность
- ✔ Высокая прочность
- ✔ Применяется более чем на 30 заводах России и стран СНГ

БЗС® БИЙСКИЙ ЗАВОД
СТЕКЛОПЛАСТИКОВ
нам 25 лет

659316 Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Ленинградская, 60/1
тел./факс: +7 (3854) 442-444, E-mail: spa@bzs.ru; www.bzs.ru.

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ISO 9001:2008

на фото: реклама

зации связующего соответствует температура стеклования порядка 60°C. Такой показатель не удовлетворяет требованиям нормативных документов производителей трехслойных панелей. Для получения готового высококачественного изделия каждому производителю необходимо организовать мероприятия для доведения степени полимеризации, близкой к 100%. В этом случае температура стеклования достигает значений до 120°C [10]. Очевидно, что дополнительная операция требует сопутствующих расходов. Недобросовестные производители могут пренебрегать этой операцией, в том числе для снижения цены изделия на рынке. Таким образом, выбирая композитный материал, необходимо обращать особое внимание на такую характеристику, как температура стеклования, которая должна быть подтверждена протоколами испытаний.

Резюмируя этот раздел статьи, можно сказать, что композитные материалы, даже изготовленные из одинаковых компонентов, могут существенно отличаться по физико-механическим свойствам и по качеству в целом в зависимости от выбранных технологических режимов и их соблюдения в технологическом процессе. Поэтому для контроля качества изделия каждый производитель должен наладить систему приемосдаточных испытаний композитных гибких связей. Кроме того, при производстве композитных материалов оценке качества и приемосдаточным испытаниям должны подвергаться образцы каждой партии композитных связей.

Бийский завод стеклопластиков на протяжении более 20 лет изучает эксплуатационные характеристики композитных гибких связей и виды воздействий на них. На основании полученных данных совместно с Си-

бирским государственным университетом путей сообщения, под руководством д-ра техн. наук, профессора В.П. Устинова была разработана методика расчета количества гибких связей СПА 7,5 для обеспечения надежности трехслойной стеновой панели на весь срок эксплуатации (до 100 лет). На основании этих исследований и рекомендаций и выпущенных на их основе технических свидетельств гибкие связи СПА 7,5 были внедрены в качестве соединительных элементов на более чем 30 заводах КПД РФ; 8 заводах в Республике Беларусь; 5 предприятиях в Казахстане; 1 предприятию во Франции; 1 заводе в Швейцарии.

Очевидно, что европейские требования в оценке надежности композитных связей учитывают большее количество влияющих факторов и позволяют с большей точностью определить коэффициенты условий работы для композитных связей. Гибкие связи СПА 7,5 Бийского завода стеклопластиков успешно прошли испытания как в соответствии с требованиями российского ГОСТ 54923–2012, так и в институтах DIBT, Technische Universität Kaiserslautern на соответствие требованиям европейских норм. Проведение полного комплекса испытаний гибких связей по немецкой программе заняло период с 2011 по 2015 г. В итоге в декабре 2015 г. получено положительное заключение (Общий допуск строительного надзора. Соединительный стержень ThermoPin I 23-1.21.8-87/11 от 08.12.2015. Строительная испытательная лаборатория Deutsches Institut für Bautechnik г. Берлин). Для рынка Евросоюза разработана своя торговая марка для гибких связей – ThermoPin®. Именно под таким названием гибкие связи СПА 7,5 (рис. 4) будут поставляться на рынок Евросоюза.

Список литературы

1. Ковригин А.Г., Маслов А.В. Учет требований нормативной документации при проектировании трехслойных панелей // *Строительные материалы*. 2016. № 3. С. 25–30.
2. Усманов Ш.И. Формирование экономической стратегии развития индустриального домостроения в России // *Политика, государство и право*. 2015. № 1 (37). С. 76–79.
3. Баранова Л.Н. Развитие индустриального домостроения и промышленности строительных материалов в различных регионах России // *Вестник Российской академии естественных наук*. 2013. № 3. С. 61–63.
4. Луговой А.Н. Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 32–33.
5. Луговой А.Н., Ковригин А.Г. Композитные гибкие связи для трехслойных панелей // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 22–24.
6. Луговой А.Н., Ковригин А.Г. Учет требований нормативной документации при проектировании трехслойных панелей // *Строительные материалы*. 2015. № 5. С. 35–38.
7. Хозин В.Г., Пискунов А.А., Гиздатуллин А.Р., Куклин А.Н. Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном // *Известия КазГАСУ*. 2013. № 1 (23). С. 214–220.
8. Блажко В.П., Граник М.Ю. Гибкие базальтопластиковые связи для применения в трехслойных панелях наружных стен // *Строительные материалы*. 2015. № 5. С. 56–57.
9. Фролов Н.П. Технология изготовления стеклопластиковой арматуры и некоторые ее свойства // *Бетон и железобетон*. 1965. № 9. С. 5–8.
10. Блазнов А.Н., Атыасова Е.В., Бычин Н.В., Шундрина И.К., Ходакова Н.Н., Самойленко В.В. Влияние степени отверждения связующего на температуру стеклования композитных материалов // *Южно-сибирский научный вестник*. 2016. № 1. С. 13–19.

References

1. Kovrigin A. G., Maslov A.V. Composite Flexible Bracing in Large-Panel House Building. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 3, pp. 25–30. (In Russian).
2. Usmanov Sh.I. Formation of economic strategy of development of industrial housing construction in Russia. *Politika, gosudarstvo i pravo*. 2015. No. 1 (37), pp. 76–79. (In Russian).
3. Baranova L.N. Development of industrial housing construction and the industry of construction materials in various regions of Russia. *Vestnik Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk*. 2013. No. 3, pp. 61–63. (In Russian).
4. Lugovoy A.N., Kovrigin A.G. Composite Flexible Bracings for Three-Layered Thermal Efficient Panels. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 3, pp. 32–33. (In Russian).
5. Lugovoy A.N. Enhancement of Energy Efficiency of Enclosing Structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 22–24. (In Russian).
6. Lugovoy A.N., Kovrigin A.G. The accounting of requirements of standard documentation at design of three-layer panels. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 5, pp. 35–38. (In Russian).
7. Hozin V.G., Piskunov A.A., Gizdatullin A.R., Kuklin A.N. Coupling of polymerkompozitny fittings with cement concrete. *Izvestiya KazGASU*. 2013. No. 1 (23), pp. 214–220. (In Russian).
8. Blazhko V.P., Granik M.Yu. Flexible bazaltoplastikovy communications for application in three-layer panels of external walls. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 5, pp. 56–57. (In Russian).
9. Frolov N.P. Manufacturing techniques of fiberglass fittings and some of its properties. *Beton i zhelezobeton*. 1965. No. 9, pp. 5–8. (In Russian).
10. Blaznov A.N., Atyasova E.V., Bychin N.V., Shundrina I.K., Hodakova N.N., Samoylenko V.V. Influence of extent of hardening of vitrification of composite materials, binding on temperature. *Yushno-sibirskii nauchnyi vestnik*. 2016. No. 1, pp. 13–19. (In Russian).

УДК 691.328-413

М.А. ГОНЧАРОВА, д-р техн. наук; А.Н. ИВАШКИН, инженер,
А.А. КОСТА, канд. архитектуры (Anthony.lipetsk@mail.ru)

Липецкий государственный технический университет (398600, г. Липецк, ул. Московская, 30)

Подбор и оптимизация составов бетонов для производства многопустотных плит перекрытия безопалубочного формования

Безопалубочный способ формования железобетонных изделий в настоящее время является одним из прогрессивных в индустрии строительных материалов. Он позволяет осуществлять выпуск широкой номенклатуры продукции с высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, а также существенно расширяет возможности крупнопанельного домостроения в области архитектурно-планировочных решений. Многопустотные предварительно напряженные плиты являются одним из наиболее востребованных видов изделий, выполняемых по технологии безопалубочного формования. Их часто используют в жилищном строительстве. Однако до настоящего времени данный вид изделий является малоизученным. Отсутствует единая нормативная база, в соответствии с которой предприятия строительного комплекса могли бы осуществлять выпуск панелей перекрытия. В статье приведены результаты контрольных испытаний железобетонных многопустотных плит перекрытия на прочность и трещиностойкость, для которых был подобран состав бетонных смесей. Дана экспертная оценка параметров работы плит под воздействием распределенной нагрузки.

Ключевые слова: крупнопанельное домостроение, многопустотная плита перекрытия, безопалубочное формование, предварительное напряжение, контрольные испытания, железобетонные конструкции, состав бетонной смеси.

Для цитирования: Гончарова М.А., Ивашкин А.Н., Коста А.А. Подбор и оптимизация составов бетонов для производства многопустотных плит перекрытия безопалубочного формования // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 35–38.

M.A. GONCHAROVA, Doctor of Sciences (Engineering), A.N. IVASHKIN, Engineer, A.A. KOSTA, Candidate of Architecture (Anthony.lipetsk@mail.ru)
Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya Street, 398600, Lipetsk, Russian Federation)

Proportioning and Optimization of Concretes for Production of Hollow-Core Floor Slabs of Off-Shuttering Forming

At present, the off-shuttering method for reinforced concrete products forming is one of the progressive in the building material industry. It makes it possible to produce a wide range of products with high technical and operational characteristics as well as significantly expand possibilities of large-panel housing construction in the field of architectural-planning solutions. Hollow-core pre-stressed slabs are one of the most demanded products made according to the technique of off-shuttering forming. They are often used in housing construction. However, up to the present day, this type of products is insufficiently studied. There is no single regulation base in accordance to which the enterprises of building complex could produce floor slabs. The article presents the results of control tests of reinforced concrete hollow-core floor slabs for strength and resistance to cracks, for which the composition of concrete mixes has been selected. An expert assessment of parameters of slabs operation under the effect of concentrated loading is made.

Keywords: large-panel housing construction, hollow-core slab, without-shuttering formation, pre-stressing, control tests, reinforced concrete structures, concrete mix composition.

For citation: Goncharova M.A., Ivashkin A.N., Kosta A.A. Proportioning and optimization of concretes for production of hollow-core floor slabs of off-shuttering forming. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 35–38. (In Russian).

В настоящее время идет активное перевооружение отечественных заводов железобетонных изделий и конструкций. Используемые в большинстве случаев технологии поточно-агрегатного формования уже не удовлетворяют потребности жилищного строительства, предъявляющего высокие требования к качеству и стоимости продукции стройиндустрии [1]. Производство многопустотных плит перекрытия безопалубочного формования является одним из перспективных направлений развития строительной отрасли. Оно позволяет создавать широкую номенклатуру изделий, что существенно повышает возможности современного крупнопанельного домостроения.

Многопустотные предварительно напряженные плиты являются одним из наиболее востребованных видов изделий, выполняемых по технологии безопалубочного формования. Их часто используют в жилищном строительстве. До настоящего времени вопросы проектирования и производства изделий стенового безопалубочного формования являются малоизученными, что снижает темпы внедрения новых линий [2–4]. В Липецком регионе данные технологии производства успешно применяются на следующих предприятиях: ООО «Стройдеталь», ООО «Крафтбетон», ООО «Спецфундаментстрой», ООО «ЗСМ Елецкий».

В рамках научных исследований проектирования и производства изделий безопалубочного формования в лаборатории кафедры строительного материаловедения и дорожных технологий Липецкого государственного технического университета были подобраны составы бетонных смесей. Произведены контрольные испытания конечной продукции – плит перекрытия. При этом выявлялась фактическая несущая способность конструкций, производилась оценка их жесткости и трещиностойкости [5–6].

Установлено, что для производства плит пустотного настила методом непрерывного безопалубочного формования необходимо использовать бетонные смеси жесткостью около 90 с, что гарантирует сохранение изделия своей формы непосредственно после завершения вибровоздействия на бетонную смесь (рис. 1). Поэтому пространственный каркас следует формировать соответственно принципу подбора рационального зернового состава компонентов.

При подборе состава бетона были приняты во внимание вопросы обеспечения минимального расхода цемента из условий снижения энергоемкости и стоимости смеси, обеспечения удобоукладываемости и снижения дефектов, связанных с обрушением массива, а также с качеством лицевой поверхности [5]. Эффективное про-



Рис. 1. Типовой производственный дефект стенового формования: обрушение массива продольных ребер



Рис. 3. Торец плиты, изготовленной из оптимизированных составов бетонной смеси

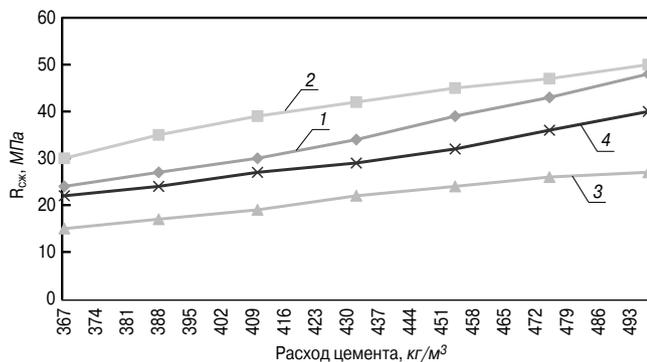


Рис. 2. Зависимость марочной прочности бетона при сжатии от расхода цемента: 1 – контрольный состав в возрасте 28 сут; 2 – оптимизированный состав в возрасте 28 сут; 3 – контрольный состав в возрасте 3 сут; 4 – оптимизированный состав в возрасте 3 сут

изводство изделий по данной технологии во многом зависит от полноты вовлечения местных сырьевых материалов. При подборе составов бетонов был использован накопленный опыт оптимизации из условий минимальной пустотности с заменой части традиционного сырья вторичными мелкозернистыми отходами промышленности [6]. Кроме того, важным требованием являлось получение бетонов с низкой усадкой и ползучестью с целью исключения потери преднапряжения высокопрочных канатов, применяемых для производства плит пустотного настила.

Целенаправленная оптимизация зернового состава бетонных смесей была осуществлена за счет кремнеземсодержащих наполнителей. В качестве заполнителей применяли щебень гранитный фракций 5–10 мм (ГОСТ 8267–93), отсев дробления гранита и известняк фракций 0–5 мм (ГОСТ 31424–2010), песок кварцевый (ГОСТ 8736–2014). В качестве вяжущего вещества использован портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108–2003) ЗАО «Осколцемент». В состав вводилась воздухововлекающая добавка «SikaPaver» HC-30 (ТУ № 2499-004-13613997–2008) производства концерна «Sika». Для ста-

Результаты испытания контрольного состава смеси БСГ В30 Ж1 F300 W6: № 1 оптимизированного: № 2 и вариативных составов

Таблица 1

№ п/п	Наименование состава/смеси	Расход цемента	Жесткость смеси, с	Прочность, МПа		Морозостойкость циклов/марка	Марка по водонепроницаемости
				Результаты испытаний в возрасте 3 сут	Результаты испытаний в возрасте 28 сут		
1	Контрольный	367	96	15	24	290/F250	W4
2		388	94	17	27	300/F300	W6
3		410	90	19	30	310/F300	W6
4		432	88	22	34	330/F300	W6
5		454	92	24	39	370/F350	W8
6		475	94	26	43	370/F350	W8
7		497	86	27	48	390/F350	W10
8	Оптимизированный	367	88	22	30	300/F300	W6
9		388	92	24	35	310/F300	W6
10		410	90	27	39	320/F300	W6
11		432	90	29	42	340/F300	W8
12		454	92	32	45	380/F350	W10
13		475	90	36	47	380/F350	W10
14		497	94	40	50	380/F350	W10



Рис. 4. Контрольные испытания плит: слева – загрузка плиты мелкими блоками, справа – наклонная трещина в опорной зоне

билизации реологических показателей использовали микрокремнезем МК-85 производства ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат».

Использование наполнителя из отсевов дробления известняка, а также добавки микрокремнезема, обеспечивающей рациональный зерновой состав компонентов, позволило получить требуемые технологические характеристики бетонной смеси для линии безопалубочного формования плит пустотного настила и других изделий. При этом экономия цемента составила до 100 кг/м³ бетона.

Теоретический расчет составов производился по методу абсолютных объемов согласно:

- расчетно-экспериментальному методу, разработанному В.П. Сизовым;
- рекомендациям по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006–86);
- по указаниям ВСН 150–93 «Указания по повышению морозостойкости бетона транспортных сооружений».

Принятые после экспериментального уточнения составы бетонных смесей обеспечивают требования по прочности при сжатии, морозостойкости, сохранению подвижности и водонепроницаемости согласно требованиям ГОСТ 7473–2010 «Смеси бетонные. Технические условия» и ГОСТ 26633–2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».

На основании полученных результатов испытаний контрольных и вариативных составов (табл. 1) сделаны следующие выводы:

- возможно снижение расхода цемента до 10% с последующей корректировкой абсолютного объема смеси и проведением испытаний на прочность, морозостойкость и водонепроницаемость;
- обеспечение требуемых показателей по удобоукладываемости бетонной смеси и целостности формируемого массива возможно только за счет применения комплекса оптимизирующих компонентов.

Было установлено, что после прекращения вибродействия на бетонную смесь образцы удерживают

Таблица 2

Характеристики железобетонной плиты ПБ 2-60.12-8 9К7

Марка панели	Партия	Класс и диаметр рабочей арматуры	Фактическая прочность бетона, МПа, на день испытаний	Проектная марка бетона (класс)	Дата	
					изготовления	испытания
ПБ 2-60.12-8 9К7	1108	7Ø9К7	42	400 (В 30)	24.11.15 г.	10.12.15 г.

Таблица 3

Результат испытания железобетонной плиты перекрытия ПБ 2-60.12-8 9К7

№ этапа	Нагрузка, Н	Осадка середины опор, мм		Осадка опор в центре, мм	Прогиб панели в середине пролета, мм		
		левая	правая		Без учета осадки опор	С учетом осадки опор (истинный прогиб)	
1	121,43	0,2	0,16	0,18	0,79	0,61	
2	242,86	0,33	0,28	0,3	1,37	1,07	
3	364,29	0,46	0,35	0,4	2,05	1,65	
4	485,71	0,64	0,42	0,53	2,89	2,36	
5	607,14	0,71	0,67	0,69	3,49	2,8	
6	728,57	0,78	0,96	0,87	4,19	3,32	
7	850	0,94	1,13	1,03	5,43	4,4	
8	1083,33	Трещин нет					
9	1316,67	Трещин нет					
10	1558,33	Появление трещин, δ=0,15 мм					
11	1742,65	Произошло исчерпание несущей способности плиты					

форму при немедленной распалубке. Класс поверхности полученных при опытной формовке плит перекрытия соответствует А2–А3 по ГОСТ 13015–2003.

Полученные бетонные смеси имеют лучшие технологические характеристики, которые обеспечивают целостность формованного массива, плотную структуру и высокое качество лицевой поверхности (рис. 3).

Оптимизированные составы бетонных смесей были использованы при производстве и испытании плит марки ПБ 2-60.12-8 9 К7 по рабочим чертежам, разработанным «УралНИИпроект РААСН», серии 0-464–09 «Плиты перекрытия железобетонные предварительно напряженные стенового безопалубочного формования», ТУ–5842-001-89328839–09. Испытания производились в соответствии с СП 13-102–2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений», а также по ГОСТ 8829–94. Данные, характеризующие плиту ПБ 2-60.12–89 К7, приведены в табл. 2.

Осмотр перед началом контрольных испытаний не выявил отклонений от рабочих чертежей в размерах и армировании изделия. В соответствии со схемой испытания плита была установлена в рабочее положение на специальном стенде (рис. 2). Площадь загрузки составила $5,9 \times 1,2 = 7,08 \text{ м}^2$. Нагрузку плиты осуществлялось поэтапно бетонными грузами массой 110 кг. Величина каждого из этапов нагружения определена в соответствии с ГОСТ 8829–94 и составила 121,43 кг/м².

В процессе испытания с помощью прогибомеров ПАО-6 с ценой деления 0,01 мм измерялись вертикальные перемещения опор и величина прогиба плиты в середине пролета. После каждого этапа нагружения плита осматривалась на предмет появления трещин, а при их появлении ширина раскрытия измерялась с помощью микроскопа МПБ-2.

В соответствии с нормативными параметрами была произведена оценка жесткости и трещиностойкости плит

перекрытия ПБ 2-60.12-8 9К7. Общий вес бетонных блоков и дополнительных фундаментных блоков составил 12090 кг, что соответствует нагрузке 17,08 кН/м². Результаты замера перемещений опор и величина прогибов приведены в табл. 3.

При испытании на прочность была полностью обеспечена несущая способность плит перекрытия при контрольной нагрузке 13,2 кН/м² с коэффициентом безопасности $S=1,4$. Контрольные наблюдения не выявили проскальзывания стержней рабочей арматуры и развития трещин. Также была обеспечена несущая способность плит при нагрузке 15,6 кН/м² с коэффициентом безопасности $S=1,6$; при этом наблюдалось образование трещин с шириной раскрытия $\delta=0,15 \text{ мм}$.

Исчерпание несущей способности наступило при дополнительном увеличении нагрузки, что было зафиксировано по сильному прогибу и трещинам с раскрытием до 0,25 мм. Причина – текучесть рабочей арматуры без раздробления бетона в сжатой зоне.

Величина контрольного прогиба плиты должна быть равна $f_k = 6,7 \text{ мм}$ при $q = 8,5 \text{ кН/м}^2$. Измеренный в процессе испытания фактический прогиб составил $f_k = 4,4 \text{ мм}$ при $q = 8,5 \text{ кН/м}^2$, что ниже контрольного; трещины в конструкции отсутствовали. Первые трещины появились при достижении нагрузкой значения $q = 15,58 \text{ кН/м}^2$. Таким образом, следует сделать вывод о том, что исследуемые панели, изготовленные на основе подобранных составов бетонных смесей, выдержали испытание на прочность.

Производство сборных изделий по технологии стенового безопалубочного формования в сочетании с эффективными методами возведения зданий и сооружений в перспективе [7] обеспечит значительный экономический эффект по сравнению с традиционным монолитным и мелкоштучным строительством.

Список литературы

1. Николаев С.В. Архитектурно-градостроительная система панельно-каркасного домостроения // *Жилищное строительство*. 2016. № 3. С. 15–25.
2. Босаков С.В., Белевич В.Н., Щетько Н.С., Райчев В.П. Расчет и экспериментальная оценка прочности многопустотных плит безопалубочного формования с учетом требований EN // *Строительная наука и техника*. 2010. № 6. С. 47–54.
3. Воронов В.И., Михайлов В.В., Рошина С.И. Результаты контрольных испытаний многопустотных предварительно напряженных плит перекрытия стенового безопалубочного формования // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2011. № 5. С. 89–92.
4. Ключева Н.В., Горностаев С.И. К вопросу выбора расчетной модели для оценки жесткости железобетонных конструкций // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2016. № 1 (64). С. 71–74.
5. Гончарова М.А., Ивашкин А.Н., Каширская О.А. Оценка качества лицевой поверхности изделий из многокомпонентных декоративных бетонов // *Жилищное строительство*. 2014. № 12. С. 19–22.
6. Гончарова М.А., Ивашкин А.Н., Симбаев В.В. Разработка оптимальных составов силикатных бетонов с использованием местных сырьевых ресурсов // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 6–8.
7. Юмашева Е.И., Сапачева Л.В. Домостроительная индустрия и социальный заказ времени // *Строительные материалы*. 2014. № 10. С. 3–11.

References

1. Nikolaev S.V. Architectural-Urban Development System of Panel-Frame Housing Construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 3, pp. 15–25. (In Russian).
2. Bosakov S.V., Belevich V.N., Shchetko N.S. Calculation and experimental estimation of shear strength of hollow core slabs taking into account European standards requirements. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*. 2010. No. 6, pp. 47–54. (In Russian).
3. Voronov V.I., Mikhailov V.V., Roshchina S.I. The results of control testes of hollow-core pre-stressed slabs bench formless molding. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2011. No. 5, pp. 89–92. (In Russian).
4. Klyueva N.V., Gornostaev S.I. To the question of the choice of settlement model for the assessment of reinforced concrete designs. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016. No. 1 (64), pp. 71–74. (In Russian).
5. Goncharova M.A., Ivashkin A.N., Kashirskaya O.A. Assessment of products front surface quality from multi-component decorative concrete. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 12, pp. 19–22. (In Russian).
6. Goncharova M.A., Ivashkin A.N., Simbaev V.V. Development of Optimal Compositions of Silicate Concretes with the Use of Local Raw Resources. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 6–8. (In Russian).
7. Yumasheva E.I., Sapacheva L.V. House-building industry and social order of time. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2014. No. 10, pp. 3–11. (In Russian).

УДК 693.564

И.Н. ТИХОНОВ¹, д-р техн. наук (Nijb_tihonov@mail.ru), В.З. МЕШКОВ¹, канд. техн. наук;
А.И. ЗВЕЗДОВ², д-р техн. наук, И.П. САВРАСОВ², канд. техн. наук

¹ НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

² АО «Научно-исследовательский центр «Строительство» (АО «НИЦ «Строительство») (109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., 6)

Эффективная арматура для железобетонных конструкций зданий, проектируемых с учетом воздействия особых нагрузок

Важным критерием проектирования зданий является предотвращение прогрессирующего обрушения конструкций, в первую очередь для сохранения жизни людей. Актуальными являются исследования и учет при проектировании характеристик прочности и деформативности арматуры и бетона конструкций в стадиях, близких к разрушению, а также разработка и исследование новых видов арматурного проката, обеспечивающих высокую прочность и энергоемкость сцепления стержней с бетоном в стадии пластического деформирования растянутой арматуры на участках ее анкеровки и в наиболее нагруженных сечениях элементов. Сопоставлены требования нормативных документов Российской Федерации и Еврокода 2 «Design of concrete structures» к механическим свойствам арматуры, обеспечивающим в значительной степени прочность железобетонных конструкций. Приведены принципиальные отличия, показывающие, что требования Еврокода 2 заслуживают серьезного внимания, так как они более конкретны в оценке прочностных и деформационных характеристик арматурных сталей. Сформулированы основные положения для руководства при разработке геометрических параметров эффективных видов арматуры периодического профиля. Показано, что новый профиль арматуры с условным названием «серповидный четырехсторонний» за счет увеличения сопротивления смятию и срезу зигзагообразных, непрерывных по длине междуреберных бетонных шпонок, а также благодаря эффективной работе внедренных в них зерен крупного заполнителя позволяет значительно повысить прочность и жесткость сцепления арматуры с бетоном.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение конструкций, арматура, сопротивление смятию, анкеровка, арматурная сталь, профиль арматуры, сцепление арматуры с бетоном, железобетонные конструкции.

Для цитирования: Тихонов И.Н., Мешков В.З., Звездов А.И., Саврасов И.П. Эффективная арматура для железобетонных конструкций зданий, проектируемых с учетом воздействия особых нагрузок // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 39–45.

I.N. TIKHONOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (Nijb_tihonov@mail.ru), V.Z. MESHKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering);

A.N. ZVEZDOV², Doctor of Sciences (Engineering), I.P. SAVRASOV², Candidate of Sciences (Engineering)

¹ NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC "RC of Construction" (6, 2nd Institutskaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

² JSC Research Center of Construction (JSC "RC of Construction") (6, 2nd Institutskaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

Efficient Reinforcement for Reinforced Concrete Structures of Buildings Designed With Due Regard for Impact of Special Loads

The main design criterion is to prevent progressive collapse of structures in the first place to save people's lives. When designing, studies and account of strength and deformability characteristics of reinforcement and concrete structures at stages close to the destruction as well as development and studies of new types of reinforcing bars ensuring the high strength and power intensity of adhesion between concrete and reinforcement at the stage of plastic deformation of tensile reinforcement on the anchorage and in the most loaded cross-sections of elements are very relevant. The requirements of normative documents of the Russian Federation and Eurocode 2 «Design of concrete structures» for mechanical properties of reinforcement ensuring greatly the strength of reinforced concrete structures are mapped. The principal differences showing that the requirements of Eurocode 2 deserve serious attention, as they are more specific in the evaluation of strength and deformation characteristic of reinforcement steels. Basic provisions to guide when developing geometric parameters of efficient types of the deformed reinforcement are formulated. It is shown that the new profile of reinforcement with the conventional name "sickle-shaped four-sided" makes it possible to significantly improve the strength and rigidity of adhesion between concrete and reinforcement due to the increase in bearing and shear resistance of zigzag intercostal concrete keys of continuous length as well as due to the efficient operation of grains of coarse aggregate introduced in them.

Keywords: progressive collapse of structures, reinforcement, crushing resistance, anchorage, reinforcement steel, reinforcement profile, adhesion between concrete and reinforcement, reinforcement structures.

For citation: Tikhonov I.N., Meshkov V.Z., Zvezdov A.N., Savrasov I.P. Efficient reinforcement for reinforced concrete structures of buildings designed with due regard for impact of special loads. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 39–45. (In Russian).

Эффективность использования в строительстве того или иного вида арматурного проката определяется предъявляемыми к нему потребительскими требованиями, такими как: прочность, деформативность, сцепление с бетоном, свариваемость, коррозионная стойкость, выносливость при многократно повторяющихся нагрузках и др. [1–6].

Оптимальные значения прочностных и деформационных характеристик свойств арматурного проката во многом оцениваются эффективностью его совместной работы с бетоном как при сжатии, так и при растяжении. Известно, что в первом случае верхний предел прочности арматуры ограничивается величиной пре-

дельных деформаций бетона при сжатии, зависящей от скорости нагружения, эффективности поперечного армирования, состава и прочности бетона. Во втором случае верхний предел прочностных характеристик растянутой арматуры определяется не только требованиями первого предельного состояния (несущей способностью), но и требованиями второго предельного состояния (трещиностойкостью и деформативностью) [6–12].

За последние десятилетия проблемы безопасности зданий и сооружений обострились как в связи с внешней террористической угрозой, так и с участвовавшими природными, производственными и бытовыми экстремальными ситуациями, которые при проектировании

учитываются выполнением расчетных и конструктивных требований по предотвращению прогрессирующего обрушения конструкций.

Анализ причин катастрофических разрушений несущих частей зданий показывает, что принятые на основе современных нормативных требований конструктивные решения, в первую очередь касающиеся армирования, недостаточно надежны и требуют переоценки [3].

Из-за низкой вероятности возникновения особых нагрузок (взрывы, удары, сейсмика и др.) главным критерием проектирования является предотвращение прогрессирующего обрушения конструкций, в первую очередь для сохранения жизни людей. В этом случае большими прогибами конструкций и раскрытием в них трещин можно пренебречь.

Учитывая эксклюзивный характер особых нагрузок, для обеспечения безопасности зданий и сооружений актуальными являются исследования и учет при проектировании характеристик прочности и деформативности арматуры и бетона конструкций в стадиях, близких к разрушению.

Также актуальными в этом случае становятся разработки и исследования новых видов арматурного проката, обеспечивающих высокую прочность и энергоемкость сцепления стержней с бетоном в стадии пластического деформирования растянутой арматуры на участках ее анкеровки и в наиболее нагруженных сечениях элементов.

Сопоставляя требования норм России и Еврокода 2 Design of concrete structures к механическим свойствам арматуры, обеспечивающим в значительной степени прочность железобетонных конструкций, можно отметить следующие принципиальные отличия:

1. В СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 52-01-2003)» сохранена традиционная для СССР и России классификация арматуры по прочности и способу производства, в то время как в Еврокоде 2 арматурная сталь классифицируется не только по прочностным, но и по деформационным характеристикам.

2. Минимальные значения деформаций при максимальном усилии (ϵ_{s2} , ϵ_{uk}) в СП для всех классов арматуры $\epsilon_{s2} \geq 2,5\%$, тогда как в Еврокоде 2 в зависимости от класса пластичности арматуры: для класса «А» — $\epsilon_{uk} \geq 2,5\%$; «В» — $\epsilon_{uk} \geq 5\%$; «С» — $\epsilon_{uk} \geq 7,5\%$.

В СП допускается при соответствующем обосновании принимать величину ϵ_{s2} менее или более значения 0,025 в зависимости от марки стали, типа армирования, критерия надежности конструкции и других факторов.

3. Минимальные значения отношений сопротивления арматуры при растяжении (σ_b , f_t) к пределу текучести арматуры (σ_t , f_y) в СП не нормируются, а в Еврокоде 2 нормируются в зависимости от класса пластичности арматуры в диапазоне от 1,05 до 1,15 с ограничением верхнего предела для класса «С» $K = (f_t/f_y) < 1,35$.

4. В отличие от СП в Еврокоде 2 ограничивается максимальное значение предела текучести ($f_{y\max}$) относительно их нормированных значений по классам (f_{yk}), $f_{y\max} \leq 1,3f_{yk}$.

5. В соответствии со специальными правилами, разработанными как дополнение к EN 1992-1-1:2004, для использования в практике проектирования сейсмостойких зданий рекомендовано:

- не допускать местной потери устойчивости при продольном изгибе сжатой арматуры в пределах потенциальных областей образования пластических шарниров в основных сейсмостойких элементах (колоннах, балках, плитах);

- применять стальную арматуру для использования в критических областях основных сейсмостойких эле-

ментов с высоким равномерным пластическим удлинением ($\epsilon_{uk} \geq 5\%$) и периодическим профилем, а также с отношением временного сопротивления (σ_b) к пределу текучести ($\sigma_{t(0,2)}$) существенно выше 1 ($\sigma_b/\sigma_{t(0,2)} \geq 1,08$).

В СП 14.13330 «Строительство в сейсмических районах» не допускается применять как рабочую арматуру, имеющую полное относительное удлинение при максимальном напряжении δ_{\max} менее 2,5%.

В результате приведенного сопоставления можно заключить, что требования Еврокода 2 заслуживают серьезного внимания, так как они более конкретны в оценке прочностных и деформационных характеристик арматурных сталей, что, несомненно, отражается на эффективности их применения при проектировании железобетонных конструкций, особенно при учете воздействий нагрузок аварийного характера, когда с целью обеспечения высокой надежности зданий и экономии материалов используются нелинейные (пластические) расчеты.

В последнее время наметился значительный интерес к исследованиям сцепления арматуры с бетоном. Многочисленными исследованиями установлено, что вид и геометрические размеры профиля поверхности арматуры влияют как на прочность, так и на деформативность сцепления на всех этапах нагружения железобетонного элемента [14–15].

В течение многих десятилетий государственная политика в СССР направляла отечественную науку на развитие и массовое внедрение сборных железобетонных конструкций. Это наложило свой отпечаток на конструктивные требования, обеспечивающие надежное сцепление арматуры с бетоном, которые значительно отличались от зарубежных. Для сборных конструкций, являющихся основным видом железобетона того времени, было необходимо обеспечить повышенную надежность заделки концов арматуры на участках, длина которых, как правило, весьма ограничена. Отличительная черта отечественных преднапряженных конструкций заключается в преимущественном использовании высокопрочной стержневой арматуры периодического профиля, передача напряжений от которой на бетон в торцах элементов осуществляется только за счет сцепления [6].

Очевидно, что для выполнения вышеупомянутых требований эффективность сцепления арматуры периодического профиля для сборного железобетона должна быть достаточно высокой. Это и определило использование отечественной строительной промышленностью арматуры с жестким, так называемым кольцевым, периодическим профилем (рис. 1, а) в отличие от серповидного европейского профиля (рис. 1, б), нашедшего широкое применение за рубежом начиная с 1950-х гг. в условиях преимущественного использования для объектов массового гражданского строительства монолитных железобетонных конструкций, в которых обеспечение достаточно больших длин анкеровки и нахлестки стержней конструктивно более доступно.

Известно, что у стержней с кольцевым профилем по ГОСТ 5781–82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций», принятым в СССР и разработанным на основе анализа множества экспериментов, эффективность сцепления была значительно выше, чем у арматуры ряда зарубежных стран [14–16].

Форма стержней арматуры по ГОСТ 5781–82 и установленные геометрические размеры профиля обеспечивали:

- постоянную по всей длине стержня расчетную прочность сечения;

- достаточную прочность и жесткость сцепления арматуры с бетоном, благодаря которым можно было использовать стали с высоким значением предела текучести, назначать уменьшенные по сравнению с зару-

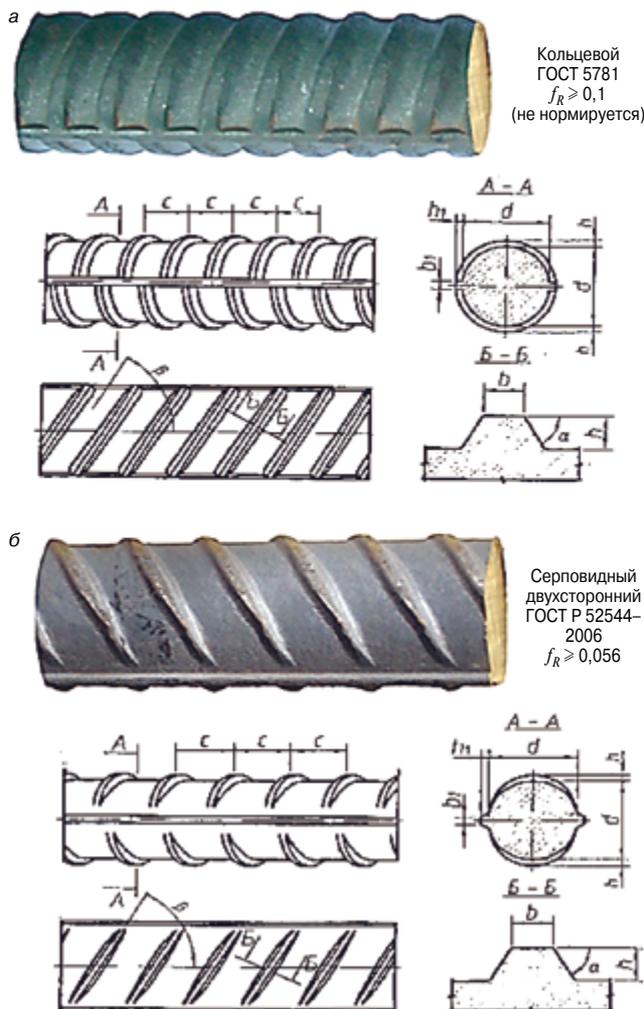


Рис. 1. Стержневая арматура периодического профиля: а – кольцевой профиль; б – серповидный двухсторонний профиль

бежными значения длины анкеровки, нахлестки и зоны передач усилий обжатия от напрягаемой арматуры на бетон;

– эффективность сцепления арматуры в стадиях, близких к разрушению, позволяющую обеспечивать малые значения ширины раскрытия трещин при их частом расположении на эксплуатационных стадиях нагружения и способность к перераспределению усилий в слабоармированных железобетонных элементах на стадиях, близких к разрушению при различных видах нагружения;

– возможность прокатки арматуры на станах для сортового проката без снижения их производительности по сравнению с прокаткой гладких стержней.

Производство арматуры с рассматриваемым периодическим профилем осуществляется металлургическими заводами и по настоящее время.

В начале 1990-х гг. металлургические предприятия России и других стран СНГ, производящие арматурный прокат, начали массовое освоение зарубежных рынков сбыта своей продукции, естественно, ориентируясь при этом на требования стандартов стран – покупателей арматуры для железобетона. С учетом положений международных стандартов, в частности ИСО 6935-2 Steel for reinforcement of concrete, в России были разработаны стандарты СТО АСЧМ 7–93 «Прокат периодического профиля из арматурной стали», ГОСТ 10884–94 «Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций» и ГОСТ Р 52544–2006

«Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций».

В них как основной рекомендуемый принят периодический профиль европейского образца.

Отсутствие в серповидном двухстороннем (европейском) профиле пересечения продольных ребер с поперечными существенно снижает значения показателя сцепления – относительной площади смятия поперечных ребер f_R по сравнению с кольцевым профилем по ГОСТ 5781–82 при одинаковой высоте ребер. Этот показатель определяют из выражения:

$$f_R = K \cdot \frac{f_R}{\pi \cdot d_s \cdot c},$$

где K – количество вертикальных рядов поперечных ребер, равное 2; d_s – номинальный диаметр стержня; c – шаг поперечных ребер по их осям; f_R – проекция площади одного поперечного ребра на плоскость поперечного сечения стержня.

В результате сцепление стержней европейского профиля с бетоном характеризуется меньшей прочностью и жесткостью. Это особенно заметно на бетонах низких и средних классов прочности. Исследования влияния геометрических параметров периодического профиля на прочность сцепления в зависимости от длины заделки стержней в бетоне посвящено множество работ как в России, так и за рубежом. Зарубежные исследования выполнялись в основном с использованием стержней с серповидным профилем, отечественные – с кольцевым по ГОСТ 5781–82 [16], серповидным и другими видами профилей [13].

В результате анализа исследований сформулированы следующие основные положения для руководства при разработке геометрических параметров эффективных видов арматуры периодического профиля:

1. Геометрические параметры стержневой арматуры должны обеспечивать получение профиля, преимущественно сминающего бетон при смещении стержня.

2. Основным параметром, характеризующим эффективность сцепления, является величина относительной площади смятия бетона под поперечными выступами f_R (оптимальные значения $f_R = 0,07–0,073$).

3. Необходимо стремиться располагать выступы по всему периметру стержня, обеспечивая наиболее полный охват (значение $K_{ох} \geq 0,8–0,9$).

4. Соотношение между высотой выступов и номинальным диаметром стержня следует назначать в пределах $0,1–0,05$; абсолютное значение высоты выступа желательно назначать возможно большим.

Среди геометрических параметров двухстороннего серповидного профиля наибольшее влияние на прочность и деформативность сцепления с бетоном оказывает высота поперечных ребер « h ».

В то же время увеличение высоты поперечных ребер ограничено, с одной стороны, технологическими возможностями прокатного производства, а с другой – возрастанием одноосно направленных усилий от распора в окружающем бетоне.

5. Форму поперечного сечения выступа целесообразно принимать трапециевидной, что позволяет сократить ширину выступа у вершины и иметь наклонную боковую поверхность (в среднем под углом 60°).

Наклон ребер к оси стержня β ($45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$) и угол наклона боковой поверхности ребра α ($45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$) имеют небольшое влияние на характеристики сцепления в стадии эксплуатации.

6. Шаг поперечных ребер « t » должен быть соизмерим с размерами зерен заполнителя и должен способствовать вовлечению его в работу сцепления.

Оптимальная величина « t » составляет от $0,6d_s$ до $0,8d_s$.

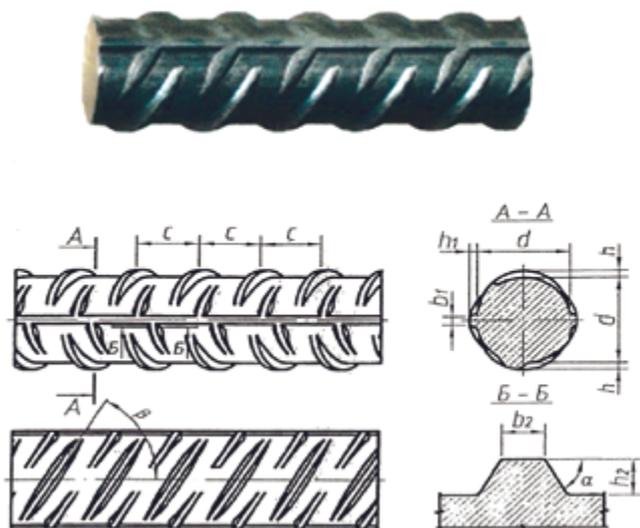


Рис. 2. Серповидный четырехсторонний профиль НИИЖБ

Для достижения полной несущей способности бетонных консолей между поперечными ребрами арматуры необходимо отношение между шагом ребер в свету и высотой ребер $t/h \geq 8$.

7. Влияние f_R на прочность сцепления после достижения арматурой предела текучести стали мало исследовано:

- при отсутствии поперечной арматуры влияние f_R на расклинивание, приводящее к раскалыванию бетона, невелико в пределах значений $0,05 \leq f_R \leq 0,12$;

- при наличии поперечной арматуры повышение f_R обуславливает значительное увеличение несущей способности соединений внахлестку;

- влияние поперечной арматуры более ощутимо при больших значениях f_R из-за увеличения раскалывающего действия профиля арматуры в этом случае и более интенсивной мобилизации работы поперечной арматуры;

- увеличение относительной площади смятия серповидных поперечных ребер по сравнению с минимальными величинами f_R , установленными в Евростандарте EN 10080 «Steel for the reinforcement of concrete», приведет к заметному увеличению несущей способности анкеровки и соединений стержней внахлестку, только если будет установлено адекватное количество поперечной арматуры.

8. В рамках общепринятых технологий прокатки возможности совершенствования кольцевого и двухстороннего серповидного профиля арматуры в части улучшения сцепления с бетоном путем корректировки геометрических параметров, в значительной степени исчерпаны.

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, руководствуясь перечисленными положениями, был разработан, исследован и внедрен новый профиль арматуры с условным названием «серповидный четырехсторонний», объединяющий в себе положительные особенности как кольцевого, так и серповидного двухстороннего профиля (рис. 2).

Арматурный прокат класса А500СП с этим видом профиля массово производится предприятием АО «ЕВРАЗ ЗСМК» по ТУ 14-1-5526–2006 и широко применяется в строительстве. Общий объем его выпуска превысил 3 млн т.

По сравнению с серповидным двухсторонним новым профилем позволяет при той же высоте поперечных ребер за счет их чередующегося четырехстороннего расположения увеличить относительную площадь смятия

f_R арматуры в 1,3–1,4 раза, при том, что шаг ребер в каждом ряду увеличивается на 10–15% (см. таблицу).

Такая конструкция профиля за счет увеличения сопротивления смятию и срезу зигзагообразных, непрерывных по длине междуреберных бетонных шпонок, а также благодаря эффективной работе внедренных в них зерен крупного заполнителя позволяет значительно повысить прочность и жесткость сцепления арматуры с бетоном.

Четырехрядная компоновка ребер делает более равномерным по контуру сечения стержня распределение расклинивающих бетон усилий распора, возникающих в зонах анкеровки или нахлестки арматуры, и уменьшает опасность возникновения продольных трещин раскалывания.

При разработке конструкции нового профиля предполагалось улучшить не только показатели по сцеплению с бетоном, трещиностойкости и деформативности железобетонных конструкций, но и их выносливости при многократно повторяющихся нагрузках. Для этого было в два раза относительно кольцевого профиля сокращено число потенциальных очагов концентрации напряжений в местах пересечения поперечных ребер с продольными и исключена замкнутость поперечных ребер по периметру. Кроме того, в технических условиях на изготовление нового профиля предусмотрена плавность сопряжения боковых поверхностей поперечных и продольных ребер с поверхностью сердечника.

Серповидная конфигурация поперечных ребер нового профиля позволила сохранить технологические преимущества изготовления профиля европейского типа. Более того, увеличение расстояния между поперечными ребрами снизило вероятность разрушения перемычек между канавками на поверхности формирующих прокатных валков, что позволило повысить их стойкость при прокатке.

Симметричное расположение поперечных ребер по поверхности стержней арматуры обеспечило их прямолинейность при выходе из чистой клетки прокатного стана на холодильник. Округлость внешнего контура сечения нового вида арматуры позволила сохранить высокие технологические показатели переработки ее в арматурные изделия (правка, гнутье, сварка и т. п.), какими обладает арматура с кольцевым профилем по ГОСТ 5781. Кроме того, новый профиль позволяет без прокатной маркировки на поверхности стержней специальных символов безошибочно идентифицировать класс прочности арматуры, что практически исключает возможность случайного попадания в конструкции арматуры низшего класса прочности (А400).

Для объективной оценки влияния вида профиля на жесткость и прочность сцепления обычно достаточно использования упрощенных методов сравнительных испытаний в условиях, максимально уравнивающих влияние прочих факторов.

Именно этой цели служит международная методика испытаний на вытягивание из бетона арматурных стержней РС6 ЕКБ/ФИП/РИЛЕМ/, разработанная коллегиально мировыми авторитетами в данной области и широко применяемая научными лабораториями многих стран.

Испытание заключается в вытягивании плавно возрастающим усилием из куба размером 250×250×250 мм центрально расположенного в нем арматурного стержня с двумя выпусками: коротким ($L=15$ мм) и длинным ($L=800$ мм), закрепляемым в нижнем захвате испытательной машины.

По общепринятой методике в процессе вытягивания регистрируют только смещение торца короткого незагруженного выпуска стержня относительно верхней плоскости куба. По методике, используемой в НИИЖБ, дополнительно в процессе испытаний образцов произ-

водились замеры деформирования металла, нагруженного конца стержня для одновременного построения диаграммы $\sigma_s - \epsilon_s$. Такая методика испытаний позволяет объективно оценить уровни напряжений в испытываемом стержне, соответствующие характерным участкам графика его смещения в бетоне, информирующим о процессе нарушения сцепления (рис. 3). Эта методика была успешно использована для оценки характера нарушения сцепления стержней с бетоном в предельной стадии, т. е. после достижения физического или условного предела текучести в арматуре.

Длина зоны сцепления стержня с бетоном в различных сериях устанавливалась посредством искусственного нарушения сцепления на некотором участке стержня (в пределах высоты куба с помощью отрезка резиновой трубки, укрепленного на стержне до бетонирования).

Характерные результаты исследований приведены на рис. 3.

Каждый график смещения торца короткого выпуска стержня относительно поверхности бетонного куба построен по 3–10 образцам-близнецам. Приведенные графики построены для арматуры классов А500 диаметром 16 мм с серповидным двухсторонним и серповидным четырехсторонним профилями при длинах анкеровки в бетоне 6,25, 8, 9 и 10d.

Нарушение сцепления и разрушение всех образцов с длиной анкеровки 6,25; 8 и 9 диаметров произошло в результате среза бетонных консолей между поперечными ребрами арматуры и носило пластический характер. При длине анкеровки 10 диаметров все образцы, кроме двух, с серповидным двухсторонним профилем были разрушены от разрыва арматуры.

Жесткость сцепления, характеризуемая наклоном кривых у арматуры с новым профилем (серповидным четырехсторонним) была заметно выше, чем у арматуры европейской профиля (серповидного двухстороннего).

Превышение максимального усилия при вытягивании стержней с новым профилем над арматурой с европейским профилем достигало 27%.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить способность стержней с новым профилем при определенных условиях сохранять максимально достигнутую прочность сцепления даже при значительных пластических деформациях стержней при напряжениях на уровне предела текучести и даже выше.

В аналогичных условиях стержни и серповидного двухстороннего, и кольцевого профилей теряют прочность сцепления при существенно меньших пластических деформациях. То есть затраты энергии на разрушение сцепления (энергоёмкость сцепления) при испытаниях на вытягивание, которая на рис. 3 выражена как площадь под диаграммой растяжения нагруженного конца стержня, для нового профиля заметно выше.

Это очень существенный фактор увеличения стойкости конструкции против прогрессирующего обрушения в условиях запредельной (пластической) стадии сопротивления внешним воздействиям.

Ранее исследователи придерживались мнения, что достижение стержнем предела текучести должно радикально снижать усилие сцепления с бетоном из-за уменьшения сечения стержней при пластическом удлинении. В этом случае предполагается изменение геометрии поперечных ребер и уменьшение площади их контакта с бетоном, т. е. площади смятия [14].

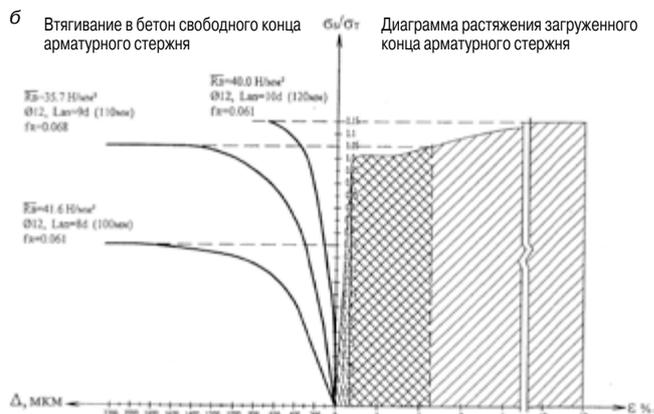
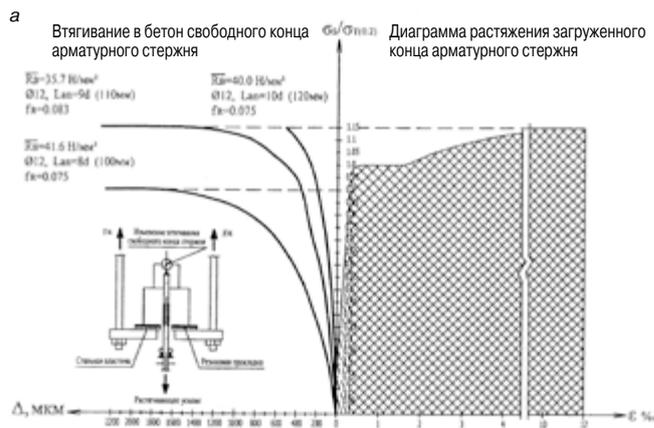


Рис. 3. Деформации вытягивания незагруженного конца стержня и энергоёмкость разрушения сцепления арматуры $\varnothing 16$ мм с бетоном: а – А500СП; б – А500С

С целью выявления влияния типа профиля на особенности механизма взаимодействия бетона и арматурного стержня при вытягивании в условиях значительных деформаций металла было детально исследовано распределение пластических деформаций по длине стержня на участке его анкеровки в бетоне.

Для этого на стержнях, извлеченных из бетона после испытания, в пределах длины их анкеровки, в сечениях, расположенных с шагом 10 мм, измерено в плоскости продольных ребер уменьшение поперечного размера стержня. По этим измерениям были вычислены соответствующие значения локальных остаточных удлинений в каждом таком сечении.

Данные измерений в виде графиков распределения по длине средних значений остаточных деформаций удлинения стержней (д) в пределах зоны изначального

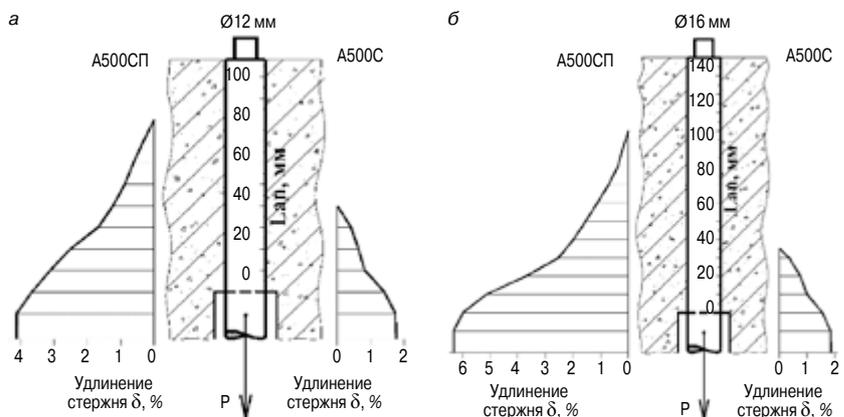


Рис. 4. Распределение пластических удлинений арматурных стержней в пределах зоны заделки арматуры в бетон с $l_{ан}=9d$: а – $\varnothing 12$ мм; б – $\varnothing 16$ мм

Оценка эффективности применяемых в РФ типов периодических профилей стержневой арматуры

Геометрические параметры и оценочные характеристики периодического профиля стержней, определяющие высокие эксплуатационные качества арматуры (нормируемые параметры выделены жирным шрифтом)	Оптимальные уровни значений и показателей	Значения геометрических параметров и оценочных характеристик для применяемых в РФ типов арматурных профилей. Число знаков (+) – условно балльная оценка эксплуатационных качеств		
		Кольцевой по ГОСТ 5781	Серповидный двухсторонний по ГОСТ Р 52544	Серповидный четырехсторонний по ТУ 14-1-5526
Относительная площадь смятия поперечных ребер f_R	0,07–0,08	Фактическая 0,093–0,128 (++)	Нормируемая не менее 0,043–0,056 (++)	Нормируемая не менее 0,075–0,078 (+++)
Шаг поперечных ребер (с учетом допусков) t	(0,6–0,8) дн	0,3–0,7 дн (++)	Табл. 2: (0,4–1,0) дн Прил. А: (0,42–0,69) дн (++)	(0,50–0,86) дн (+++)
Высота поперечных ребер (для серповидных ребер – максимальная) h	$\geq 0,065$ дн	(0,04–0,05) дн (++)	Табл. 2: (0,065–0,1) дн Прил. А: (0,067–0,083) дн (+++)	(0,063–0,083) дн (+++)
Плавность сопряжения боковых поверхностей поперечных и продольных ребер с поверхностью сердечника (радиус сопряжения r)	Максимально возможный	1,5–3,5 мм (только для поперечных ребер) (++)	Не предусматривается и не нормируется (рис. А.1 в прил. А) (++)	Предусматривается (рис. 1), но не нормируется (+++)
Коэффициент охвата сердечника поперечными ребрами	(0,8–0,9) лдн	(0,85–0,95) лдн (+++)	(0,75–0,80) лдн (++)	(0,85–0,95) лдн (+++)
Отношение расстояния в свету между поперечными ребрами к их высоте c/h	≥ 8	3,12–6,5 (+)	4,72–7,1 (++)	7,12–10,75 (+++)
Возможность увеличения высоты поперечных ребер для достижения оптимальной площади смятия ребер f_R	Не требуется до 0,07–0,08	Не требуется (+++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
Способность при минимальных нормируемых значениях f_R сохранения сцепления с бетоном при пластических деформациях арматуры за пределом текучести	–	Средняя (++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
Возможность усиления сцепления с бетоном при повышении площади смятия ребер (при адекватном поперечном армировании конструкции)	Высокая	Малая (++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
Способность обеспечения нормируемого уровня сопротивления динамическим, в том числе циклическим, нагрузкам	Высокая	Средняя (++)	Высокая (+++)	Высокая (+++)
Деформативность железобетонных изгибаемых элементов (балок, плит) при нормативной нагрузке	Низкая	Низкая (+++)	Средняя (++)	Низкая (+++)
Трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов (балок, плит) при нормативной нагрузке	Высокая	Высокая (+++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
Защита от воздействия агрессивных сред (с учетом п. 12)	Высокая	Высокая (+++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
Способность при минимальных нормируемых значениях f_R к обеспечению надежности и жесткости концевых анкеров (обжатых шайб) на предварительно напрягаемых арматурных стержнях с натяжением на упоры форм	Высокая	Высокая (+++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
Длина зоны передачи напряжений на бетон при отпуске натяжения арматуры	Малая	Малая (+++)	Средняя (++)	Малая (+++)
Распорность профиля на длине зоны передачи напряжений на бетон при значениях f_R : – минимальных нормируемых, – при фактических высоких и близких к оптимальным	Низкая Низкая	Высокая (+) Высокая(+)	Низкая (+++) Средняя (++)	Низкая (+++) Низкая (+++)
Узнаваемость (простота идентификации) класса арматуры на стройплощадке	Высокая	Средняя (++)	Средняя (++)	Высокая (+++)
Технологичность в производстве	Высокая	Средняя (++)	Высокая (+++)	Высокая (+++)
Суммарная условно балльная оценка эффективности типов периодического профиля арматурных стержней		(+)42	(+)42	(+)57

контакта с бетоном приведены на рис. 4. Различия в характере распределения этого параметра по длине стержней в зоне заделки для серповидного четырехстороннего профиля (А500СП) и серповидного двухстороннего профиля (А500С) достаточно очевидны. Для стержней с серповидным двухсторонним профилем глубина распространения пластических деформаций в среднем вдвое меньше, чем у стержней с новым профилем.

Полученные данные наглядно показывают, что новый периодический профиль при длине анкеровки в 3–4 раза меньше требуемой СП для восприятия расчетного сопротивления не только обеспечивает более значительные усилия вытягивания стержней из бетона по

Список литературы

1. Тихонов И.Н. Проектирование элементов зданий из железобетона на аварийные нагрузки с учетом свойств арматурного проката // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2007. № 4. С. 52–56.
2. Тихонов И.Н. Эффективное армирование железобетонных конструкций без предварительного напряжения // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 25–27.
3. Снимщиков С.В., Харитонов В.А., Суриков И.Н., Харитонов В.А., Петров И.М. Анализ уровня качества арматурного проката класса В500С на основе методов математической статистики // *Черная металлургия*. 2013. № 8. С. 48–59.
4. Тихонов И.Н. Исследование железобетонных элементов с эффективной арматурой класса А500 // *Сборник научных трудов НИИЖБ*. 2013. С. 179–190.
5. Смечников А.С., Залесов А.С., Мешков В.З., Квасников А.А. Характер сцепления с бетоном стержневой арматуры различных профилей // *Бетон и железобетон*. 2007. № 5. С. 2–7.
6. Тихонов И.Н., Гуменюк В.С. К вопросу об оценке влияния холодного упрочнения арматуры на ее сопротивление сжатию // *ЖБИ и конструкции*. 2010. № 2. С. 16–20.
7. Тихонов И.Н., Гуменюк В.С. О расчетном сопротивлении сжатию арматуры, упрочненной в холодном состоянии // *Метизы*. 2008. № 2 (18). С. 26–30.
8. Мадатян С.А. Свойства арматуры железобетонных конструкций в России на уровне лучших мировых стандартов // *Бетон и железобетон*. 2013. № 5. С. 2–5.
9. Мадатян С.А. Новая арматурная сталь класса А 600 С // *Стройметалл*. 2010. № 5. С. 7–10.
10. Мадатян С.А. Холоднодеформированная арматура класса В 500 С // *Метизы*. 2008. № 2. С. 20–25.
11. Тихонов И.Н. Оценка эффективности арматурного проката с различными видами периодического профиля поверхности // *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 29–34.
12. Звездов А.И., Снимщиков С.В., Харитонов В.А., Сокol H., Харитонов А.В. Формат поставки бухтового арматурного проката и его качество на отечественном рынке // *Черная металлургия*. 2016. № 10 (1402). С. 53–62.
13. Тихонов И.Н., Мешков В.З., Расторгуев Б.С. Проектирование армирования железобетона. М.: ЦНТП им. Г.К.Орджоникидзе, 2015. 273 с.
14. Mayer, U (2002), Zum Einfluss der Oberflächengestalt von Ripptnstählen auf das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen, Dissertation, Universität Stuttgart, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, IWB – Mitteilungen 2002/1.
15. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. М.: Воентехлит, 2000. 256 с.
16. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1974. 233 с.

сравнению с обычным серповидным двухсторонним профилем, но и удерживает максимальное усилие сцепления при в несколько раз больших пластических деформациях арматурного стержня и, следовательно, способен обеспечить более высокую «живучесть» конструкций в экстремальных ситуациях.

Оценка эффективности применяемых в России типов периодических профилей стержневой арматуры приведена в табл. 1, в конце которой дана суммарная условно балльная оценка применяемых в РФ видов профиля стержневого арматурного проката, наглядно демонстрирующая преимущество нового четырехстороннего периодического профиля арматуры класса А500СП.

References

1. Tikhonov I.N. Designing of elements of buildings from a lezobeton on emergency loadings taking into account properties are of maturity hire. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*. 2007. No. 4, pp. 52–56. (In Russian).
2. Tikhonov I.N. Effective reinforcing of steel concrete designs without preliminary tension. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 25–27. (In Russian).
3. Snimshchikov S.V., Kharitonov V.A., Kharitonov V.A., Surikov I.N., Petrov I.M. Analysis of the level of quality of reinforcing B500C class hire on the basis of methods of mathematical statistics. *Chernaia metalurgija*. 2013. No. 8, pp. 48–59. (In Russian).
4. Tikhonov I.N. Investigation of reinforced concrete elements with an effective reinforcement of class A500. *Sbornik nauchnyh trudov NIIGB*. Moscow: NIIZhB. 2013, pp. 179–190. (In Russian).
5. Semchenkov A.S., Zalesov A.S., Meshkov V.Z., Kvasnikov A.A. Character coupling rod to concrete reinforcement of various profiles. *Beton i zhelezobeton*. 2007. No. 5, pp. 2–7. (In Russian).
6. Tikhonov I.N., Gumenyuk V.S. To a question of assessment of influence of cold hardening of fittings on her resistance to compression concrete goods. *ZhBI i konstrukt-sii*. 2010. No. 2, pp. 16–20. (In Russian).
7. Tikhonov I.N., Gumenyuk V.S. About the settlement resistance to compression of fittings strengthened in a cold state. *Metizy*. 2008. No. 2 (18), pp. 26–30. (In Russian).
8. Madatyan S.A. Properties of an armature of steel concrete designs in Russia at the level of the best international standards. *Beton i zhelezobeton*. 2013. No. 5, pp. 2–5. (In Russian).
9. Madatyan S.A. New reinforcing steel of the class A 600 C. *Strojmetall*. 2010. No. 5, pp. 7–10. (In Russian).
10. Madatyan S.A. Holodnodeformirovannaya armatura of the class B 500 C. *Metizy*. 2008. No. 2, pp. 20–25. (In Russian).
11. Tikhonov I. N. An efficiency evaluation of reinforcing hire with different types of a periodic profile of a surface. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2013. No. 3, pp. 29–34. (In Russian).
12. Zvezdov A.I., Snimshchikov S.V., Kharitonov V.A., Sokol H., Haritonov A.V. Format of delivery of bukhtovy reinforcing hire and its quality in the domestic market. *Chernaja metallurgija*. 2016. No. 10 (1402), pp. 53–62. (In Russian).
13. Tikhonov I.N., Meshkov V.Z., Rastorguyev B.S. Proektirovanie armirovaniya zhelezobetona [Steel concrete reinforcing designing]. Moscow: TsNTP of G.K. Ordzhonikidze, 2015. 273 p.
14. Mayer, U (2002), Zum Einfluss der Oberflächengestalt von Ripptnstählen auf das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen, Dissertation, Universität Stuttgart, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, IWB – Mitteilungen 2002/1.
15. Madatyan S.A. Armatura zhelezobetonnyh konstrukcij [Armature of steel concrete designs]. Moscow: Voyentekhlit, 2000. 256 p.
16. Mulin N. M. Sterzhnevaya armatura zhelezobetonnyh konstrukcij [Rod armature of steel concrete designs]. Moscow: Stroyizdat. 1974. 233 p.

УДК 622.245.422

Е.Ф. ФИЛАТОВ, главный технолог (filatove@mail.ru)

ООО УК «Брянский завод крупнопанельного домостроения» (241031, г. Брянск, ул. Речная, 99А)

Экспресс-методы прогнозирования активности цемента в заводской лаборатории

С целью прогнозирования марки цемента существует множество методов ускоренной оценки активности цемента, которые разрабатывались для потребителей цемента. В последние годы разработаны и широко применяются в практике предприятий стройиндустрии ускоренные методы прогнозирования активности цемента, так называемые контракциометрические методы оперативного определения и прогнозирования активности цемента, основанные на установленной взаимосвязи активности с процессами уменьшения абсолютного объема цементного материала в результате гидратации цемента. Наряду с использованием в лабораторной практике контракциометров с 2009 г. в России стали применяться автоматические контракциометрические приборы. Рассматриваются способы ускоренного определения активности цемента в условиях строительной лаборатории.

Ключевые слова: портландцемент, цементное тесто, активность цемента, контракциометрические приборы, железобетонные изделия, прочность бетона, качество железобетонных конструкций.

Для цитирования: Филатов Е.Ф. Экспресс-методы прогнозирования активности цемента в заводской лаборатории // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 46–48.

E.F. FILATOV, Chief Technologist (filatove@mail.ru)

ООО УК "Bryansk Large-Panel Prefabrication Plant" (99A, Rechnaya Street, 241031, Bryansk, Russian Federation)

Express-Methods for Forecasting Cement Activity in the Plant Laboratory

There are many methods of accelerated assessment of the cement activity which were developed for cement consumers with the purpose of forecasting the cement brand. During recent years, accelerated methods for forecasting the cement activity, so-called contraction-metric methods of operative determination and forecasting of the cement activity based on the established interconnection of the activity with processes of reducing the absolute volume of cement material as a result of cement hydration were developed and are widely used in the practice of building industry enterprises. Along with the use of contraction-meters in the laboratory practice, since 2009 automatic contraction-metric devices are used in Russia. Methods for accelerated determination of the cement activity under the building laboratory conditions are considered.

Keywords: portland cement, cement paste, cement activity, contraction-metric devices, reinforced concrete products, concrete strength, quality of reinforced concrete structures.

For citation: Filatov E.F. Express-methods for forecasting cement activity in the plant laboratory. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 46–48. (In Russian).

Использование экспресс-методов позволяет инженерам строительной лаборатории при поступлении новой партии цемента осуществлять испытания его с помощью прибора индикатора активности цемента ИАЦ-03 уже через час иметь первую оценку активности, которая через 3 ч по результатам испытаний контракционным экспресс-методом («Цемент-Прогноз») может быть уточнена. Наряду с этим через сутки, применив метод ЦНИПС-2 или метод ускоренного определения активности цемента в бетоне (метод Миронова–Френкеля), в прогнозировании активности цемента позволит приблизиться к ее истинному значению [1–4]. Знание реальной активности цемента, используемого при приготовлении бетонной смеси, позволяет оперативно вносить коррективы в ее состав, уменьшая изменчивость прочности бетона за контролируемый период. Это позволяет рационально расходовать цемент, а также, что наиболее важно, оперативно предупреждать возможное резкое снижение прочности бетона, которое зачастую возникает вследствие существенных различий активности цемента смежных партий.

В российской практике строительства наибольшее применение получили следующие способы определения активности цемента основанные:

- на методике в соответствии с ГОСТ 310.4–81;
- на методике ускоренного определения активности ЦНИПС-2, разработанной И.М. Френкелем;
- на методике оценки удельной контракции, разработанной институтом ВНИИФТРИ, с помощью прибора КД-07;
- на методике измерения электрического потенциала цементно-водной суспензии с помощью прибора – индикатора активности цемента (ИАЦ-03);

– на методике ускоренного определения активности цемента в бетоне, разработанной профессорами С.А. Мироновым и И.М. Френкелем.

Из перечисленных методов наиболее оперативным является экспресс-метод с применением прибора ИАЦ-03. Прибор состоит из датчика, включающего два электрода, погружаемых в сосуд с раствором цемента. Датчик подключается к процессору, снабженному дисплеем. Навеску цемента массой 12 г интенсивно перемешивают с 400 мл воды, имеющей $t = 20^{\circ}\text{C}$. После стабилизации показаний на дисплее отмечают последнее показание, которое и будет являться прогнозируемой активностью цемента. Общее время определения активности цемента этим методом со всеми подготовительными операциями составляет около часа.

Контракциометрический метод оперативного определения и прогнозирования активности цемента основан на установленной взаимосвязи активности с процессами уменьшения абсолютного объема цементного материала в результате гидратации цемента.

Для экспресс-метода определения активности цемента по его удельной контракции необходимо иметь переносной прибор контрактометр КД-07 или ВМ-7.7.

Прибор КД-07 включает контейнер для цементного теста объемом 500 и 700 мл. Контейнер помещают в сосуд, закрывающийся герметичной крышкой, снабженной водомерной трубкой, сообщающейся с внутренней полостью сосуда.

Цементное тесто с густотой на 0,5% больше нормальной укладывают в контейнер, уплотняют на виброплощадке и устанавливают в сосуд контрактометра. Установка контейнера в сосуд, закрытие крышки и герметизация последнего осуществляются под водой.



Рис. 1. Цемент-Прогноз

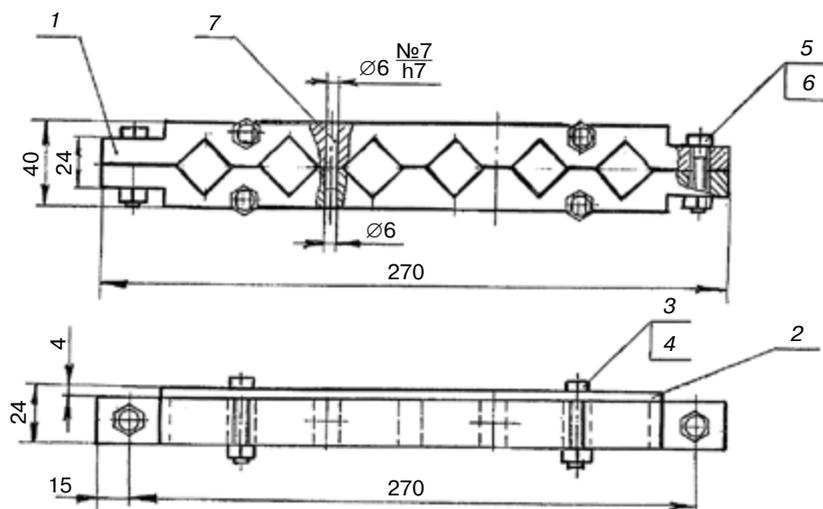


Рис. 2. Шестиместная форма контрольных кубов 6FK-20 для изготовления цементных образцов 20×20×20 мм состоит из двух стенок (1), крышки (2), четырех болтов с гайками М6×30 (3, 4); четырех болтов с гайками М8×30 (5, 6); штифта (7). Материал формы – нержавеющая сталь

После этого заполняют водой внутреннюю полость сосуда, доведя уровень воды в водомерной трубке до отметки «0». Контракцию определяют по уровню воды в водомерной трубке в контрольные моменты времени. Удельную контракцию определяют как общую контракцию, приведенную к единице массы цемента, входящего в состав цементного теста, находящегося в контейнере. Методика ВНИИФТРИ (МИ 2487–98) предусматривает расчет активности цемента неизвестного завода-изготовителя путем определения удельной контракции через 3,6 ч и 7 сут. При поставке цемента с одного завода допускается определение контракции через 3 или 6 ч.

Таким образом, минимальная продолжительность определения активности цемента прибором КД-07 составляет 3 ч (без учета времени на определение нормальной густоты).

Необходимо также отметить, что выпускаемые в России контракциометры КД-07 и ВМ-7.7 находят широкое применение на предприятиях стройиндустрии, но их технические возможности ограничены визуальным контролем за процессом контракции, на лаборанта возложены функции считывания уровня воды в мерной трубке через заданный интервал времени и ручная обработка результатов по методикам.

Российским предприятием разработан, запатентован и с 2009 г. выпускается первый автоматический контракциометрический прибор «Цемент-Прогноз» (рис. 1), состоящий из электронного блока, измерительной камеры, стакана для пробы цементного теста и сервисной компьютерной программы.

Прибор автоматически регистрирует температуру и изменение объема воды в герметично закрытой и заполненной водой измерительной камере с размещенным в ней стаканом с пробой цемента. Оперативная оценка активности цемента выдается автоматически по трехчасовой контракции с ее преобразованием в показатели активности по градуировочным зависимостям, хранящимся в памяти прибора. Процесс измерения контракции отображается на дисплее в графической и цифровой форме. Имеется также режим получения базовых показателей цемента по семисуточной контракции.

Измерительная камера выполнена цельнофрезерованной из легкого композитного материала и оснащена прецизионной измерительной системой. Стакан для пробы изготовлен из полиамида, его конструкция со съёмным дном позволяет после испытания извлекать цементный образец без повреждения. Получаемый образец имеет форму, близкую к цилиндрической, и может в 28-суточном возрасте испытываться на сжатие с целью проверки и корректировки оперативных прогнозов активно-

Таблица 1

Расход материалов на замес

Состав бетона Ц:П:Щ	Ц/В	Ориентировочный расход цемента, кг/м ³	Расход материалов на замес, кг			
			Цемент	Песок	Гранитный щебень	Вода
1:2:3	2	375	2	4	6	1

Таблица 2

R_1 / R_{28}

Ц / В	R_1 / R_{28} для разных марок цемента		
	400	500	600
2	0,6	0,64	0,68

сти цемента. Испытываться могут как цементные, так и растворные образцы.

Поставляемый с прибором специализированный адаптер дает возможность проводить испытания одновременно в 3–8 измерительных камерах с отображением процессов на дисплее электронного блока и на мониторе компьютера в течение длительного времени, а сервисная компьютерная программа обеспечивает широкий спектр функций по визуализации, обработке и архивированию получаемых данных.

Ускоренное определение активности цемента по методу ЦНИПС-2 известно из ГОСТ 310.4–81. Однако применительно к современным цементам, испытываемым по ГОСТ 310.4–81, рекомендуется дополнительно применять поправочные коэффициенты. Для проведения испытаний по этому методу необходимо иметь две кассетные формы для образцов-кубов размером 20×20×20 мм (по бшт. в каждой форме-кассете) (рис. 2), стандартный встряхивающий столик по ГОСТ 310.4–81, бак для тепловой обработки образцов над слоем кипящей воды и пресс для испытания образцов на сжатие с усилием до 5 т. Испытания проводятся на образцах, изготовленных из цементного теста нормальной плотности, уложенного в форму штыкованием с последующим уплотнением на встряхивающем столике. Через 20 ч хранения во влажных условиях шесть образцов в одной из форм помещают в пропарочную камеру и пропаривают над кипящей водой в течение 4 ч. Через час после этого обе формы раскрывают и образцы испытывают на сжатие.

По отношению прочности пропаренных образцов и образцов нормальной твердения с применением поправочных коэффициентов определяют прогнозируемую активность цемента. Продолжительность испытаний по методу ЦНИПС-2 составляет чуть более 24 ч. По данным лаборатории по бетонам ЦНИПС, поправочный коэффициент в зависимости от срока и условий хранения цемента на складах колеблется от 1 до 1,2.

Практика использования этого метода (ЦНИПС-2) показала, что метод ЦНИПС-2 дает хорошие результаты для цементов с близкой по значению нормальной плотностью.

Наряду с перечисленными методами ускоренного определения активности на предприятиях стройиндустрии широкое применение получил метод, предложенный профессорами, докторами техн. наук С.А. Мироновым и И.М. Френкелем. Суть его заключается в следующем.

В качестве заполнителя для приготовления бетона следует применять гранитный щебень фракции 5–20 мм и природный песок с модулем крупности в пределах от 2 до 2,5. Заполнители должны быть предварительно высушены до постоянной массы при температуре 105–110°C.

Приготавливают бетонную смесь состава 1:2:3 (табл. 1). Материалы перемешивают на противне вручную в течение 4–5 мин.

Затем формируют три образца-близнеца размером 10×10×10 см. Форму, заполненную бетонной смесью с некоторым избытком, устанавливают и жестко закрепляют на виброплощадке с амплитудой колебаний 0,35 мм и частотой 2800–3000 колебаний в минуту и подвергают вибрации до полного уплотнения, характеризующего прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности и появлением на ней тонкого слоя цементного теста. Поверхность образцов тщательно заглаживают.

После изготовления и двухчасовой выдержки образцы помещают в формы в пропарочную камеру, где подвергают тепловой обработке при атмосферном давлении по режиму 3+6+2 ч и следующей температуре изотермического прогрева: 80–85°C, если бетонная смесь

приготовлена на портландцементях и шлакопортландцементях. Через 12 ч с момента отключения пара образцы извлекают из форм, проводят испытание на сжатие и приводят к прочности стандартных кубов с ребром 20 см с использованием коэффициента 0,85.

По результатам прочности бетона после тепловой обработки R_f , используя данные табл. 2, находят прочность бетона через 28 сут после твердения в нормальных условиях R_{28} .

Прочность цемента при сжатии $R_{ц}$ определяется с использованием формулы (1):

– портландцемента и шлакопортландцемента марок 400–500:

$$R_{ц} = 2,18 \times R_{28} - 260 \text{ (формула Л.А. Кайсера).} \quad (1)$$

По прочности цемента с учетом допускаемого отклонения последней на + 5% оценивают марку цемента.

В том случае, если результат определения марки цемента в бетоне отклоняется от паспортных данных на 15–25%, опыт должен быть повторен с соответствующим изменением значения отношения R_f / R_{28} . Вновь полученный результат считать окончательным.

Таким образом, при использовании сразу четырех методов у инженера лаборатории появляется возможность при поступлении новой партии цемента и испытаниях его с помощью прибора ИАП-03 уже через час иметь первую оценку активности, которая через три часа по результатам испытаний контракционным экспресс-методом может быть уточнена. А через сутки, применив еще и метод ЦНИПС-2 либо метод Миронова–Френкеля, в прогнозировании активности цемента можно приблизиться к ее истинному значению.

Несомненно, такой подход требует дополнительных усилий со стороны строительной лаборатории. Однако эффект при регулярном оперативном контроле свойств поступающего цемента предприятия ощутит уже в первый месяц работы. Применяемые для экспресс-методов приборы просты в работе и могут быть использованы техническим персоналом любой строительной лаборатории.

Список литературы

1. Сизов В.П. Рациональный подбор составов тяжелого бетона. М.: Стройиздат, 1995. 52 с.
2. Губайдуллин Г.А., Леонидов С.М. Новый прибор для оценки качества цемента // *Жилищное строительство*. 2009. № 12. С. 17–18.
3. Звездов А.И., Малинина Л.А., Руденко И.Ф. Технология бетона и железобетона в вопросах и ответах. М.: НИИЖБ, 2005. 434 с.
4. Болотских О.Н. Европейские методы физико-механических испытаний цемента. Харьков: Спектр, 2015. 89 с.

References

1. Sizov V.P. Rational'snyi podbor sostavov tyazhelogo betona [Rational selection of compositions of heavy concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1995. 52 p.
2. Gubaidulin G.A., Leonidov S.M. The new device for assessment of quality of cement. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2009. No. 12, pp. 17–18.
3. Zvezdov A.I., Malinina L.A., Rudenko I.F. Tekhnologiya betona i zhelezobetona v voprosakh i otvetakh [Tekhnologiya of concrete and reinforced concrete in questions and answers]. Moscow: NIIZhB, 2005. 434 p.
4. Bolotских O.N. Evropeiskie metody fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy tsementa [The European methods of the physicist-mechanical tests of cement]. Khar'kov: Spektr, 2015. 89 p.

УДК 691.327.33

А.А. ВИШНЕВСКИЙ¹, канд. техн. наук (vishnevskiy@teplit.ru); Г.И. ГРИНФЕЛЬД², инженер, исполнительный директор, А.С. СМИРНОВА², инженер, помощник исполнительного директора

¹ Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19)

² Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона (193091, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 40, литер А)

Российский рынок автоклавного газобетона. Итоги 2016 года

Представлено текущее состояние подотрасли ПСМ – производства автоклавного газобетона. Показаны объем производства автоклавного газобетона в России и его доля на рынке мелкоштучных материалов. Дано сравнение динамики производства газобетона в России и сопредельных странах – Беларуси, Казахстане и Украине. Приведено распределение произведенного автоклавного газобетона по маркам по средней плотности. Отмечено, что продолжилось снижение плотности выпускаемых изделий, увеличилась доля выпуска теплоэффективной продукции. Показаны доли разных видов изделий: неармированных и армированных различного назначения. Показаны региональные различия цен на газобетонные блоки, дан прогноз объемов производства автоклавного газобетона на 2017 г. Общий выпуск продукции снизился на 9,1%, загрузка мощностей упала до 64%, отпускные цены уменьшились на 5,1%.

Ключевые слова: автоклавный газобетон, ячеистый бетон, статистика, объем производства, региональные особенности, марка по средней плотности, мелкоштучные материалы, прогноз выпуска.

Для цитирования: Вишнеvский А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Российский рынок автоклавного газобетона. Итоги 2016 года // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 49–51.

A.A. VISHNEVSKY¹, Candidate of Sciences (Engineering) (vishnevskiy@teplit.ru); G.I. GRINFELD², Engineer, Executive Director,

A.S. SMIRNOVA², Engineer, Assistant Executive Director

¹ Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin (19, Mira Street, 620002, Ekaterinburg, Russian Federation)

² National Association of Autoclave Gas Concrete Producers (40 A, Oktyabrskaya Embankment, 193091, Saint-Petersburg, Russian Federation)

Russian Market of Autoclave Gas Concrete. Results of 2016

The current state of the sub-sector PSM, production of autoclave gas concrete, is presented. Volumes of the autoclave gas concrete production in Russia and its share at the market of small piece materials are shown. The comparison of the dynamics of aerated concrete production in Russia and neighboring countries, Belarus, Ukraine and Kazakhstan, is made. The distribution of produced autoclaved gas concrete according to the average density of brands is presented. It is noted that the reduction in the density of produced articles continues, and the share of heat-efficient articles production increased. Different types of products, non-reinforced and reinforced for various purposes are shown. Regional differences in the prices of gas concrete blocks are shown; the volumes of autoclave gas concrete in 2017 are forecasted. Total output of production decreased by 9.1%, capacity utilization fell to 64%, factory prices decreased by 5.1%.

Keywords: autoclave gas concrete, cellular concrete, statistics, volume of production, regional peculiarities, brand on density, small piece materials, forecast of production.

For citation: Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I., Smirnova A.S. Russian market of autoclave gas concrete. Results of 2016. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 49–51. (In Russian).

В 2016 г. российский рынок штучных стеновых материалов сократился. Спад объемов строительства, который, по оценке Минстроя РФ, составил 6,5 %, закономерно привел к уменьшению потребления стеновых материалов. По данным ФСГС, в 2016 г. весь рынок стеновых материалов снизился в сравнении с 2015 г. на 11,4%. Таким образом, позитивный тренд последних нескольких лет, сопровождавшийся увеличением емкости рынка стеновых материалов, в минувшем году был прерван.

Как на этом фоне изменились показатели рынка автоклавного газобетона (АГБ) и чего ожидают производители АГБ от наступившего 2017 г.? Эти и другие вопросы легли в основу очередного исследования рынка АГБ, проведенного Национальной ассоциацией производителей автоклавного газобетона (НААГ) в январе–феврале 2017 г. Исследование, как и в прошлые годы [1–4], проведено путем анкетирования российских производителей АГБ. Собранные данные подверглись экспертной оценке, после которой были вычислены общепромышленные показатели. Ниже приведены основные результаты исследования.

В настоящее время на российском рынке АГБ представлено 77 производителей с совокупной установленной мощностью 18 757 500 м³/г. За минувший год ряды производителей АГБ пополнились новым заводом в Калужской области.

Значительная часть имеющихся мощностей представлена импортными технологическими комплексами (рис. 1). На долю отечественного оборудования приходится 18,5%.

Общий выпуск АГБ в 2016 г. составил 11 844 206 м³. В сравнении с 2015 г. выпуск снизился на 9,1%. По данным авторов 53 завода в 2016 г. уменьшили выпуск готовой продукции. В итоге средняя загрузка производственных мощностей в отчетный период снизилась до 64,3%.

Полученные сведения о динамике производства близки к официальной статистике, из которой следует, что выпуск всего ячеистого бетона в 2016 г. уменьшился на 10,9% (табл. 1). При этом следует отметить, что падение производства ячеистого бетона оказалось менее существенным, чем для стеновой керамики и силикатного кирпича.

В сравнении с данными из республик бывшего СССР российский рынок АГБ в отчетный период претерпел меньшее снижение (табл. 2). В Белоруссии снижение выпуска достигло 19%, в Казахстане 11%. При этом на Украине на фоне некоторого снижения ввода жилья зафиксирован прирост производства АГБ как за счет вытеснения других стеновых материалов, так и за счет общего роста емкости рынка стеновых материалов.

Часть продукции, выпущенной в соседних государствах, поставляется на российский рынок. В частности,

Таблица 1

Производство стеновых мелкоштучных материалов в 2015–2016 гг. (данные ФСГС)

Наименование продукции	Производство, млн шт. усл. кирпича		Изменение, %
	2015 г.	2016 г.	
Кирпич керамический неогнеупорный строительный	6677	5575	-16,5
Блоки керамические строительные для обычной кладки	384	322	-16,3
Кирпич керамический	516	392	-24
Кирпич силикатный	3191	2155	-32,5
Блоки и камни стеновые мелкие из бетона	637	599	-5,9
Блоки стеновые мелкие из ячеистого бетона	9053	8068	-10,9

Таблица 2

Выпуск АГБ в России, Украине, Белоруссии и Казахстане в 2015–2016 гг.

Страна	Выпуск АГБ, млн м ³		Изменение, %
	2015 г.	2016 г.	
Россия	13,02	11,84	-9,1
Белоруссия	2,75	2,23	-19
Украина	3,1	3,6	16,1
Казахстан	0,82	0,73	-11,1

Таблица 3

Доля определенных марок по плотности в общем выпуске АГБ в 2015–2016 гг.

Период	Доля от общего объема выпущенного АГБ, %						
	D200	D300	D400	D500	D600	D700	D800
2015	0,02	0,35	10,14	65,8	22,33	1,35	0,01
2016	0,01	0,4	10,42	66,27	21,9	0,99	0

Таблица 4

Средняя плотность произведенного АГБ в 2012–2016 гг.

Средняя плотность всей продукции, кг/м ³				
2012	2013	2014	2015	2016
520,6	518,4	516,7	514,1	512,6

по данным Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, экспорт на российский рынок в 2016 г. составил 779 тыс. м³ изделий из АГБ. Из Казахстана за отчетный период ввезено в пределах 50 тыс. м³. С учетом этого общее потребление АГБ в России в 2016 г. можно оценить на уровне 12,8–13 млн м³.

В 2016 г. российские производители выпускали АГБ плотностью в диапазоне 200–700 кг/м³ (табл. 3). Наиболее массовой маркой, как и прежде, остается D500. На долю данной продукции приходится 66,3% от общего выпуска АГБ. В сравнении с предыдущим годом распределение плотностей практически не изменилось: доля продукции марок D400 и D500 чуть повысилась, а марок D600 и D700 – незначительно снизилась. При этом усредненная плотность всего газобетона, выпу-

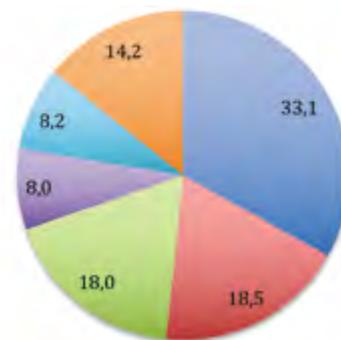


Рис. 1. Доля различных поставщиков оборудования, представленных на российском рынке АГБ: ■ – Werhahn; ■ – MASA – MASA-HENKE; ■ – отечественное; ■ – WKB; ■ – Hess; ■ – прочее

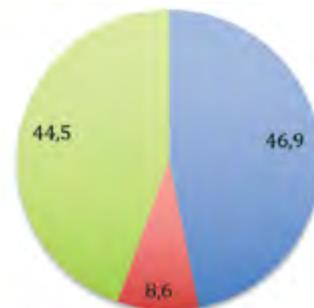


Рис. 2. Структура выпуска армированных изделий из АГБ в 2016 г., % от общего числа армированных изделий: ■ – перемычки; ■ – плиты; ■ – стеновые панели

щенного в 2016 году, чуть снизилась в сравнении с прошлогодним показателем и составила 512,6 кг/м³ (в 2015 г. – 514,1 кг/м³). Таким образом, и в отчетный период сохранилась тенденции незначительного снижения плотности выпускаемого АГБ, наблюдаемая в последние годы (табл. 4). Снижение плотности обусловлено востребованностью решений, обеспечивающих экономически оправданное снижение трансмиссионных теплопотерь ограждающими конструкциями [5, 6].

Основной продукцией, выпускаемой из АГБ, остаются мелкие стеновые блоки. Что касается армированных изделий, то в 2016 г. об их выпуске отчиталось 12 предприятий. В общей сложности они выпустили 46 740 м³ армированных изделий, что на 35,3% ниже показателя 2015 г. Другими словами, падение производства армированных изделий в отчетном периоде оказалось более существенным, чем снижение выпуска всего газобетона.

Как и прежде, основным продуктом, выпускаемым из армированного газобетона, являются перемычки. На их долю приходится 46,9% от общего выпуска армированных изделий (рис. 2). Чуть меньше в 2016 г. выпустили стеновых панелей – 44,5%. Последний показатель обеспечен двумя заводами (Пермь, Ижевск), которые сохранили выпуск домокомплектов серии КПД, в состав которых входят стеновые панели из АГБ.

Анализ цен на блоки из АГБ, приводимых производителями в общедоступных прайс-листах, показал, что средняя розничная цена на момент проведения исследования составила 3160 р./м³, что на 169 р. (5,1%) ниже цены в аналогичный период 2016 г. Максимальная цена – 5500 р./м³ зафиксирована на Дальнем Востоке. Минимальный уровень цен (2300 р./м³) отмечен в Приволжье. Средняя цена на АГБ снижается уже два года подряд. На данный момент газобетон продается по цене ниже уровня 2014 г.

Таким образом, проведенные исследования показали, что спад строительства оказал прямое влияние на

основные показатели рынка АГБ. Общий выпуск продукции снизился на 9,1%, загрузка мощностей упала до 64%, отпускные цены уменьшились на 5,1%. Вместе с тем продолжилось снижение плотности выпускаемых изделий, увеличилась доля выпуска теплоэффективной продукции. Общее же снижение объемов производства оказалось не столь значительным, как у производителей стеновой керамики и силикатного кирпича.

Список литературы

1. Левченко В.Н., Гринфельд Г.И. Производство автоклавного газобетона в России: перспективы развития подотрасли // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 44–47.
2. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Куликова Н.О. Анализ рынка автоклавного газобетона России // *Строительные материалы*. 2013. № 7. С. 40–44.
3. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона в России // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 52–54.
4. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона. Итоги 2015 года. Прогноз на 2016 год // *Строительные материалы*. 2016. № 5. С. 4–8.
5. Гринфельд Г.И. Диалектика нормативных требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций // *Жилищное строительство*. 2012. № 1. С. 22–24.
6. Гринфельд Г.И., Коркина Е.В., Пастушков П.П., Павленко Н.В., Ерофеева И.В. Система ограждающих конструкций, обеспечивающая повышенное энергосбережение в зданиях // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2016. № 3. С. 25–35.

Относительно прогнозов на наступивший год следует отметить, что большинство российских производителей демонстрируют оптимизм: 52 из 77 предприятий заявили о планах увеличения выпуска в 2017 г. С учетом этого общий выпуск в наступившем году может составить 13,3 млн м³ и превысить показатель предыдущего года на 12 %. Такой рост позволит вернуть объем выпуска на уровень производства 2014 г.

References

1. Levchenko V.N., Grinfel'd G.I. Production of Autoclaved Aerated Concrete in Russia: prospects of development of subsector. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 9, pp. 44–47. (In Russian).
2. Vishnevsky A.A., Grinfel'd G.I., Kulikova N.O. Analysis of Autoclaved Aerated Concrete Market of Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 7, pp. 40–44. (In Russian).
3. Vishnevsky A.A., Grinfel'd G.I., Smirnova A.S. Production of Autoclaved Aerated Concrete in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 52–54. (In Russian).
4. Vishnevsky A.A., Grinfel'd G.I., Smirnova A.S. Manufacture of Autoclaved Aerocrete. Results of 2015. Forecast for 2016. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 5, pp. 4–8. (In Russian).
5. Grinfel'd G.I. Dialectics of Specified Requirements for Resistance of Enclosing Structures to Heat Transfer. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 1, pp. 22–24. (In Russian).
6. Grinfel'd G.I., Korkina E.V., Pastushkov P.P., Pavlenko N.V., Erofeeva I.V. The system of the protecting designs providing the increased energy saving in buildings. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2016. No. 3, pp. 25–35. (In Russian).

InterStroyExpo
WorldBuild St. Petersburg

Самая крупная на Северо-Западе России выставка строительных и отделочных материалов

19–21 апреля 2017
Санкт-Петербург
КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

Генеральный информационный партнер:
СТРОИТЕЛЬНЫЙ АСН ИНФО

Ведущий отраслевой партнер:
Ктостроит.ru в Петербурге
Ежегодный форум

Медиа партнер:
Стройгазета ГРУППА ГАЗЕТ

Организатор Группа компаний ITE
+7 (812) 380-60-14, build@primetro.ru

В рамках выставки:
Acity

Получите электронный билет
worldbuild-spb.ru

УДК 666.92:621.745.326.1

А.В. НЕСТЕРОВ¹, доцент, канд. техн. наук, генеральный директор (anest126@mail.ru);
Д.О. ДАТУКАШВИЛИ², генеральный директор

¹ ООО «КИАНИТ» (196105, г. Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, 1)

² ООО «МАГМА инжиниринг» (174411, Новгородская обл., г. Боровичи, ул. Александра Невского, 10)

Производство кальциевой извести в России

Приведен обзор производства кальциевой извести в России в шахтных и вращающихся печах различной конструкции. Даны основные технические характеристики печей, работающих на газовом топливе для обжига различных видов карбонатного сырья. Рассмотрены новые технические решения, позволяющие выполнить модернизацию печей с целью повышения сортности извести, производительности печей и снижения расхода топлива. Представлены новые решения по устройству энергосберегающей футеровки шахтных и вращающихся печей, позволяющие более чем в два раза уменьшить потери тепла через кожух печи. Рассмотрены различные конструкции горелочных устройств, загрузочных и разгрузочных узлов шахтных и вращающихся печей. Затронуты вопросы правильной эксплуатации печей и выбора оптимального режима обжига. Перечислены основные критерии, по которым выбирается тип и конструкция печей для обжига известняка или мела.

Ключевые слова: известь, известняк, мел, шахтная печь, вращающаяся печь.

Для цитирования: Нестеров А.В., Датукашвили Д.О. Производство кальциевой извести в России // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 52–59.

A.N. NESTEROV¹, Docent, Candidate of Sciences (Engineering), General Director (anest126@mail.ru); D.O. DATUKASHVILI², General Director

¹ ООО «КИАНИТ» (1, Yuriya Gagarina Avenue, St. Petersburg, 196105, Russian Federation)

² ООО «MAGMA engineering» (10, A. Nevskogo Street, Borovichi, Novgorod Oblast, 174411, Russian Federation)

Production of High-Calcium Lime in Russia

A review of production of high-calcium lime in Russia in shaft and rotary kilns of different design is presented. Main technical characteristics of kilns operating on gas fuel for burning of different types of carbonate raw materials are given. New technical decisions which make it possible to modernize kilns in order to improve the lime grade, increase the productivity of kilns and reduce the fuel consumption are considered. New solutions on making the energy saving lining of shaft and rotary kilns which make it possible to reduce the heat loss through the kiln casing more than twice are presented. Various designs of burners, loading and unloading devices of shaft and rotary kilns are considered. Issues of the correct operation of kilns and selection of the optimal burning conditions are addressed. Main criteria for selection of the type and design of kilns for limestone or chalk burning are listed.

Keywords: lime, limestone, chalk, shaft kiln, rotary kiln.

For citation: Nesterov A.N., Datukashvili D.O. Production of high-calcium lime in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 52–59. (In Russian).

Кальциевая известь производится из известняка или мела, содержащих не более 5% карбоната магния. Обжиг этих карбонатных пород осуществляется в шахтных или вращающихся печах при температуре 1000–1250°C с получением извести [1]. Реакция разложения карбоната кальция (известняка) эндотермическая, для получения 1 кг CaO требуется 3185 кДж тепла. Теоретически для получения 1 кг извести I сорта с активностью 94% требуется 2994 кДж (715 ккал) тепла, что равноценно сжиганию 0,089 м³ природного газа, или 0,102 кг усл. топлива. При обжиге карбонатных пород в промышленных печах расход тепла существенно больше и составляет:

- для шахтных печей 840–1050 ккал/кг;
- для вращающихся печей 1400–1600 ккал/кг.

Кальциевая известь применяется во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства. Крупнейшими потребителями извести являются металлургические предприятия и строительная отрасль. Основные направления применения извести:

- в металлургии при выплавке стали для удаления соединений фосфора, серы и других примесей требуется 70 кг высокореакционной извести I сорта на 1 т металла;
- в строительной отрасли для производства силикатных изделий (кирпича и газобетонных блоков) в сырьевую массу добавляют 7–10% извести II или III сорта; для производства сухих строительных смесей и полимерцементных материалов используется гашеная известь в количестве 3–8%;
- в химической промышленности известь используется для производства кальцинированной соды, кар-

бида кальция, хлорной извести, бертолетовой соли, синтетического каучука и др.;

- в горно-металлургической отрасли известь применяют для обогащения рудных полезных ископаемых (минералы железа, меди, золота, алюминия, марганца и др.);
- в пищевой промышленности – для производства сахара, соды;
- в различных отраслях промышленности – для очистки сточных вод и дымовых газов.

Качество извести (ГОСТ 9179–77 «Известь строительная») определяется следующими параметрами:

- активность (содержание активных CaO+MgO);
- содержание непогасившихся зерен (н. з.);
- остаточное содержание CO₂, степень декарбонизации;
- время и температура гашения.

Кроме того, при производстве извести в печах на газовом топливе важны следующие экономические показатели:

- расход топлива (природного газа);
- расход электроэнергии;
- стоимость добычи и подготовки сырья (известняка, мела);
- капитальные затраты;
- затраты на обслуживание и ремонт.

Анализ себестоимости извести показывает, что основные затраты (≈70%) приходятся на сырье и топливо, причем расходы на технологическое топливо могут составлять 50% и более, 15–20% составляют амортизационные отчисления и затраты на ремонт оборудования, все остальные расходы не превышают 10–15% себесто-

Таблица 1

Характеристики	Производительность, т/сут			
	50	100	150	200
Диаметр печи, м наружный внутренний	3,2 2	4,5 3,2	4,8 3,6	5,7 4,4
Высота шахты печи, м общая от разгрузочного квадрата до нижнего яруса между нижним и верхним ярусами ПГ от верхнего яруса ПГ до нижнего среза дымоотвода от дымоотвода до верхней крышки печи	20–22 4–6 – 8–10 3–4	20–22 4–6 2–3 10–12 2,5–3	20–24 4–6 2–3 10–12 2,5–4	22–24 4–6 2–3 10–12 2,5–4
Строительная высота печи, м	34	37	37	37–40
Удельный расход газа***, м ³ /т	115–130	110–125	120–130	120–130
Температура извести на выгрузке, °С	80	120	120	120
Температура дымовых газов, °С	180–200	180–230	180–230	180–230
Активность извести (СаО+MgO), %	87–91*	86–89* 82–84**	Нет данных	
Остаточное содержание СО ₂	2,5–3	3–3,5	Нет данных	
Примечания: * Известняк Касимовского месторождения. ** Известняк Угловского известкового комбината. *** Низшая теплота сгорания газа 33620 кДж/м ³ .				

имости [2]. Отсюда следует, что снижение стоимости сырья и расхода топлива являются наиболее важными задачами при производстве извести.

Обжиг известняка и мела осуществляется в шахтных или вращающихся печах. Тип и конструкция печей определяются в первую очередь качеством исходного сырья.

В шахтных печах обжигаются твердые породы известняка узкой фракции с размерами кусков не менее 30–40 мм. Чаще всего используют фракции 40–80 и 70–140 мм. Прочность известняка должна быть не менее 30 МПа. Не обжигаются в шахтных печах карбонатные породы, подверженные растрескиванию при нагревании, а также известняки, склонные к образованию в печи сваров (спеков).

Преимущества шахтных печей:

- относительно низкий расход топлива;
- компактное размещение печи на небольшой площади;
- высокая степень обжига (95–98%);
- длительный срок службы футеровки (до 8 лет).

Недостатки:

- необходимость использования узкой фракции известняка;
- повышенные требования к качеству известняка.

Шахтные печи имеют производительность от 40 до 250 т/сут.

Во вращающихся печах обжигаются мягкие породы известняка в виде узких фракций менее 50 мм либо меловой шлам с влажностью до 40%.

Преимущества вращающихся печей:

- большая единичная мощность;
- высокая степень обжига (95–98%), мало зависящая от качества сырья;
- возможность обжига мелких фракций;
- возможность обжига известняка и мела низкой прочности.

Недостатки:

- повышенный удельный расход топлива;
- срок службы футеровки меньше, чем в шахтных печах (менее трех лет);

– значительный пылевынос и соответственно большие затраты на аспирацию;

– большие капиталовложения, большая металлоемкость агрегатов.

Вращающиеся печи имеют производительность от 250 до 1000 т/сут.

Шахтные печи для производства извести

В настоящее время в России эксплуатируются шахтные печи, построенные в 1970–1990-х гг., которые хорошо себя зарекомендовали на протяжении многих десятилетий и стабильно выпускали и выпускают сейчас комовую известь II и III сорта.

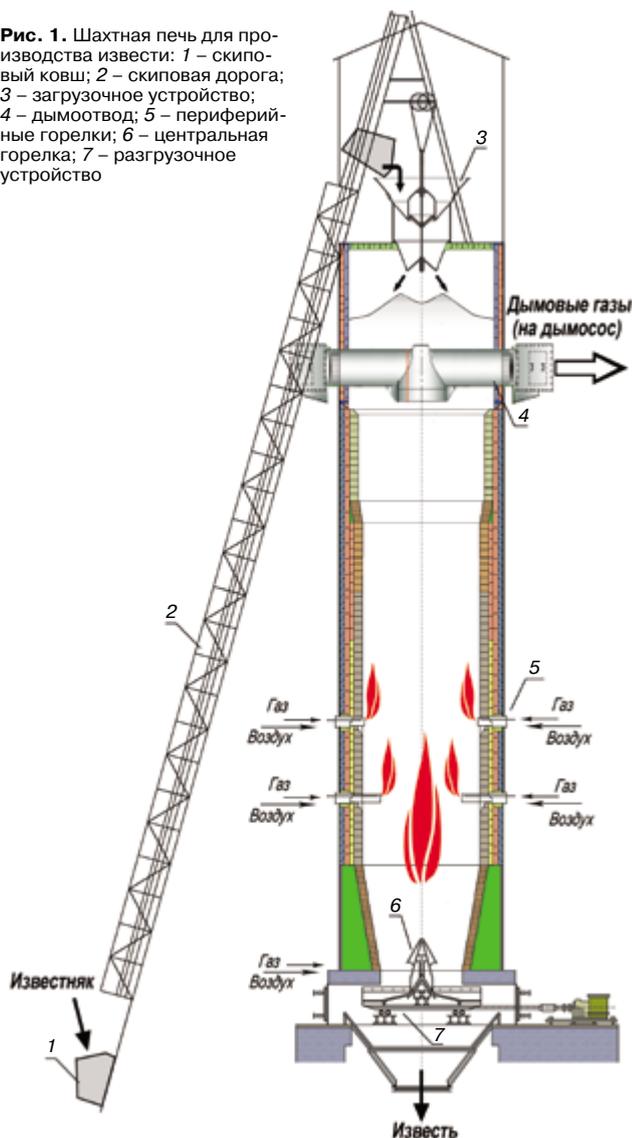
Ранее большинство производителей выпускали известь III сорта с активностью 70–75% и остаточным содержанием СО₂ 6–10%. Однако в настоящее время требования к качеству извести повысились. Многие зарубежные производители предлагают экономичные шахтные печи, позволяющие получить известь I и II сорта с остаточным содержанием СО₂ 1,5–2,5% (активность 85–95%).

Кроме того, важным показателем качества извести является время ее гашения. Для разных потребителей требуется разное время гашения. Поэтому возможность регулировать глубину обжига и время гашения (реактивность) извести является важным преимуществом современных известеобжигательных печей.

За последние десятилетия некоторые российские производители извести приобрели современные шахтные печи западных компаний, таких как Мерц (Maerz), Чимпроджетти (Cimprogetti), СИК (SiC), Терруцци Феркалькс (Terruzzi Fercalx) и др. Эти печи характеризуются низким расходом топлива, высоким качеством продукции. Однако стоимость возведения таких печей в несколько раз выше стоимости современных шахтных печей российского производства.

Многие предприятия пошли по пути реконструкции существующих шахтных печей и получили результаты, сравнимые с западными технологиями при существенно меньших затратах [3]. В России успешно

Рис. 1. Шахтная печь для производства извести: 1 – скиповый ковш; 2 – скиповая дорога; 3 – загрузочное устройство; 4 – дымоотвод; 5 – периферийные горелки; 6 – центральная горелка; 7 – разгрузочное устройство



работают шахтные печи, построенные в последние десятилетия по проектам российских компаний.

Основным преимуществом цилиндрических противоточных шахтных печей является простота их конструкции, экономичность, однако производительность шахтной печи ограничена максимальным диаметром 4–5 м, что соответствует максимальной производительности 200–250 т/сут (табл. 1). На предприятиях известковой промышленности обычно устанавливают не менее двух шахтных печей для обеспечения гибких условий производства и возможности вывода одной из печей на ремонт.

Рассмотрим современные решения, позволяющие получить известь I и II сорта на шахтных печах российского производства. Схема шахтной печи производительностью 100 т извести в сутки представлена на рис. 1.

Известняк фракции 70–140 мм из расходного бункера подается в бункер-дозатор, где происходит его взвешивание. После набора необходимого веса (700–900 кг) загрузка известняка останавливается, набранный вес фиксируется системой АСУТП и известняк выгружается в скиповый ковш (1).

Далее известняк скиповым подъемником по скиповой дороге (2) поднимается к верхней части печи и загружается в печь через герметичный двухклапанный загрузочный механизм (3). Загрузочный механизм рабо-

тует следующим образом: известняк из скипового ковша высыпается в загрузочную воронку, затем верхний клапан открывается и известняк пересыпается в промежуточную камеру; после закрытия верхнего клапана открывается нижний клапан и известняк высыпается в печь.

Загрузка известняка в печь осуществляется автоматически по специальному алгоритму, позволяющему поддерживать постоянный уровень материала в печи и выдерживать равномерную загрузку известняка.

В печи известняк медленно проходит через различные зоны шахты, постепенно превращаясь в известь. Условно можно выделить три зоны:

- зона загрузки и предварительного нагрева известняка;

- зона обжига известняка;

- зона охлаждения и выгрузки извести.

В верхней части загрузочной зоны размещен дымоотвод (4), через который из осевой зоны печи удаляются отработанные газы. Благодаря специальной конструкции дымоотвода соблюдается симметричный профиль движения дымовых газов и уменьшается влияние пристенного эффекта. Поэтому горячие отработанные газы равномерно поднимаются по всему поперечному сечению печи, обеспечивая равномерный обжиг известняка.

В зоне предварительного нагрева, расположенной вверху печи, известняк нагревается от восходящего потока горячих газов и поступает в зону обжига нагретым до 900–950°C. Температура отходящих дымовых газов в зависимости от обжигаемой фракции и высоты шахты составляет 180–230°C.

В зоне обжига установлено два яруса периферийных горелок (5) по 8–12 горелок в каждом ярусе, защищенных фурмами и вынесенными внутрь печи. Через горелочные устройства топливо и воздух для горения подаются в слой известняка. Воздух подается в недостаточном количестве, необходимого для охлаждения фурм, поэтому полное сгорание топлива происходит внутри слоя известняка.

Внутри футеровки установлены датчики разрежения и температуры, которые регистрируют интенсивность обжига и обеспечивают безопасность управления печью.

После прохождения зоны кальцинации известь поступает в зону охлаждения. Здесь холодный воздух, идущий снизу печи, охлаждает известь.

В нижней части печи установлена центральная горелка и охлаждаемая воздухом балка (6). Подача воздуха в балку позволяет охлаждать балку и известь, которая обтекает ее в нижней части печи. В верхней части балки установлено устройство ввода газа (центральная горелка). Газ, поступающий в центральную горелку, воспламеняется в зоне первого яруса печи. Температура на центральной балке не превышает 200–400°C и автоматически регулируется подачей воздуха и разрежением на дымососе.

В зоне выгрузки температура извести регистрируется встроенными пирометрами. Температура выгружаемой извести поддерживается в пределах 80–120°C.

Выгрузка извести осуществляется за счет возвратно-поступательного движения колосниковой решетки (7). Живое сечение решетки и размеры разгрузочных окон подбираются исходя из фракции известняка и гранулометрического состава производимой комовой извести.

Известь выгружается в приемный бункер, который разгружается автоматически или оператором по мере его заполнения.

Рассмотрим работу основных узлов и механизмов печи.

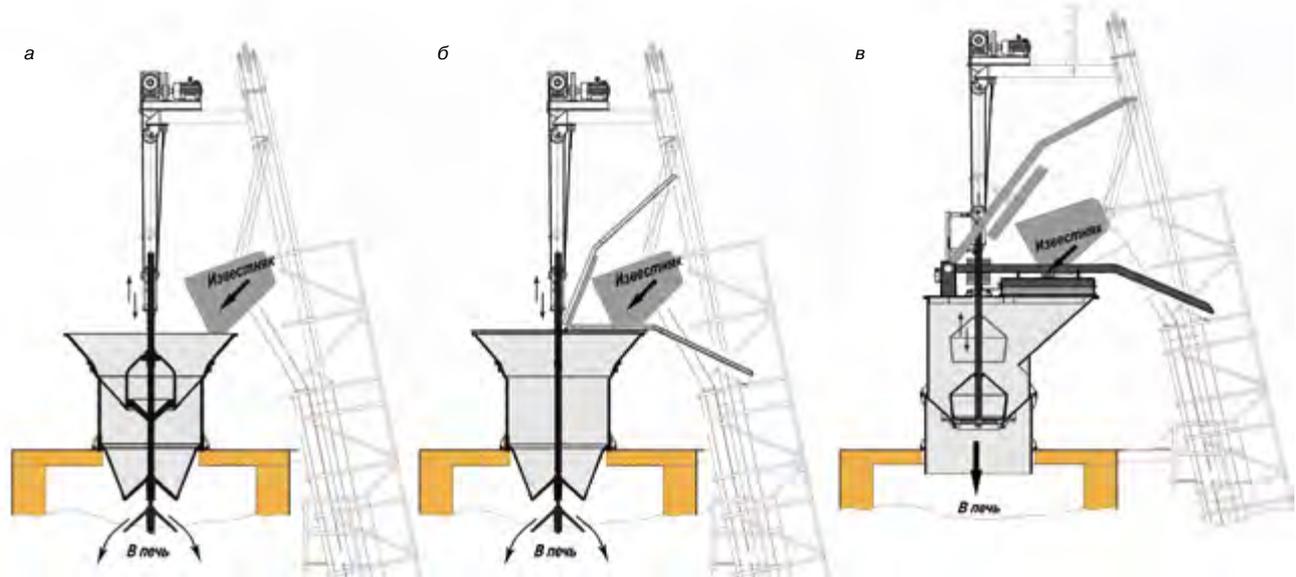


Рис. 2. Загрузочное устройство: а – существующая конструкция; б – реконструкция; в – современный вариант

Скиповый подъемник. Скиповый ковш с предварительно взвешенным известняком поднимается лебедкой по скиповой дорожке вверх печи. Электродвигатель лебедки управляется частотным преобразователем, который позволяет плавно разгонять ковш и снижать скорость его движения при подходе к загрузочному устройству. При отсутствии бункера для взвешивания, известняк взвешивается непосредственно в скиповом ковше.

Загрузочное устройство позволяет сохранять разрежение в верхней зоне печи за счет установки двух клапанов. Традиционная конструкция загрузочного устройства (рис. 2, а) может быть трансформирована (рис. 2, б) или заменена на более современное загрузочное устройство (рис. 2, в). При монтаже или ремонте механизма необходимо добиться герметичности, чтобы при открытии верхнего или нижнего клапана разрежение не изменялось более чем на 0,1 кПа.

На печи установлен ультразвуковой датчик уровня. Система АСУТП следит за равномерной загрузкой известняка по таймеру и одновременно контролирует уровень в печи. Если уровень в печи понижается или поднимается выше/ниже допустимого, система или оператор изменяет скорость выгрузки, а на время аварийной ситуации загрузка осуществляется по уровню.

Дымоотводящий короб осуществляет отбор дымовых газов из верхней зоны печи. На дымоотводе может быть установлен конус-распределитель для равномерного распределения камня по сечению печи. Дымоотводящий

короб погружен в слой известняка. Часть дымовых газов удаляется из-под крышки печи, что обеспечивает прогрев известняка над дымоотводящим коробом и удаление холодного воздуха, поступающего через неплотности загрузочного устройства.

Шахта печи футерована современными огнеупорными и теплоизоляционными материалами, которые позволяют минимизировать потери тепла через кожух печи. Футеровка выполнена из огнеупорных материалов – хроммагнетитового и шамотного и теплоизоляционных материалов – кальцийсиликатной плиты и пенодиатомитового теплоизоляционного кирпича.

На рис. 3 показан профиль температур в футеровке зоны обжига печи. При толщине футеровки 610 мм температура на наружной поверхности обечайки печи не превышает 60°C, а потери тепла составляют 760 Вт/м². Срок службы футеровки при правильной ее эксплуатации восемь лет.

Периферийные горелочные устройства позволяют ввести газ и воздух внутрь печи, что обеспечивает горение топлива внутри слоя известняка. Ввод газа осуществляется на расстояние 150–450 мм внутрь печи, что позволяет достичь более равномерного обжига известняка по сечению печи и предохранить футеровку от чрезмерного перегрева.

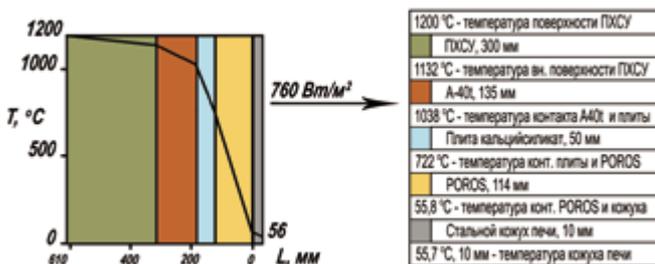


Рис. 3. Профиль температур в футеровке зоны обжига печи: ПХСУ – периклазохромитовый огнеупорный материал; А40t – огнеупорный материал с повышенным содержанием глинозема; POROS – теплоизоляционный материал; L – толщина футеровки

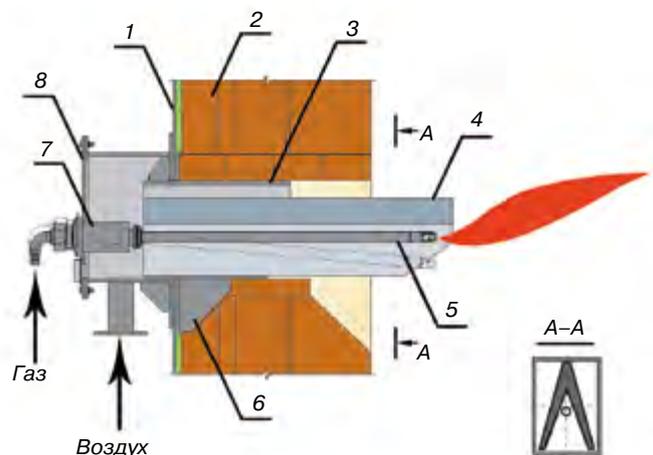


Рис. 4. Периферийная горелка: 1 – кожух печи; 2 – футеровка; 3 – короб внутренний; 4 – фурма защитная; 5 – горелочная труба; 6 – ребра жесткости; 7 – поворотное устройство; 8 – фланец лицевой

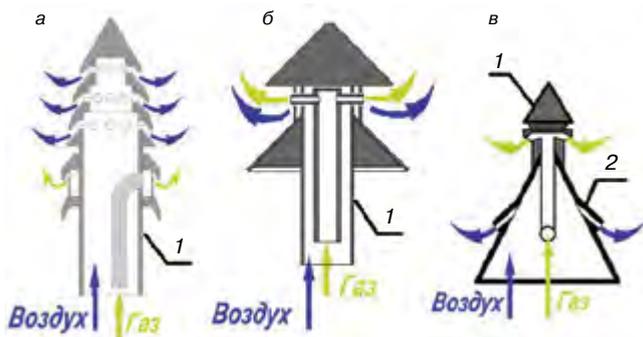


Рис. 5. Центральная горелка: 1 – горелка; 2 – балка-рассекатель

Схема горелочного устройства приведена на рис. 4. Горелочная труба (5) выступает внутрь печи и защищена фурмой (4) из жаропрочной стали. Внутри футеровки (2) горелка находится в коробе (3), закрепленном на обечайке печи (1).

Снаружи горелка закрыта горелочным ящиком (8) на лицевой стороне которого установлен фланец с отверстиями для гляделки и поворотным устройством (7), которое позволяет фиксировать горелочную трубу по центру. В отверстие гляделки при розжиге печи вставляется запальник (7). Горелочное устройство устанавливается в печи горизонтально или под углом 10–15° к горизонту.

Сгорание газа происходит внутри раскаленного слоя известняка. Воздух, который подается в количестве 30–50% от стехиометрического объема, охлаждает фурму. Срок службы фурмы составляет 1–3 года, после чего сгоревшая часть фурмы обрезается и наращивается до первоначальной длины.

Для равномерного обжига известняка выступающие внутрь печи фурмы имеют разную длину, например, 150 и 450 мм и располагаются по периферии яруса печи в шахматном порядке.

Центральная горелка устанавливается в нижней части печи на балке-рассекателе, которая делит разгрузочное сечение печи на две части.

Поскольку в зоне охлаждения температура извести невысокая, газ, выходящий из центральной горелки, поднимается вверх и воспламеняется только на уровне периферийных горелок. Для охлаждения центральной горелки вместе с газом в нее подают воздух. Существует несколько разных конструкций горелок [4, 5], которые изображены на рис. 5. Основным отличием является высота горелки и место подвода воздуха.

Выбор конкретной конструкции горелки определяется геометрическими размерами печи. Внутри центральной горелки устанавливается датчик температуры. Температура на горелке зависит от условий обжига, расхода газа и воздуха на горелку и от разрежения в печи. Максимально допустимая температура на центральной горелке 420°C. При превышении максимально допустимой температуры срабатывает аварийная сигнализация и происходит отключение подачи газа.

Выгрузочное устройство с движущейся колосниковой решеткой (рис. 6) включает в себя механизм выгрузки с движущейся колосниковой решеткой (2), бункер извести (5) и устройство выгрузки из бункера вибропитатель или качающийся питатель (8). Механизм выгрузки представляет собой сварную платформу (каретку) с колосниковой решеткой (2), установленную на четырех спаренных опорных катках (4), которые перемещаются по рельсовым балкам. Сечение шахты печи (1) в нижней части из круглого переходит в квадратное. Над колосниковой решеткой установлен рассекатель (3), который делит поток материала на две части. Каретка (2) совершает возврат-

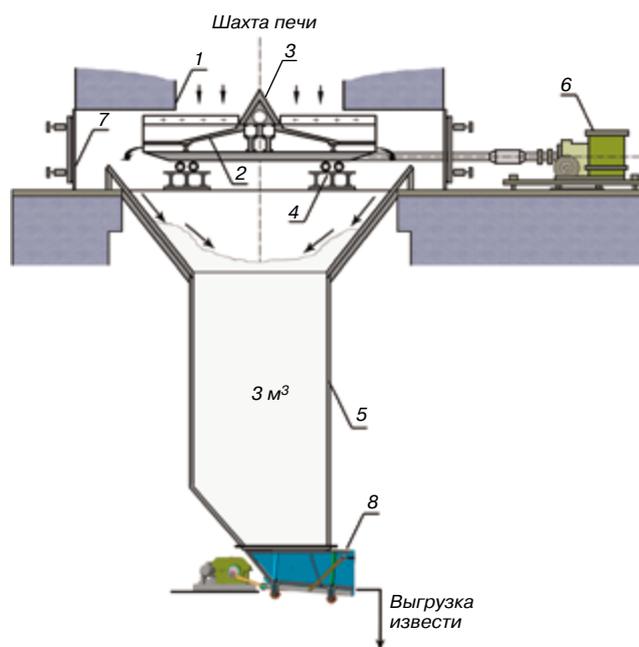


Рис. 6. Выгрузочное устройство: 1 – шахта печи; 2 – колосниковая решетка; 3 – балка-рассекатель; 4 – катки; 5 – бункер извести; 6 – механический привод; 7 – смотровые люки; 8 – питатель

но-поступательное движение, и материал разгружается по обе стороны каретки (показано стрелками) в бункер (5). Для визуального наблюдения за выгрузкой материала имеются смотровые окна, закрытые люками (7) для предотвращения подсоса холодного воздуха. Механизм обеспечивает равномерную выгрузку извести из печи с диаметром шахты до 4,5 м, прост по конструкции, надежен в работе, имеет сравнительно низкую удельную металлоемкость. Для привода каретки чаще всего применяют электромеханический привод (6). Для регулировки скорости движения каретки разгрузочного механизма используют частотный преобразователь, позволяющий плавно изменять разгрузку материала из печи.

Существуют другие, более современные устройства для выгрузки извести из печи [4, 6]. Вопрос о замене или ремонте существующего выгрузочного устройства решается с учетом экономической целесообразности.

Таким образом, противоточная шахтная печь круглого сечения с периферийными и центральной горелками, построенная вновь или печь существующая, прошедшая реконструкцию, вполне может конкурировать с зарубежными аналогами шахтных печей. Автоматизация печи позволяет отслеживать все аварийные ситуации и выдерживать заданный технологический режим.

Однако эксплуатация печи требует от персонала следовать строго технологической инструкции, не изменять режим и конструкцию печи без предварительных расчетов и испытаний.

Основные ошибки при эксплуатации шахтных печей: – подача воздуха в печь в избыточном количестве;

Таблица 2

Печь №	Активность, % (CaO+MgO)	O ₂ , %	CO ₂ , %	CO, %
1	64	13,1	11,8	0,4
2	87	5,2	23,8	0,3
5	85,5	7,2	14,8	0,4
11	84	10,5	12,8	0,8

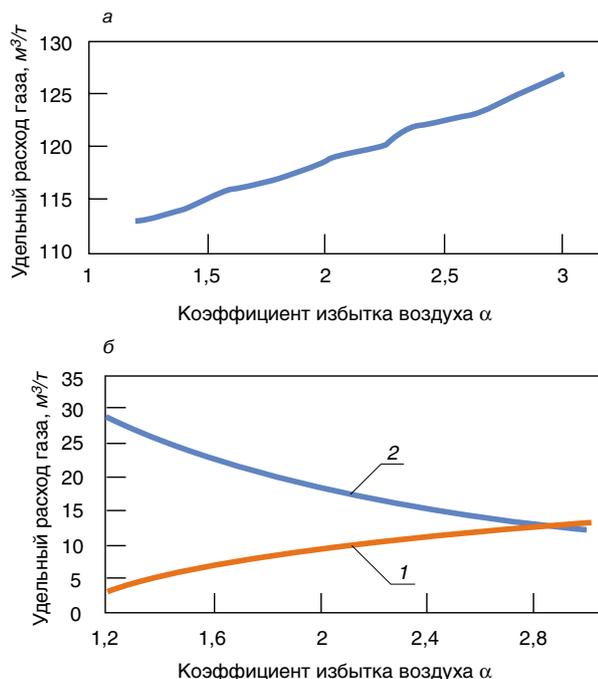


Рис. 7. Зависимость удельного расхода газа (а) и концентрации в дымовых газах кислорода и углекислого газа (б) от коэффициента избытка воздуха: 1 – кислород; 2 – диоксид углерода

– неудовлетворительное качество загружаемого материала, способствующее образованию сваров в печи (большое количество мелочи, песка в сырье, отсутствие распределения известняка при загрузке);

– неправильное распределение газа по горелочным устройствам;

– несимметричная выгрузка материала из печи.

Так, например, очень часто операторы не следят за герметичностью шахты: люки, гляделки держат постоянно открытыми, пустой бункер извести способствует подосу холодного воздуха через выгрузочное устройство. В результате большой избыток воздуха на горение снижает температуру в зоне обжига, увеличивает нагрузку на дымосос и в итоге снижает активность выгружаемой извести и увеличивает удельный расход топлива. На рис. 7, а приведена зависимость удельного расхода газа от коэффициента избытка воздуха. Анализ дымовых газов шахтных печей ряда заводов (табл. 2) показал высокое содержание кислорода в отходящих из печи дымовых газах.

По данным газоанализа был рассчитан коэффициент избытка воздуха, который для печей 1 и 11 оказался выше 2, в то время как оптимальный избыток воздуха должен составлять не более 40%, а содержание CO₂ в отходящих газах – не менее 21% [4]. На графике (рис. 7, б) показан расчетный состав дымовых газов в зависимости от коэффициента избытка воздуха.

Для оптимальной работы печи важно правильно распределить расход газа по горелочным устройствам. Обычно 30–40% от всего объема газа приходится на центральную горелку, остальная часть газа распределяется по периферийным горелкам. На нижний ярус подается меньше газа, чем на верхний ярус. Кроме того,

оператор корректирует расход газа на каждую периферийную горелку в зависимости от состояния обжигаемого материала на этой горелке и показаний датчиков температуры внутри зоны обжига. Часто бывает, что «печь работает одним боком» и перераспределение газа позволяет устранить этот недостаток.

Правильная эксплуатация печи позволяет выпускать известь высокого качества при минимальном расходе топлива.

Шахтные печи с балочными горелками, а также печи с установленным внутри шахты керном [7] позволяют добиться более равномерного распределения температуры по сечению печи и получить известь более высокого качества. Конструкция этих печей является предметом отдельного рассмотрения.

При добыче известняка в карьере образуется более 50% фракции с размерами менее 40 мм, которая непригодна для обжига в шахтных печах. Возникает необходимость утилизации (переработки) накопленных отвалов. Этот вопрос можно решить несколькими способами.

Наиболее прямой – поставить в дополнение к шахтной печи вращающуюся печь, которая сможет работать на фракции 10–40 мм. Второй способ заключается в переработке известняка на минеральные порошки. На некоторых известняковых заводах организована комплексная переработка отвалов – из отсеков производится щебень, известняковая мука (ГОСТ 14050–93, 26826–86), крошка (ГОСТ 26826–86), минеральный порошок для производства асфальтобетона. (ГОСТ Р 52129–2003).

Вращающиеся печи для производства извести

Вращающиеся (роторные) печи позволяют обжигать карбонатные породы, которые невозможно обжечь в шахтных печах. Бесспорным преимуществом вращающихся печей является возможность получения извести со стабильным и высоким качеством (активность 92–96%, остаточный CO₂ в извести менее 2%).

В зависимости от свойств исходного сырья используются длинные или короткие вращающиеся печи. Длинные вращающиеся печи имеют отношение длины барабана L к диаметру D (в свету) в пределах 35–40. Короткие печи работают с запеченными теплообменниками и имеют отношение L/D=14–20.

В длинных печах (длина 75–150 м) обжигают малочечное карбонатное сырье, содержащее большое количество мелких фракций с влажностью до 40%. В коротких печах (длина барабана 40–70 м) обжигают известняки в виде узких фракций: 0,1–2 мм; 10–20 мм; 20–40 мм с влажностью до 8%.

В табл. 3 представлены размеры и характеристики коротких печей, снабженных запечными теплообменниками.

Температура материала в печи не превышает 1200°C и зависит от вида обжигаемого сырья. Температура газовой среды выше температуры обжигаемого материала на 250–300°C.

Схема короткой противоточной вращающейся печи [4] представлена на рис. 8.

Печь состоит из вращающегося барабана (1), запечного шахтного теплообменника для подогрева сырья (2)

Таблица 3

Размер барабана*, м	2,5×40	3×46	3,5×54	4×60	4,3×64	4,8×68
Производительность, т/сут (т/ч)	150 (6,2)	250 (10,4)	350 (14,6)	600 (25)	800 (33,3)	1000 (41,7)
Примечание. * Диаметр × длина.						

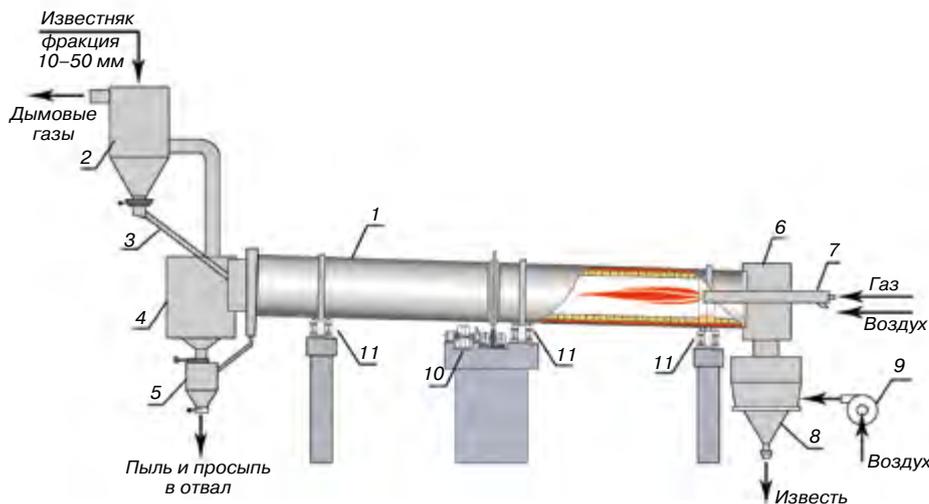


Рис. 8. Короткая вращающаяся печь для производства извести: 1 – футерованный барабан; 2 – подогреватель известняка; 3 – тачка загрузочная; 4 – пылесосапельная камера; 5 – бункер пыли; 6 – головка горячего конца печи; 7 – горелка; 8 – охладитель извести; 9 – дутьевой вентилятор; 10 – механический привод печи; 11 – роликовые опоры

и охладителя извести (8), газовой горелки (7), газоочистного оборудования (циклонов, фильтра для очистки дымовых газов), дымососа и дутьевых вентиляторов для охлаждения извести и оборудования.

Корпус печи (1) представляет собой сваренный из секций полый стальной барабан диаметром от 2,2 до 7 м и толщиной до 30 мм. На корпусе закреплены бандажи, опирающиеся на роликовые опоры (11). Корпус печи фиксируется в определенном положении на роликовых опорах системой гидравлических упорных роликов.

Для повышения жесткости корпуса его толщину под бандажами и приводной шестерней увеличивают в 2–3 раза. Применявшиеся с этой целью прежде кольца жесткости не оправдали себя на практике и в печах последних конструкций отсутствуют.

Корпус печи имеет наклон 3–4% к горизонту и вращается со скоростью 0,5–1,5 об/мин от электродвигателя, соединенного с корпусом через редуктор, подвешенную и венцовую шестерни (10). С увеличением диаметра корпуса увеличивается радиальное усилие, передаваемое подвешенной шестерней. Поэтому печи большой мощности снабжены двусторонним приводом с одной венцовой и двумя подвешенными шестернями.

Остановка печи в любом положении осуществляется электромагнитным фрикционным тормозом, зажимающим приводной вал при срабатывании электромагнита.

Печь снабжена резервным (вспомогательным) приводом небольшой мощности, позволяющим вращать ее корпус со скоростью 4 об./мин в период пуска и при ремонтных работах.

Концевая обечайка разгрузочной части корпуса современных мощных печей охлаждается холодным воздухом, нагнетаемым вентилятором между ней и дополнительной конической обечайкой.

Представленная на рис. 8 печь предназначена для обжига фракционированного известняка. Подготовленный известняк фракции 20–50 мм из бункера загружается в противоточный шахтный подогреватель (2). Отходящие газы печи с температурой 850–950°C поступают в пылевую камеру (4) и далее в подогреватель (2), где нагревают слой известняка до температуры 700–800°C. Теплообмен осуществляется в противотоке между известняком и газами. После подогревателя отходящие газы с температурой 360–370°C поступают на газоочистку.

Далее нагретый известняк по наклонной тачке (3) самотеком поступает в загрузочный узел вращающейся печи (1). В тачке имеется узел отсева, при прохождении которого из потока удаляется образовавшаяся в подогревателе пыль и мелкий (до 5 мм) известняк. По отводной тачке просыпь поступает в пылевую камеру (4) и далее через клапан-мигалку в бункер (5), из которого автотранспортом отправляется на утилизацию или потребителю.

Во вращающейся печи известняк движется в противотоке с дымовыми газами, превращаясь в известь. Факел горелки (7), установленной на противоположном конце печи отдает свое тепло излучением и конвекцией материалу, который пересыхается во вращающемся барабане печи. Оптимальные длина факела и режим

сжигания топлива в печи подбираются (регулируются) с помощью газозвдушной горелки (7). Первичный воздух (10–15% от необходимого для полного горения топлива) подается в горелку высоконапорным вентилятором. Остальное количество воздуха поступает непосредственно в головку (6) горячего конца печи и далее непосредственно в барабан печи (1). Обожженная известь из печи через горячую головку (6) выгружается в шахтный охладитель (8), где охлаждается до температуры 50–80°C.

Охлаждающий воздух подается вентилятором (9) в воздухораспределительную камеру в центре корпуса охладителя. Проходя через слой извести, воздух за счет физического тепла извести нагревается до 300–350°C. Далее нагретый воздух по отдельному газоходу поступает в горячую головку печи (6) и используется для горения топлива. Расход воздуха, пропущенный через охладитель извести, обеспечивает горение топлива с коэффициентом избытка $\alpha=1,1-1,15$.

Таким образом, при горении топлива мы получаем дымовые газы с температурой 370°C, что существенно выше, чем в шахтных печах. Кроме того, потери тепла во вращающихся печах через корпус барабана в 10 раз выше, чем в шахтных, и составляют примерно 8–12 кВт/м², а температура обечайки может достигать 320–370°C в зоне обжига.

В длинных вращающихся печах, несмотря на размещение внутри барабана теплообменных устройств, потери тепла с дымовыми газами и через корпус печи еще выше. Поэтому удельный расход тепла в таких печах самый высокий. Однако высокие затраты на топливо в длинных печах частично компенсируются низкой стоимостью сырья.

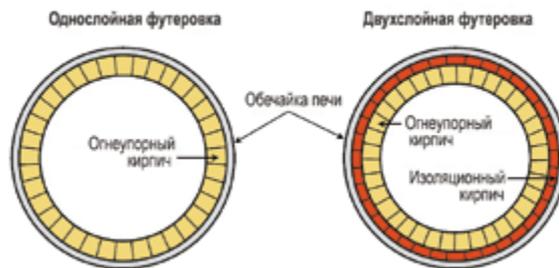


Рис. 9. Однослойная (а) и комбинированная (б) футеровка вращающейся печи

Для улучшения теплообмена между газовым потоком и материалом в холодной части длинных печей размещают внутренние теплообменные устройства (цепные и ячейковые теплообменники) [7].

Зона подогрева расположена в холодном конце печи начиная от места поступления в нее сырья и занимает до 70% общей длины корпуса длинной печи. Поступающий в зону подогрева материал проходит последовательно зону сушки и нагрева, зону обжига. Зона охлаждения в печах такого типа практически отсутствует, поэтому длинные печи работают совместно с барабанным охладителем материала [4].

В конце зоны обжига со стороны горелки расположен порог высотой 200–500 мм, иногда на расстоянии 16–18 м от него устраивают второй порог. Применение кольцевых порогов (местных сужений внутреннего диаметра печи) улучшает характеристики процесса обжига за счет увеличения времени пребывания материала в зоне высокой температуры и уменьшения потерь тепла излучением факела в холодный конец печи. В итоге устройство порогов в печи позволяет на 5–10% повысить ее производительность и несколько снизить удельный расход топлива на обжиг.

Выходящие из зоны подогрева длинной печи газы при правильной организации процесса обжига содержат 22–24% CO₂ и 2–2,5% O₂.

Обычно барабан вращающейся печи футеруют только одним слоем огнеупорного кирпича. Это связано с тем, что до недавнего времени отсутствовали теплоизоляционные материалы, сравнимые по прочности с огнеупорной футеровкой барабанной печи. Однако в настоящее время в Европе, США, а теперь уже и в развивающихся странах, куда приходят зарубежные компании, ни одна вращающаяся печь для выпуска извести или цемента не строится без применения энергосберегающих футеровок, сокращающих тепловые потери через корпус печи.

Речь идет о снижении тепловых потерь через корпус печи посредством устройства в печи комбинированной футеровки из огнеупорного и теплоизоляционного кирпича определенного дизайна, способной нести все возникающие рабочие нагрузки и напряжения в печи и одновременно вдвое снижать тепловые потери через корпус вращающейся печи.

Список литературы

1. Монастырёв А.В. Производство извести. М.: Высшая школа, 1971. 272 с.
2. Дресвянникова Е.А., Готулева Ю.В. Энергосберегающие технологии при производстве строительных материалов // *Современные наукоемкие технологии*. 2013. № 8–2. С. 301–302.
3. Нестеров А.В., Батышев Д.З. Новая жизнь шахтных печей // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 49–52.
4. Монастырёв А.В., Галиахметов Р.Ф. Печи для производства извести. Воронеж: Истоки, 2011. 392 с.
5. Патент РФ 2079785. Газовая горелка / Калашников Л.В., Калашников Г.Л. Заявл. 13.04.1995. Опубл. 20.05.1997.
6. Табунщиков Н.П. Производство извести. М.: Химия, 1974. 240 с.
7. Монастырёв А.В. Проекты эффективных шахтных и вращающихся печей с низким расходом топлива мощностью 200–600 т/сут извести // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 26–28.
8. А.В. Монастырёв. Пути снижения расхода топлива при обжиге мела с получением извести в длинных вращающихся печах // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 9–15.

Такая комбинированная футеровка представляет собой футеровку, состоящую из двух слоев (рис. 9). Внешний (рабочий) слой состоит из огнеупорного кирпича с высокими характеристиками по температуре применения, прочности и термостойкости. Внутренний слой, расположенный под внешним, состоит из теплоизоляционного кирпича с низкой теплопроводностью 0,26 Вт/(м·К), высокой прочностью (до 40 МПа) и высокой термостойкостью.

Такие показатели обеспечивают рабочему слою футеровки стабильную работу в горячих зонах печи, а теплоизоляционному слою позволяют справляться с физическими напряжениями и нагрузками, возникающими в печи и снижать потери через футеровку печи. Эффективность такой футеровки позволяет окупить ее устройство в печи уже в первый год эксплуатации. При этом гарантированный срок ее эксплуатации в зоне обжига печи составляет три года, а в холодных зонах (подогрева) – пять лет и более. Максимальная температура на корпусе печи с комбинированной футеровкой в среднем составляет не более 200°C при новой футеровке и не более 250°C при изношенной.

Таким образом, применение комбинированной футеровки позволяет снизить тепловые потери через кожух печи в зоне обжига с 8–12 до 4–5 кВт/м², что равносильно экономии 6,5 тыс. м³ горючего газа в сутки для печи с производительностью 450 т/сут.

В России энергосберегающие футеровки уже внедрены на предприятии ОАО «МОНДИ Сыктывкарский ЛПК» и ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ».

Показатели работы вращающейся печи во многом зависят от конструкций, оборудованных ею теплообменников и вспомогательных устройств (горелки, уплотнения, подогреватель известняка, охладитель извести и пр.). В России наиболее распространены печи диаметром 3,6 м и длиной 75 м. Корпусы самих печей изготавливаются на специализированных механических заводах.

В заключение следует отметить, что основными факторами, определяющими выбор конструкции печи для производства извести, является стоимость и качество сырья и топлива. Грамотная эксплуатация печей позволяет производить продукцию высокого качества с минимальными затратами.

References

1. Monastirev A.V. Proizvodstvo izvesti [Production of Lime]. Moscow: Vysshaya shkola. 1971. 272 p.
2. Dresvyannikova E.A., Gotuleva Yu.V. Energy saving technologies by production of construction materials. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii*. 2013. No. 8–2, pp. 301–302. (In Russian).
3. Nesterov A.V., Batychev D.Z. A New Life of Shaft Kilns. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 3, pp. 49–52. (In Russian).
4. Monastirev A.V., Galiakhmetov R.F. Pechi dlya proizvodstva izvesti [Kilns for production of lime]. Voronezh: Istoki. 2011. 392 p.
5. Patent RF 2079785. *Gazovaya gorelka* [Gas burner]. Kalashnikov L.V., Kalashnikov G.L. Declared 13.04.1995. Published 20.05.1997. (In Russian).
6. Tabunshchikov N.P. Proizvodstvo izvesti [Production of Lime]. Moscow: Khimiya. 1974. 240 p.
7. Monastirev A.V. Designs of Efficient Shaft and Rotary Kilns of 200–600t/d Capacity. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 2, pp. 26–28. (In Russian).
8. Monastirev A.V. Ways of Reduction of Fuel Consumption in the Course of Chalk Roasting with Production of Lime in Long Rotary Kilns. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 9–15. (In Russian).

ООО «КИАНИТ»

Тел.: (812) 947-04-58 E-mail: anest126@mail.ru
www.kianit.ru www.processes-apparates.ru
Россия, 196105, Санкт-Петербург,
пр. Юрия Гагарина, 1, оф. 642

Шахтные печи для производства извести:

- реконструкция;
- монтаж механизмов печи;
- пуско-наладка;
- проектирование.



Аппарат для гашения извести (гидратор):

- изготовление аппарата;
- монтаж оборудования участка гашения извести;
- инженерное сопровождение и пуск.



Реклама



XXII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

ВОЛГАСТРОЙЭКСПО

25-28
АПРЕЛЯ
2017
КАЗАНЬ



Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8.
Выставочный центр "Казанская ярмарка"
тел./факс: (843) 570-51-07, 570-51-11 (круглосуточный)
e-mail: d4@expokazan.ru
www.volgastroyexpo.ru, www.expokazan.ru

12+



БЕЗ ПРОБЛЕМ



Печи Мерц для обжига извести чрезвычайно эффективны при любом климате. На протяжении многих десятилетий. Там где Вы находитесь немного холодно? Без проблем: maerz.com



УДК 691.51:622.782.6

В.И. ЗУЕВ, генеральный директор (izvesta@inbox.ru);
А.Е. МИКАЛУЦКИЙ, начальник технологического отдела
ООО ВПП «Известа» (394019, г. Воронеж, ул. 9 Января, 231)

Совершенствование известе-обжиговых вращающихся печей

Главное достоинство вращающихся печей, благодаря которому они нашли широкое распространение, – это возможность получения высококачественной мягко обожженной извести из мелкого и разнообразного по свойствам сырья. При этом известь высокого качества можно получать практически на любой вращающейся печи. Основным недостатком вращающихся печей – низкая экономическая эффективность, обусловленная прежде всего высоким расходом топлива и большими затратами на сооружение и обслуживание. Основными элементами и системами вращающейся печи, которые определяют показатели ее работы на том или ином сырье, являются: конструкция охладителя извести; конструкции уплотнений горячего и холодного концов; конструкция горелочного устройства; конструкция футеровки печи; конструкция загрузочного узла печи; конструкции внутренних или запечных подогревателей сырья. Приводится краткое описание современных, применяемых на практике основных элементов и систем вращающихся печей, а также даны предложения и рекомендации по их внедрению и совершенствованию.

Ключевые слова: известь, мел, известняк, вращающиеся печи, охладители извести, газовая горелка, загрузочный узел печи, подогреватель сырья.

Для цитирования: Зуев В.И., Микалуцкий А.Е. Совершенствование известе-обжиговых вращающихся печей // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 62–68.

V.I. ZUEV, General Director (izvesta@inbox.ru); A.E. MIKALUTSKY, Head of Technological Department
ООО ВПП "Izvesta" (231, 9 Yanvary Street, 394019, Voronezh, Russian Federation)

Improvement of Lime-Burning Rotary Kilns

The main advantage of rotary kilns due to which they found widespread – is the possibility to produce high-quality soft burnt lime from small raw materials with various properties. At this, the high quality lime can be obtained practically at any rotary kiln. The main disadvantage of rotary kilns is low economic efficiency, due primarily to high fuel consumption and high expenditures for construction and maintenance. Main elements and systems of the rotary kiln, which determine its performance with different raw materials, the design of the lime cooler; designs of seals of hot and cold ends; the design of the burner device; the design of the kiln lining; the design of the kiln feeding unit; designs of internal or separate pre-heaters of raw materials. A brief description of modern, practically applicable main elements and systems of rotary kilns is presented; proposals and recommendations on their introduction and improvement are also given.

Keywords: lime, chalk, rotary kilns, lime coolers, gas burner, feeding unit of kiln, raw materials pre-heater.

For citation: Zuev V.I., Mikalutsky A.E. Improvement of lime-burning rotary kilns. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 62–68. (In Russian).

Известь является одним из давно известных и достаточно распространенных строительных материалов. В качестве вяжущего она применяется при производстве силикатного кирпича, автоклавного газобетона, в сухих строительных смесях и др. [1, 2, 3]. Без извести невозможны процессы выплавки стали и сплавов, химическое и сахарное производство, сельское хозяйство, бумажная промышленность и др. [4]. Однако в промышленности строительных материалов, как, впрочем, и во многих других ее отраслях, производство извести продолжительное время оставалось в рядах аутсайдеров по оснащенности производства и объемам капиталовложений в реконструкцию и реновацию. Такая ситуация в условиях повышения требований к качеству выпускаемой продукции привела к необходимости оптимизации и реконструкции производств. В настоящее время на ряде заводов промышленности строительных материалов внедряется новое оборудование по подготовке сырья, реконструируются печи и др. Однако для многих заводов техническое перевооружение и модернизация технологии еще впереди. Получение достоверной технической информации при решении стратегических задач оптимизации производства для многих руководителей и специалистов становится особенно актуально.

В СНГ большая часть извести производится во вращающихся печах размерами 3,6×75 м, которые изначально предназначались для обжига тяжелых руд. Для

улучшения показателей работы вращающиеся печи оснащали различными конструкциями горелок, уплотнений и внепечных теплообменников. В зависимости от используемого сырья и технической оснащенности производительность этих агрегатов составляет от 170 до 490 т/сут. Во времена СССР специально для получения извести ПО «Волгоцеммаш» разработало короткие вращающиеся печи 4×50 м, которые предполагалось выпускать серийно. Проектная производительность этих печей 500 т/сут. Они имели три опоры (у печей 3,6×75 м пять опор) и оборудовались противоточными шахтными охладителем извести и подогревателем известняка. Всего были построены две такие печи, которые до сих пор эксплуатируются на Магнитогорском металлургическом комбинате. Из-за относительно низкой цены природного газа в России, низкой конкуренции и дефицита на внутреннем рынке высококачественной извести многие производители извести не уделяют должного внимания совершенствованию вращающихся печей. В эксплуатации находится большое количество печей устаревшей конструкции диаметром менее 3 м, удельный расход тепла на которых превышает 2500 ккал/кг извести.

Главное достоинство вращающихся печей, благодаря которому они нашли широкое распространение, – это возможность получения высококачественной мягко обожженной извести из мелкого и разнообразного по свойствам сырья. При этом известь высокого качества

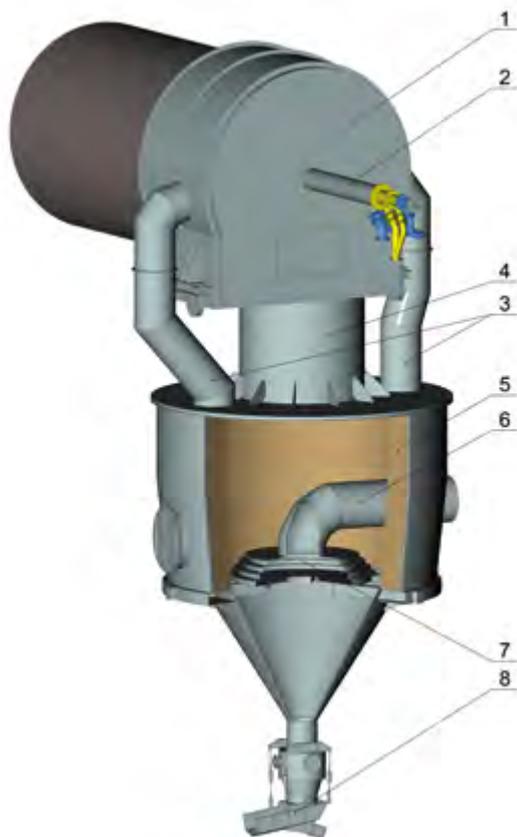


Рис. 1. Установка шахтного охладителя извести на реконструированной печи с откатной головкой: 1 – головка стационарная; 2 – горелка; 3 – воздуховоды подвода горячего воздуха в печь; 4 – шахта переходная запорная; 5 – корпус охладителя с футеровкой; 6 – воздуховод подводящий; 7 – камера воздухораспределительная; 8 – узел выгрузки из охладителя

можно получать практически на любой вращающейся печи. Основной недостаток вращающихся печей – низкая экономическая эффективность, обусловленная прежде всего высоким расходом топлива и большими затратами на сооружение и обслуживание. С созданием надежных и экономичных конструкций шахтных печей для получения высококачественной извести (ППР-печи, кольцевые печи и др.) строительство вращающихся печей в последние годы неуклонно сокращается. Однако в тех случаях, когда отсутствует близость пригодное для шахтных печей прочное и чистое сырье или высока стоимость его доставки, альтернативы вращающимся печам для обжига мелкого и малопрочного сырья нет [5].

В качестве сырья во вращающихся печах, как правило, используется известняк крупностью 20–60 мм, а в некоторых случаях 5–20 мм. При использовании сырья крупностью более 60 мм приходится резко снижать производительность печей, что ведет, в свою очередь, к ухудшению всех экономических показателей. Время, за которое сырье проходит через печь, обычно составляет 2–2,5 ч и его недостаточно для обжига крупных кусков. Значительное влияние на показатели и работу печей оказывают свойства обжигаемого сырья, что зачастую недооценивается при реконструкции и создании нового производства. При обжиге сырья с низкой термической прочностью образуются большое количество мелких и пылевидных фракций, затрудняющих теплообмен внутри вращающейся печи и работу внешних теплообменников.

Для получения извести во вращающихся печах также используются кусковой мел или мел в виде шлама. Из-за высокой влажности мела показатели вращаю-

щихся печей при его обжиге значительно ниже, чем при обжиге известняка. Добыча мела намного дешевле, чем добыча известняка, и не требует взрывных работ. В центральной части России имеется множество месторождений с большими запасами мела. Создание экономической технологии обжига мела и эффективной конструкции вращающейся печи для его переработки является весьма актуальной задачей.

Основными элементами и системами вращающейся печи, которые определяют показатели ее работы на том или ином сырье, являются:

- конструкция охладителя извести;
- конструкции уплотнений горячего и холодного концов;
- конструкция горелочного устройства;
- конструкция футеровки печи;
- конструкция загрузочного узла печи;
- конструкции внутренних или запечных подогревателей сырья.

За последние 20 лет по проектам фирмы «Известа» реконструировано более 30 вращающихся известковых печей. С учетом накопленного опыта и собственных разработок ниже приводится краткое описание применяемых на практике основных элементов и систем вращающихся печей, а также даны предложения и рекомендации по их применению и совершенствованию.

Охладители извести.

Для утилизации тепла обожженной во вращающейся печи извести используются однобарабанные, многобарабанные и шахтные слоевые теплообменники. Утилизация осуществляется за счет нагрева теплотой извести воздуха, который затем используется для горения топлива в печи. В зависимости от конструкции охладителя температура нагретого в них воздуха составляет 200–400°C. В барабанных и многобарабанных охладителях известь в значительной степени истирается. В виду высокой температуры охлажденной извести (200–260°C) и больших потерь тепла через стенки корпусов в окружающую среду эти теплообменники имеют низкий тепловой КПД, который составляет 60–70%. Удельный расход топлива на вращающихся печах, оборудованных такими охладителями извести, обычно на 10–15% больше, чем на печах с шахтными слоевыми охладителями. Применять их следует при обжиге малопрочного и загрязненного примесями сырья с большим содержанием мелких и пылевидных фракций. Если отсутствуют какие-либо технические ограничения (строительная стесненность, большое количество мелких и пылевидных фракций в извести и др.), то экономически выгодно произвести замену однобарабанных и многобарабанных охладителей на шахтные слоевые охладители.

За последние 20 лет более 25 вращающихся печей размерами 3,6×75 м, эксплуатируемых на металлургических предприятиях СНГ, были оснащены шахтными противоточными слоевыми охладителями конструкции фирмы «Известа». Эти охладители выполнены в виде круглого бункера наружным диаметром около 5 м с конической нижней частью, внутри которого по центру расположена воздухораспределительная камера. Равномерное распределение охлаждающего воздуха в кольцевом теплообменном слое извести высотой около 2 м достигается за счет его дросселирования в выходных отверстиях камеры, а равномерный сход извести в зоне теплообмена – за счет особой конструкции выгрузочной точки. Предусмотрено постоянное измерение расхода охлаждающего воздуха, подаваемого в охладитель автономным дутьевым вентилятором, что облегчает управление режимом работы печи. В зависимости от крупности извести и конструкции печи выгрузка из

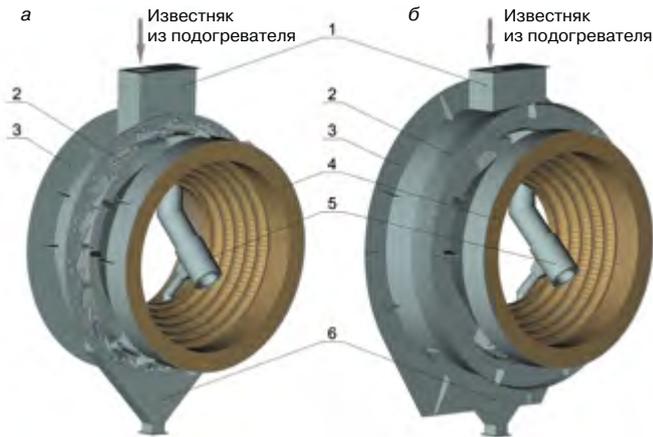


Рис. 2. Загрузочный узел печи с уплотнением: а – с секторным уплотнением; б – с лепестковым уплотнением; 1 – воронка загрузочная; 2 – уплотнение; 3 – фланец крепления узла загрузки к пылевой камере; 4 – конусный конец печи с футеровкой; 5 – тетка загрузочная воздухоохлаждаемая; 6 – воронка сбора просыпи известняка

охлаждителя осуществляется либо вибропитателем, либо непосредственно транспортирующим конвейером. Наибольшая эффективность работы реконструированных вращающихся печей была достигнута при использовании охладителя с запорной переходной шахтой и передачей в печь нагретого в охладителе воздуха по отдельным воздуховодам (рис. 1). Воздуховоды пропускались через боковые стенки существующей горячей головки печи и направлялись в устье факела горелки. Данная конструкция охладителя имеет несколько большую строительную высоту (около 7,5 м), но обеспечивает минимальный вынос пылевидной извести обратно в печь и может быть применена на вращающихся печах, обжигающих кусковой мел. При его использовании до минимума снизилось пылевыведение в зоне обслуживания горячей головки. Температура извести на выходе из этих охладителей в среднем не превышает 50°C, а тепловой КПД составляет предельно высокую величину – 95%. Для строительства новых печей разработана конструкция охладителя с одним вертикальным воздуховодом для передачи нагретого воздуха в головку печи. Максимальный возврат тепла обожженной извести с воздухом на горение топлива является непременным условием для достижения наивысших показателей работы вращающихся печей. При проведении масштабной реконструкции в первую очередь следует позаботиться об усовершенствовании агрегата для охлаждения извести.

Уплотнения печи.

Все вращающиеся печи работают под разрежением. Для снижения подсосов воздуха между корпусом печи и стационарными головками (переходной или пылевой камерой) применяют различные конструкции уплотнений. Подсасываемый воздух охлаждает элементы уплотнения, а также заглубленные в головки загрузочные и разгрузочные концы корпуса печи. Если полностью устранить подсосы и не принять должных мер для охлаждения этих элементов печи, то от воздействия высокой температуры они могут деформироваться и разрушиться. При использовании эффективных шахтных охладителей извести небольшие подсосы воздуха на горячем конце печи не приносят вреда. За счет регулировки расхода воздуха, пропускаемого через охладитель извести, легко можно подобрать режим для полного сгорания топлива с минимальным избытком воздуха. Снижение температуры отходящих из печи газов вследствие подсосов воздуха на загрузочном конце печи может значительно влиять на показатели ее работы.



Рис. 3. Многоканальная газозвдушная горелка, установленная на печи 3,6×75 м

Замечено, что на печах, оборудованных шахтными подогревателями сырья, вследствие больших подсосов воздуха (при нарушении работы уплотнения) удельный расход топлива увеличивался на 15–20%. На печах, не имеющих выносных подогревателей сырья, подсосы воздуха на загрузочном конце мало влияют на их работу. В этих случаях достаточно с помощью неподвижных сегментов до минимума уменьшить зазор между головкой и вращающимся корпусом печи (с учетом его биения). На практике в основном применяются лепестковое уплотнение, а также уплотнение, состоящее из прижимных сегментов. Лепестковое уплотнение имеет простую конструкцию и надежно в эксплуатации. Лепестки изготавливают либо из пружинной стали, либо из обычной стали с прижатием их тросом. Применение секторного уплотнения с рычажной прижимной системой ограничено величиной продольного перемещения корпуса печи (не более 200 мм). Оно более сложно в изготовлении и монтаже, а также требует постоянного обслуживания. Из-за воздействия высокой температуры и пыли на шарнирные соединения уплотнение с прижимными секторами обладает малым сроком эксплуатации. Применять его рекомендуется на загрузочном конце больших по диаметру печей, где имеют место случаи перегрузки печи и попадания в них крупных кусков сырья. На рис. 2 показаны конструкции лепесткового уплотнения и уплотнения, состоящего из прижимных сегментов, рекомендуемые для применения. Они крепятся на корпусе печи и вращаются вместе с ней. Вращающееся уплотнение более удобно обслуживать и ремонтировать по сравнению с уплотнением, закрепленным на головках и пылевых камерах.

Горелочные устройства.

При выборе и установке горелочных устройств следует соблюдать определенные правила. Горелку следует заглублять в печь не менее чем на 1,5 м. Меньшее заглубление может вызывать выбивание запыленных газов через неплотности головки. Для известковых вращающихся печей рекомендуется применять газозвдушные горелки, через которые подается 15–20% воздуха, необходимого для сгорания топлива. Они позволяют на 3–5% снизить расход топлива по сравнению с обычными диффузионными горелками. Полезно, чтобы горелка имела устройство для изменения угла ее наклона к оси печи, а для предотвращения деформации при воздействии высокой температуры внутри печи была защищена тепловой изоляцией, например, из бетона. За рубежом, как правило, применяют громоздкие и слож-

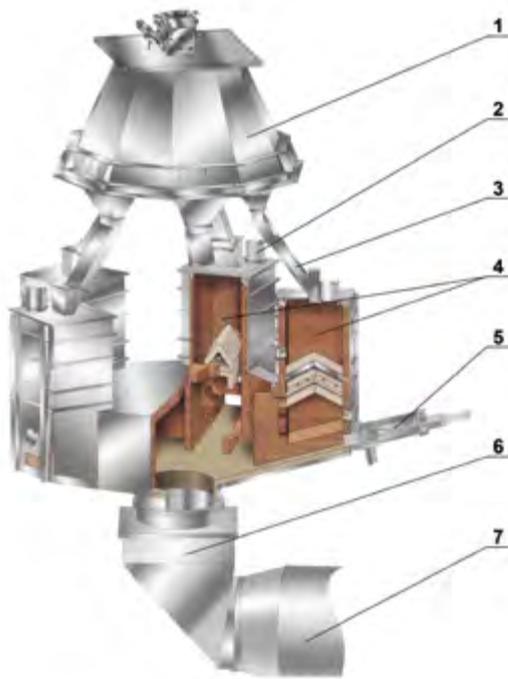


Рис. 4. Многосекционный подогреватель известняка с плунжерными разгрузочными толкателями: 1 – бункер расходный; 2 – газоходы отводящие; 3 – тетки запорные распределительные; 4 – противоточные теплообменные секции; 5 – толкатель плунжерный; 6 – тетка-газоход; 7 – печь вращающаяся

ные конструкции горелок, рассчитанные на использование разных видов топлива. Такой подход не оправдывает себя в России, где в качестве топлива используется в основном природный газ с давлением 0,25–0,35 МПа. Серийно газовоздушные горелки для известковых вращающихся печей в СНГ не выпускаются. Для разных по тепловой мощности печей фирма «Известа» применяет собственную простую конструкцию газовоздушной горелки, имеющую множество сопел, наклоненных под определенным углом к оси горелки. Угол наклона сопел подбирают при наладке с учетом режима обжига, свойств сырья и конструкции печи. Фотография горелки, установленной на вращающейся печи размером 3,6×75 м, представлена на рис. 3.

Футеровка печи.

Высокий расход топлива, характерный для всех без исключения вращающихся печей, обусловлен большими потерями тепла через стенки корпуса печи, составляющими в тепловом балансе от 15 до 20% (на шахтных печах 2–4%). Повышение теплоизоляционных свойств футеровки в высокотемпературной зоне печи, где температура корпуса достигает 400°C, как правило, связано со снижением ее стойкости. Производительность известеобжиговых вращающихся печей примерно пропорциональна квадрату их внутреннего диаметра и увеличение толщины футеровки за счет дополнительной теплоизоляции на печах диаметром менее 3 м не дает ощутимого эффекта. На печах размерами 3,6×75 м в зоне факела обычно применяют магнетитовые огнеупоры толщиной 230 мм. Большинство попыток установки между футеровкой и корпусом печи теплоизоляционной подложки из шамотного кирпича толщиной 40–60 мм не имело успеха. При этом снижалась стойкость самой футеровки, усложнялся ее ремонт и увеличивались затраты на его проведение. В последние годы для футеровки вращающихся печей на некоторых заводах стали применять жаропрочные бетоны, обладающие высокими теплоизоляционными свойствами. Однако, в силу

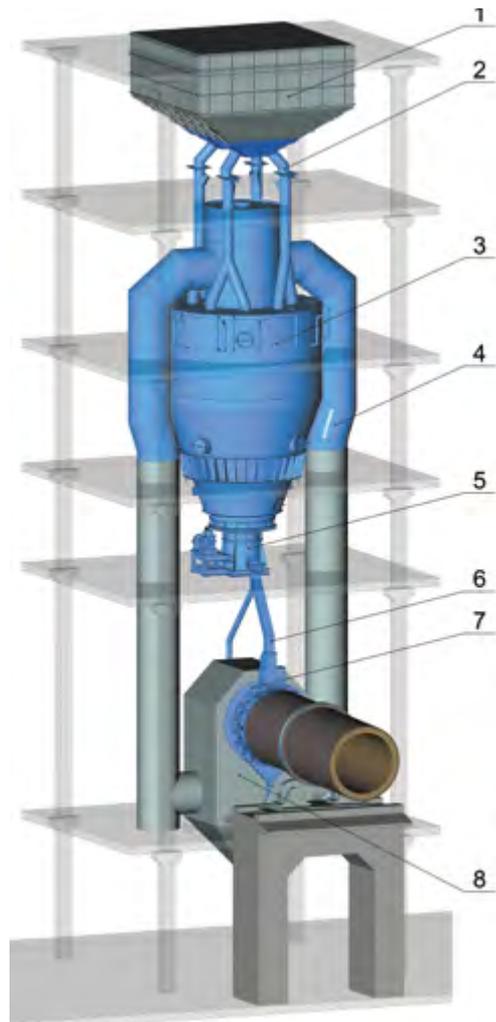


Рис. 5. Установка шахтного подогревателя известняка на реконструированной печи взамен перекрестно-точного подогревателя с пароиспарительным контуром: 1 – бункер расходный (существующий); 2 – тетки загрузочные запорные; 3 – подогреватель; 4 – газоходы подводящие; 5 – устройство выгрузочное с приводом; 6 – тетка подачи нагретого известняка с узлом отдува мелочи; 7 – загрузочный узел печи; 8 – камера пылевая

сложности монтажа и ремонта, широкого распространения это направление пока не нашло. При строительстве новых для снижения потерь тепла через корпус вращающихся печей следует уменьшать их длину и применять высокотемпературные шахтные подогреватели сырья. В этом случае для печей диаметром 3,6 м оптимальной является длина 55–60 м.

Загрузочный узел.

Загрузка вращающихся печей обычно осуществляется по наклонной трубе, пропущенной через свод пылевой камеры. Длина наклонной загрузочной трубы на печах диаметром 3,6 м составляет около 5 м. Куски известняка, загружаемые в такую трубу, разгоняются и, попадая в печь, разрушают футеровку в области загрузки. Для обеспечения стойкости узла загрузки к воздействию высокой температуры (до 1200°C) была разработана конструкция, показанная на рис. 2. В ней наклонный участок загрузочной трубы составляет около 1 м, а сама труба имеет воздухоохлаждаемый корпус и крепится в специальной переходной секции, присоединенной к пылевой камере. Многолетний опыт эксплуатации показал высокую стойкость элементов данной конструкции даже при выбивании горячих газов из

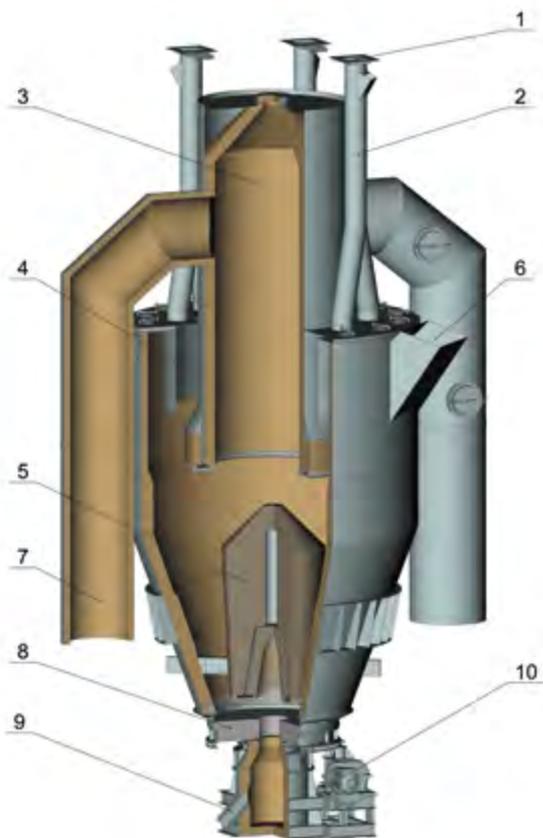


Рис. 6. Шахтный противоточный подогреватель известняка для установки на реконструированной печи взамен перекрестно-точного подогревателя с пароиспарительным контуром: 1 – затворы штыревые; 2 – точки загрузочные запорные; 3 – камера газораспределительная; 4 – тетка кольцевая распределительная; 5 – вставка огнеупорная; 6 – газоход отводящий; 7 – газоходы подводящие; 8 – устройство выгрузочное; 9 – тетка подачи нагретого известняка; 10 – привод выгрузочного устройства

уплотнения. Использовать его рекомендуется на печах, оборудованных высокотемпературными подогревателями сырья.

Подогреватели известняка.

В мировой практике было создано множество различных конструкций шахтных подогревателей сырья. В последние годы за рубежом в основном применяются противоточные многосекционные подогреватели с плунжерными разгрузочными толкателями и передачей известняка в печь и газов в подогреватель по одной течке-газоходу (рис. 4). Они обладают высокой тепловой эффективностью и успешно работают при использовании термически прочного, чистого, а также мытого фракционированного сырья. Первые конструкции подогревателей с плунжерными разгрузочными толкателями в СССР были применены в 1990 г. при строительстве двух вращающихся печей размерами 3,6×75 м на Череповецком металлургическом комбинате. Для того времени эти печи имели самые высокие в стране показатели – производительность 450 т/сут, удельный расход топлива 1350 ккал/кг извести, содержание CO₂ в извести в среднем 3%. Вместе с тем выявились и серьезные технологические проблемы. Через 2–4 мес непрерывной эксплуатации печи приходилось останавливать на длительную и трудоемкую чистку подогревателей от наростов. Пылевидные частицы известняка, извести и примесей, содержащиеся в отходящих из печи газах, частично осаждаются в слое известняка и затем вместе с нагретым сырьем обратно возвращаются в печь.

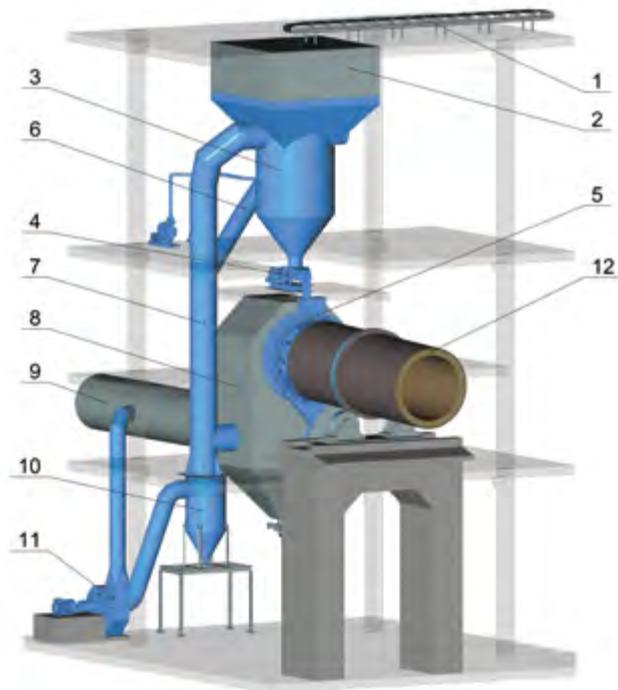


Рис. 7. Установка малогабаритного шахтного подогревателя известняка на реконструированной печи с котлом-утилизатором: 1 – конвейер тракта подачи известняка; 2 – бункер расходный (существующий); 3 – подогреватель; 4 – устройство выгрузки нагретого известняка из подогревателя; 5 – загрузочный узел печи; 6 – газоход отводящий из подогревателя; 7 – газоход подводящий; 8 – камера пылевая; 9 – газоход отходящих газов из печи; 10 – камера пылеосадительная; 11 – дымоход подогревателя; 12 – печь вращающаяся

Происходит так называемая циркуляция пыли в системе печь–подогреватель, что со временем вызывает образование плотных отложений в слое известняка вплоть до полной закупорки подогревателя. Частота остановок на очистку подогревателя в большой степени зависит от свойств сырья. На печах Магнитогорского металлургического комбината, где используется термически слабый известняк, на таких подогревателях пришлось обустроить байпас, по которому часть высокотемпературных газов вместе с пылью сбрасывалась сразу в газоочистку. До этого подогреватель полностью закупоривался пылью даже в период разогрева печи. Этот отрицательный опыт приостановил дальнейшее тиражирование подогревателей сырья с плунжерными разгрузочными толкателями.

Для реконструкции действующих вращающихся печей и повышения их показателей была разработана и успешно применена на многих металлургических заводах принципиально новая конструкция противоточного подогревателя [6], пригодная для использования разного по свойствам, прочности и чистоте сырья. Главная особенность его конструкции заключалась в том, что нагретый в подогревателе известняк передавался в печь по металлической течке, где содержащиеся в нем пылевидные частицы отдувались в газоочистку. Таким образом удалось предотвратить циркуляцию пыли и увеличить время непрерывной работы печи. Кроме того, известняк сразу после нагрева длительное время находился в теплоизолированной зоне подогревателя, где происходит выравнивание температуры по толщине кусков. При этом снижается температура поверхности кусков известняка, а также температура отходящих из печи газов. Общий вид подогревателя, установленного на вращающейся печи 3,6×75 м взамен малоэффективного подогревателя с пароводяной системой охлаждения каркаса и перекрестной схемой те-

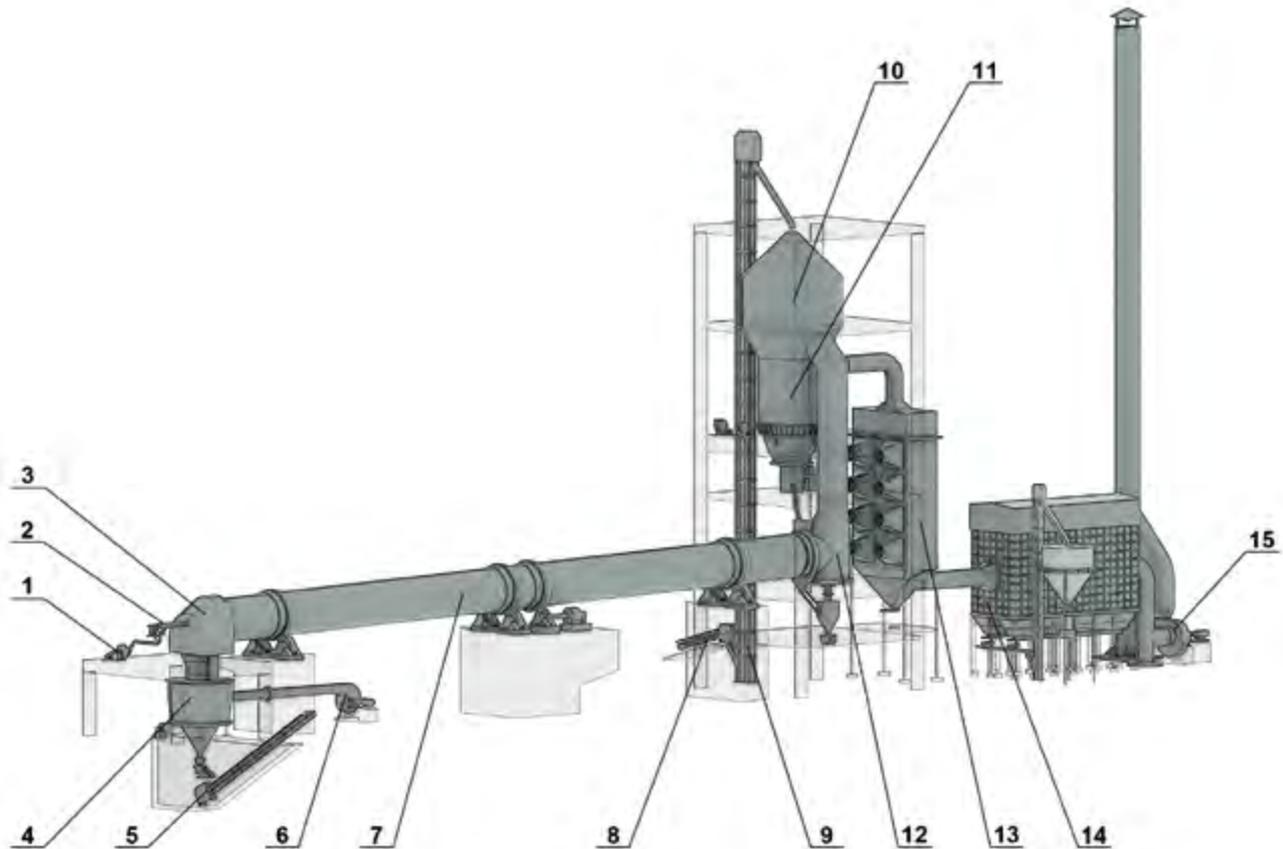


Рис. 8. Установка вращающейся печи с выносными теплообменниками: 1 – вентилятор подачи первичного воздуха в горелку; 2 – горелка многоканальная; 3 – головка стационарная; 4 – охладитель извести; 5 – конвейер тракта подачи извести; 6 – вентилятор подачи воздуха в охладитель; 7 – печь вращающаяся; 8 – конвейер тракта подачи известняка; 9 – элеватор; 10 – бункер расходный; 11 – подогреватель известняка; 12 – камера пылевая; 13 – доохладитель отходящих газов; 14 – фильтр рукавный; 15 – дымосос

плообмена, представлен на рис. 5. Конструкция подогревателя разрабатывалась с учетом минимальных изменений несущих и строительных конструкций существующих зданий загрузочных головок. Как и вышеупомянутый противоточный шахтный охладитель извести, подогреватель выполнен в виде конического бункера диаметром около 7 м (рис. 6). Отходящие из печи газы через пылевую камеру подаются к нему по двум газоходам. Для выгрузки нагретого известняка применяется вращающийся горизонтальный стол. Кольцевая теплообменная зона в подогревателе имеет сравнительно небольшую высоту – около 0,8 м, а его аэродинамическое сопротивление не превышает 2 кПа. Существующая газоочистка печей при реконструкции оставалась без изменения. Сравнительные показатели после замены подогревателя, достигнутые на лучших образцах печей, представлены в табл. 1.

В эксплуатации еще находится большое количество печей, не имеющих внешних подогревателей сырья. Для утилизации тепла отходящих высокотемпературных газов из этих печей обычно применяют котлы-утилизаторы, вырабатывающие пар для собственных нужд. Показатели работы таких печей можно существенно улучшить за счет оборудования их малогабаритными противоточными подогревателями, через которые пропускается только часть отходящих из печи газов (40–60%). Окупаемость затрат на установку таких подогревателей, как показал опыт, не превышает одного года. Выгрузка сырья в печь из малогабаритного подогревателя (внешний диаметр 3,5–4 м) осуществляется через разгрузочную течку качающимся питателем специальной герметичной конструкции с воздухоохлаждаемыми элементами. Известняк при этом практически не измельчается и вместе с уловленными при

нагреве пылевидными частицами направляется в печь на обжиг. Корпус подогревателя может быть прикреплен к существующему расходному бункеру. Отходящие из печи газы через пылевую камеру подаются в подогреватель по одному газоходу. Для прохождения газов через подогреватель применяется автономный дымосос. Общий вид установки подогревателя на вра-

Таблица 1
Сравнительные показатели вращающейся печи до и после замены подогревателя известняка

Наименование	Показатели	
	до замены	после замены
Производительность, т/сут т/ч	360 15	490 20,4
Удельный расход: условного топлива, кг/т извести тепла на получение извести, ккал/кг	260 1820	187 1309
Содержание CO ₂ (ППП) в извести, %	5	4
Температура (в среднем), °С: отходящих газов в пылевой камере перед подогревателем отходящих газов после подогревателя нагрева известняка (поверхностная)	880 850 380 650	1050 1000 340 750
Гидравлическое сопротивление подогревателя, кПа	2,5–3	1,5–2
Степень обжига известняка на выходе из подогревателя, %	5	25

Таблица 2

Сравнительные показатели вращающейся печи до и после установки малогабаритного подогревателя известняка

Наименование	Величина	
	до установки	после установки
Производительность, т/сут т/ч	319 13,3	396 16,5
Удельный расход условного топлива, кг/т извести тепла на получение извести, ккал/кг	270 2010	215 1507
Содержание CO ₂ (ППП) в извести, %	6,5	4,7
Температура (в среднем), °С, отходящих газов в пылевой камере перед подогревателем	750 –	1025 1000
отходящих газов после подогревателя нагрева известняка (поверхностная)	–	100
отходящих газов перед котлом-утилизатором	580	575 570
Гидравлическое сопротивление подогревателя, кПа	–	1,4–1,6
Степень обжига известняка на выходе из подогревателя, %	–	5

шающейся печи, оборудованной котлом-утилизатором, представлен на рис. 7, а ее сравнительные технико-экономические показатели – в табл. 2. Следует отметить, что с установкой подогревателя известняка показатели работы котла-утилизатора и газоочистки почти не изменились. Опыт работы показал, что печи с такими подогревателями обладают высокой надежностью и стабильностью параметров. Они полностью лишены проблем, связанных со смерзанием сырья в расходном бункере, течках и на питателе печи в осенне-весенний период года.

В настоящее время при обжиге кускового мела на печах диаметром 3,6 м достигнуты следующие показатели: производительность не более 300 т/сут, удельный расход топлива не менее 1700 ккал/кг извести. Влажный мел (природная влажность до 25%) имеет низкую прочность и склонность к слипанию при хранении в бункерах. При попадании его в печь в зоне загрузки образуются настлы в виде колец, которые нарушают работу печи. Решетки грохотов, используемых для выделения из влажного мела мелких фракций, быстро замазываются, а грохоты работают крайне нестабильно. После сушки и подогрева прочность мела значительно увеличивается и такой мел прекрасно подходит для обжига в традиционных вращающихся печах, применяемых для обжига кускового известняка. Целесообразно раздробленный на валковых дробилках влажный мел крупностью до 60 мм сначала подвергать сушке, а затем уже грохочению и подаче в шахтный подогреватель для высокотемпературного нагрева. Выделенные после сушки мелкие фракции сухого мела крупностью 0–15 мм удобны для транспортировки и могут быть успешно использованы в агломерации и сельском хозяйстве. Из-за низкой прочности сушку влажного мела рекомендуется производить в слоевом прямоточном теплообменнике. Он может быть сооружен непосредственно в пылевой камере печи. Осушенный и подогретый до 150°С мел после грохочения или отдува мелких фракций элеватором подается в вышеописанный малогабаритный шахтный подогреватель или сразу загружается в печь. По

технико-экономическим показателям обустроенная таким образом печь, работая на мелу и известняке, будет иметь одинаковые показатели. ОАО «Белгородский завод строительных материалов» планирует в 2017 г. опробовать предварительную сушку мела в пылевой камере на своих вращающихся печах размерами 3,6×75 м.

Для новых строящихся коротких вращающихся печей фирма «Известа» разработала более простую и усовершенствованную конструкцию подогревателя сырья. Она имеет меньшие размеры и выполнена воедино с расходным бункером. Отходящие из печи газы через переходную камеру подаются в подогреватель по одному газоходу. Переходная камера имеет значительно меньшие размеры по сравнению с обычной пылевой камерой. Из-за высоких скоростей газов, пылевидные частицы в переходной камере и газоходе практически не осаждаются. Общий вид современной конструкции короткой вращающейся печи с шахтными противоточными теплообменниками представлен на рис. 8. Для снижения температуры отходящих газов перед рукавным фильтром газоочистки предусмотрен трубчатый воздушный охладитель (13). При размерах печи 3,6×60 м ее производительность составит 450–500 т/сут, а удельный расход топлива не более 1250 ккал/кг извести.

Список литературы

1. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. М.: Стройиздат, 1982. 384 с.
2. Монастырёв А.В. Требования потребителей к свойствам извести для ячеистого бетона и технологические приемы по их обеспечению // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 36–37.
3. Корнеев В.И., Зозуля П.В. Сухие строительные смеси. М.: Стройматериалы, 2010. 320 с.
4. Семёнов А.А. Ситуация на российском рынке извести // *Строительные материалы*. 2012. № 5. С. 107–110.
5. Монастырёв А.В. Пути снижения расхода топлива при обжиге мела с получением извести в длинных вращающихся печах // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 9–15.
6. Патент РФ 2568806. *Шахтный подогреватель кускового материала* / Зуев В.И. Заявл. 11.06.2014. Опубл. 20.11.2015. Бюл. № 32.

References

1. Khavkin L.M. *Tekhnologiya silikatnogo kirpicha* [Technology of a silicate brick]. Moscow: Stroyizdat. 1982. 384 p.
2. Monastirev A.V. Requirements of Consumers to Properties of Lime Used for Cellular Concrete and Technological Means to Guarantee these Properties. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 36–37. (In Russian).
3. Korneev V.I., Zozulya P.V. *Sukhie stroitel'nye smesi* [Dry construction mixes]. Moscow: Stroimaterialy. 2010. 320 p.
4. Semenov A.A. Situation at the Russian Market of Lime. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 5, pp. 107–110. (In Russian).
5. Monastirev A.V. Ways of Reduction of Fuel Consumption in the Course of Chalk Roasting with Production of Lime in Long Rotary Kilns. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 9–15. (In Russian).
6. Patent RF 2568806. *Shakhtnyi podogrevatel' kuskovogo materiala* [Mine heater of lumpy material]. Zuev V.I. Declared 11.06.2014. Published 20.11.2015. Bulletin No. 32. (In Russian).



МИНСТРОЙ
РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ
ФОНД ПОДДЕРЖКИ И РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ А. РОЗЕНФЕЛЬДА

**4-6 июля 2017 года состоится Международная научная конференция
VIII Академические чтения, посвященные памяти академика РААСН Осипова Г.Л.,
«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.
НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ и ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»**

НА КОНФЕРЕНЦИИ ПЛАНИРУЕТСЯ РАБОТА ПО СЛЕДУЮЩИМ НАПРАВЛЕНИЯМ:

- Энергосбережение в строительстве.
- Строительная теплофизика.
- Строительная и архитектурная акустика.
- Строительная светотехника.
- Экология в строительстве.
- Долговечность и прочность строительных конструкций зданий и сооружений.
- Проблемы технического регулирования.
- Ремонт и эксплуатация объектов коммунального хозяйства.
- Высотное строительство.
- Научная школа для молодежи.

В рамках конференции будет проводиться **КОНКУРС**, на котором молодые ученые, аспиранты и студенты смогут представить свои проекты и разработки:

1. На лучший дипломный проект, включающий раздел "Строительная физика";
2. На лучшую работу по направлению "Строительная и архитектурная акустика";
3. На лучший доклад в рамках научной школы для молодежи "Строительная физика, энергосбережение и экологическая безопасность".

Победителям вручается премия имени академика РААСН Г.Л. Осипова.

4. На лучшее решение задачи в области энергоэффективности и энергосбережения.

Победителям вручается премия имени лауреата международной энергетической премии «Глобальная энергия» 2011 года - Артура Розенфельда.

5. На самое оригинальное и талантливое решение акустической задачи. **Призы от Генерального спонсора конференции - компании "Brüel & Kjaer" (Дания).**

6. За оригинальный подход к решению задачи энергосбережения в зданиях.

Призы от Генерального спонсора конференции - компании "Сен-Гобен Строительная Продукция Рус".

7. **Специальный приз Ассоциации производителей керамических стеновых материалов.**

8. За значительный вклад в развитие строительной физики **ведущим ученым и специалистам вручается Золотая медаль имени академика РААСН Осипова Г.Л. и памятный знак.**

Для участия в конкурсе необходимо в срок **до 01 июня 2017 года** отправить материалы по адресу org.com@list.ru с пометкой «Участие в конкурсе».

На конференцию принимаются **СТАТЬИ** участников, которые будут опубликованы в ведущих рецензируемых журналах и сборнике статей.

Материалы для публикации, оформленные в соответствии с требованиями, принимаются строго **до 14 апреля 2017 года** и должны быть отправлены по адресу org.com@list.ru с пометкой «Для публикации».

Для участия в конференции необходимо в срок **до 01 июня 2017 года** отправить **ЗАЯВКУ** на участие по адресу org.com@list.ru или факсу **+7(495) 482-40-60**.

БОЛЕЕ ПОДРОБНУЮ ИНФОРМАЦИЮ О КОНФЕРЕНЦИИ И ФОРМУ ЗАЯВКИ МОЖНО ПОСМОТРЕТЬ НА САЙТЕ www.niisf.ru

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Тел.: +7 (499) 488-70-05 Факс: +7 (495) 482-40-60

E-mail: org.com@list.ru Сайт: www.niisf.ru

Адрес: 127238, Москва, Локомотивный проезд, д.21, Светотехнический корпус, НИИСФ РААСН



К 70-летию Эдуарда Владимировича Котлярского,

доктора технических наук, директора НИИ МК (МАДИ), почетного дорожника РФ, заслуженного работника высшей школы, почетного транспортного строителя

Эдуард Владимирович Котлярский всю свою трудовую жизнь посвятил научной и преподавательской деятельности в стенах Alma mater. По окончании МАДИ в 1970 г. он получил распределение для работы на кафедре и с тех пор прошел все профессиональные ступени до профессора, заместителя заведующего кафедрой дорожно-строительных материалов.

Сегодня известный ученый профессор Э.В. Котлярский читает увлекательные лекции по современным направлениям строительного материаловедения, много работает со студентами и аспирантами, которые под его научным руководством побеждают на конкурсах научных работ молодых ученых и выставках НТТМ. Он авторитетен и уважаем коллегами из дружественных университетов Вьетнама, Польши, Германии, Австрии, Турции. Высокий профессиональный уровень его преподавательской работы подтвержден международной классификацией ING-PAED-IGIP и званием Member of the Institution of the Civil Engineers.

Эдуард Владимирович успешно сочетает преподавательскую работу с научными исследованиями. Он возглавляет НИИ материалов, конструкций и новых технологий. Результаты его научных изысканий и преподавательской деятельности отражены в более чем 170 публикациях, в числе которых 5 учебников и монографий, 45 учебно-методических и 130 научных работ. Э.В. Котлярский награжден медалями «Ветеран труда», «850 лет Москвы», «Памяти А.А. Николаева».

Широко известен профессор Э.В. Котлярский своей общественной деятельностью не только в стенах МАДИ, но и за его пределами. Всегда открыты двери его рабочего кабинета для каждого, от студента или лаборанта до коллег, профессоров и представителей производственных организаций. Все, кто обращается к нему, уверены в его помощи, и не ошибаются в этом. Эдуард Владимирович увлеченно работает в Ассоциации исследователей асфальтобетона, которая почти 30 лет функционирует на базе кафедры дорожно-строительных материалов.

Коллеги, сотрудники кафедры дорожно-строительных материалов поздравляют Эдуарда Владимировича с юбилеем и желают ему здоровья, сил, энергии для достижения новых рубежей в научной, общественной и просветительской деятельности, которой он посвятил свою жизнь.

Редакцию журнала «Строительные материалы»[®] связывают с Эдуардом Владимировичем Котлярским многолетние деловые и творческие отношения. Он постоянный автор, рецензент и научный консультант. Мы присоединяемся к поздравлениям коллег и желаем реализации всех намеченных планов и долгих лет совместной творческой работы.

УДК 691.168:69.002.5

Э.В. КОТЛЯРСКИЙ, д-р техн. наук, В.И. КОЧНЕВ, инженер (eco46@mail.ru),
В.М. ОЛЬХОВИКОВ, канд. техн. наук, А.И. АБРАМОВА, магистрант МАДИ

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64)

Холодная регенерация конструктивных слоев при устройстве покрытий на муниципальных дорогах

Рассмотрена технология применения холодной регенерации при устройстве покрытий сети муниципальных дорог. Как известно, местная муниципальная дорожная сеть из-за несвоевременного проведения требуемого цикла ремонтно-эксплуатационных работ обычно сильно изношена, не обладает требуемой несущей способностью и имеет неудовлетворительные транспортно-эксплуатационные показатели. При ее ремонте целесообразно использовать методы горячей и холодной регенерации, что позволит максимально использовать материалы существующих дорожных одежд и снизить материалоемкость и финансовые затраты при планировании дорожных ремонтных работ. В статье рассмотрены способы оценки фактического состояния транспортно-эксплуатационных и технических показателей дорожной конструкции, даны требования к определению прочности дорожных одежд путем экспертной оценки, приведены минимальные толщины слоев усиления, а также присутствуют примеры номограмм, по которым производилось определение требуемого модуля упругости и толщины регенерированного слоя гранулята, приведен модуль упругости конструктивного слоя в зависимости от вида гранулята.

Ключевые слова: холодная регенерация, ремонт, дефекты, дорожная одежда, асфальтобетон, гранулят, номограммы.

Для цитирования: Котлярский Э.В., Кочнев В.И., Ольховиков В.М., Абрамова А.И. Холодная регенерация конструктивных слоев при устройстве покрытий на муниципальных дорогах // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 70–75.

E.V. KOTLAYRSKY, Doctor of Sciences (Engineering), V.I. KOCHNEV, Engineer,
V.M. OL'KHOVIKOV, Candidate of Sciences (Engineering), A.I. ABRAMOVA, Magstrand
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (64, Leningradsky Avenue, 125319, Moscow, Russian Federation)

Cold Regeneration of Structural Layers When Surfacing Municipal Roads

The technology of cold regeneration when surfacing municipal roads network is considered. As it is known, the local municipal road network is usually heavily worn due to delays in carrying out the required cycle of repair-maintenance works. When repairing it, it is advisable to use the methods of hot and cold regeneration that makes it possible to maximally use the materials of existing pavements and reduce the material consumption and financial expenses when planning road repairing works. Methods for assessing the real conditions of transport-maintenance and technical indicators of the road structure are presented; requirements for determination of road pavement strength by means of expert assessment are given; minimal thicknesses of strengthening layers are presented; there are nomograms for determining the required modulus of elasticity and the thickness of the regenerated layer of granulate.

Keywords: cold regeneration, repair, defects, road pavement, asphalt concrete, granulate, nomograms.

For citation: Kotlayrsky E.V., Kochnev V.I., Ol'khovikov V.M., Abramova A.I. Cold regeneration of structural layers when surfacing municipal roads. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 70–75. (In Russian).

При строительстве несущих слоев дорожных оснований и сети муниципальных автомобильных дорог целесообразно использовать современные высокопроизводительные дорожные комплексы, способные обеспечить выполнение всего цикла дорожных работ, начиная с устройства земляного полотна и заканчивая конструктивными слоями дорожной одежды.

Если федеральные автомобильные дороги, как правило, имеют характерные дефекты в виде продольных и поперечных трещин, абразивной и пластической колеевости отдельных выбоин и шелушения верхнего слоя асфальтобетонного покрытия, то местная муниципальная дорожная сеть из-за несвоевременного проведения требуемого цикла ремонтно-эксплуатационных работ обычно сильно изношена. Все эксплуатируемые автомобильные дороги перед назначением реконструкции или ремонта обычно не обладают требуемой несущей способностью и имеют неудовлетворительные транспортно-эксплуатационные показатели.

Максимальное использование материалов существующих дорожных одежд с применением различных методов горячей и холодной регенерации – основной путь снижения материалоемкости и финансовых затрат при планировании дорожных ремонтных работ [1–3].

Методы горячей и холодной регенерации следует применять для устройства оснований при восстановлении прочности или усилении нежестких дорожных одежд автомобильных дорог любых категорий при ухудшении транспортно-эксплуатационных показателей дороги и снижении уровня надежности дорожной одежды до предельного значения согласно ОДН 218.1.052. В табл. 1 приведены пути определения прочности дорожных одежд путем экспертной оценки.

Восстановление автомобильной дороги следует производить в соответствии с проектом, разработанным на основе проведенных обследований дорожной одежды, оценки фактического ее состояния, прочности после сбора необходимой информации.

При этом необходимо произвести уточнение существующих дефектов с определением характерных участков. В рамках подготовительных работ необходимо для каждого характерного участка разработать проект производства работ и технологический регламент с применением технологии горячей или холодной регенерации.

В соответствии с проектом СТО НОСТРОЙ 2.25.159–2015, разработанным по инициативе СРО «Союздорстрой», подготовительные работы при холодной регенерации конструктивных слоев для устройства основания включают:

Таблица 1

Состояние покрытия и характер повреждения	Степень развития дефекта	Среднее расстояние между трещинами, м	Характеристика дефектов			Общая протяженность трещин на участке площадью 700 м ² , м	Коэффициент прочности, K_{np}
			Глубина разрушения, см	Ширина трещины, мм	Площадь дефекта, %		
Частые трещины	Сильная	2–3	–	>19	–	> 15м	0,78–0,8
		1–2	–	>19	–	> 15м	0,75–0,78
Сетка трещин	Сильная	–	–	6–19 и более	30	–	0,7–0,75
		–	–		30–60	–	0,68–0,7
		–	–		60–90	–	0,65–0,68
Колеевость	Сильная	–	1–3 < 1 > 3	–	–	> 50 м > 50 м < 20 м	0,75–0,85
		–	> 3	–	–	> 20 м	0,4–0,75
Просадка	Средняя	–	3-5	–	20–50	–	0,58–0,6
	Сильная	–	> 5	–	более 50	–	0,55–0,58
Проломы дорожной одежды	Слабая	–	3-5	–	менее 10	–	0,6–0,65
	Средняя	–	> 5	–	10–30	–	0,58–0,6
	Сильная	–	> 5	–	более 30	–	0,5–0,58

Таблица 2

Материал слоев усиления	Толщина слоев усиления, см
Асфальтобетон: – крупнозернистый – мелкозернистый – песчаный – холодный	6–7 3–5 3–4 3
Щебеночные и гравийные материалы, обработанные органическим вяжущим в установке и смешиванием на дороге	5
Щебень, обработанный органическим вяжущим способом пропитки	8
Щебеночные и гравийные материалы, обработанные цементом на твердом основании	8
Грунты, обработанные органическим вяжущим способом смешивания на дороге	6
Минеральные материалы, не обработанные вяжущим, на: – щебеночном слое основания – гравийном слое основания – песчаном слое основания	8 10 15

– оценку фактического состояния транспортно-эксплуатационных и технических показателей дорожной конструкции;

– проектирование конструкции дорожной одежды с назначением толщины конструктивного слоя с использованием материалов существующей дорожной одежды;

– подбор составов регенерируемых смесей по холодной технологии;

– выбор технологии производства работ и ведущей машины и оборудования дорожно-производственного комплекса;

– строительство пробного участка с уточнением технологии регенерации и технологических параметров производства дорожных работ.

Оценка фактического состояния транспортно-эксплуатационных и технических показателей конструкции дороги должна включать оценку ее прочности, транспортно-эксплуатационных показателей существующей дороги, физико-механических характеристик материалов конструктивных слоев, видов и объема дефектов покрытия [4–6].

Оценку прочности дорожных одежд, нуждающихся в усилении, следует осуществлять в соответствии с требованиями проектной документации и ОДН 218.1.052.

Для дорог местного значения, как правило, не производят анализ оценки технического состояния с использованием оснащенных сертифицированных дорожных передвижных лабораторий, которые позволяют установить фактические транспортно-эксплуатационные характеристики дороги такие как прочность, ровность, шероховатость и др. В этом случае можно рекомендовать обследование дорожных одежд путем экспертной оценки их прочности с уточнением границ характерных участков (табл. 1). При этом визуально и инструментально оценивают ровность покрытия и степень его деформирования по наличию дефектов и их количества. При необходимости в случае получения на отдельных характерных участках крайне неудовлетворительных показателей необходимо произвести их более детальное инструментальное обследование.

Во время обследования одновременно с оценкой прочности дорожной одежды на каждом характерном участке должны быть отобраны керны для определения

фактической толщины конструктивных слоев, технических характеристик монолитных материалов и гранулометрического состава нижних слоев оснований и подстилающих слоев, включая грунты рабочей зоны земляного полотна. Это необходимо для дальнейшего проектирования и подбора состава регенерируемых смесей. Если дорожная одежда имеет конструктивные слои из неукрепленных материалов, на внешней части полосы движения следует заложить шурфы размером в плане 1 x 1 м или пробурить скважины для определения толщины и состояния этих конструктивных слоев с определением влажности материалов и подстилающих грунтов.

На дорогах с покрытием из песчано-гравийных или щебеночных смесей для определения толщины конструктивных слоев, гранулометрического состава и влажности минеральных материалов через каждые 500 м по оси дороги закладывают шурфы размером 30×30 см на всю толщину дорожной одежды.

В результате выполненной оценки фактического состояния транспортно-эксплуатационных и технических показателей дорожной конструкции уточняют границы характерных участков по показателям ровности покрытия, степени его деформирования с учетом наличия дефектов и их количества, устанавливают прочность дорожной одежды, а также толщины конструктивных слоев и свойства материалов, в них входящих. Внесенные уточнения и изменения должны быть отражены в дополнительной дефектной ведомости, учтены в проекте производства работ, а в процессе ремонта зафиксированы в журнале производства работ.

После ремонта или усиления дорожная одежда должна иметь прочностные характеристики, не уступающие показателям проектного покрытия [7].

При конструировании дорожной одежды необходимо учитывать, что регенерированный слой в конструкции обычно является верхним монолитным слоем осно-

Таблица 3

Характеристики материалов и грунтов

Вид гранулята	Модуль упругости конструктивного слоя (E1), МПа
Гранулят, необработанный вяжущим	200
Гранулят, необработанный вяжущим с добавлением щебня	300
Гранулят, обработанный органическими вяжущими (жидкими битумами, битумными эмульсиями) с добавлением щебня или без	400
Гранулят, обработанный органическими вяжущими (жидкими битумами, битумными эмульсиями) с добавлением щебня или без. Обработка щебня щебеночным цементом М-20	500
Гранулят, обработанный органическими вяжущими (жидкими битумами, битумными эмульсиями) совместно с минеральными (цементом) с добавлением щебня или без, с обработкой щебеночным цементом М-40	600
Грунт	
Песчаный	130
Тяжелый суглинок (глина)	23

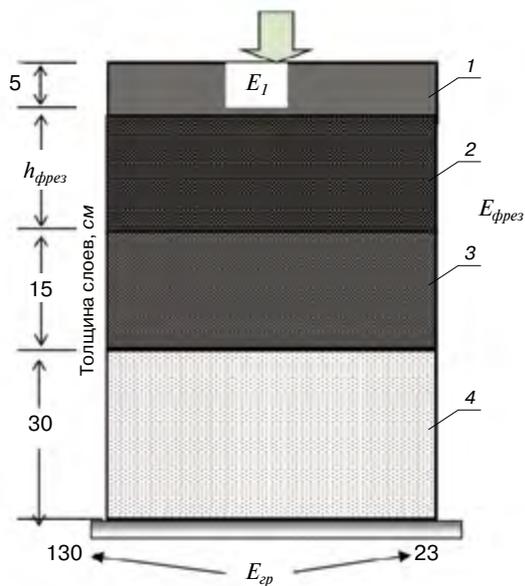


Рис. 1. Типовая конструкция дорожной одежды усиления с использованием материалов существующего покрытия: 1 – слой асфальтобетона; 2 – слой фрезерованного асфальтобетона (гранулята); 3 – слой щебня; 4 – слой фрезерованного асфальтобетона; $E_{фрез}$ – модуль упругости фрезерованного асфальтобетона; $E_{сп}$ – модуль упругости грунта (песчаного и суглинистого)

вания, на котором в обязательном порядке устраивают верхний слой (слои) покрытия или защитный слой. При реконструкции участка дороги при изменении показателей интенсивности, состава и грузонапряженности дорожного движения вместо усовершенствованных облегченных (или переходных) дорожных покрытий, как правило, необходимо проектировать покрытия капитального типа.

В табл. 2 приведены минимальные толщины конструктивных слоев усиления из разных материалов.

С учетом требуемого модуля упругости усиленной дорожной одежды и рассчитанного общего модуля упругости на поверхности слоя, подстилающего основание из регенерированного материала в зависимости от типа и толщины слоя усиления дополнительно для проверки проектных решений может быть рассчитана толщина регенерированного слоя основания по допускаемому упругому прогибу в соответствии с ОДН 218.046–01.

На рис. 1 показана типовая конструкция дорожной одежды усиления с повторным использованием материалов существующих конструктивных слоев.

Расчетные характеристики асфальтогранулобетона и грантобетона приведены в табл. 3.

Для упрощения расчетов толщины регенерированного слоя с максимальным использованием материалов существующих конструктивных слоев авторами разработаны специальные номограммы. Номограмма определения модуля упругости на верхней границе регенерированного слоя показана на рис. 2.

На рис. 3 приведена номограмма для определения толщины регенерированного слоя гранулята, обработанного органическими вяжущими (жидкими битумами, битумными эмульсиями) с добавлением щебня или без. Модуль упругости слоя основания 500 МПа с учетом требуемого модуля упругости конструкции и рассчитанного общего модуля упругости верхней границы фрезерованного слоя для ситуаций с различными модулями упругости на нижней границе фрезерованного слоя. Аналогичные номограммы были построены для всех видов гранулята с модулем упругости слоя от 200 до 900 МПа, приведенных в табл. 3.

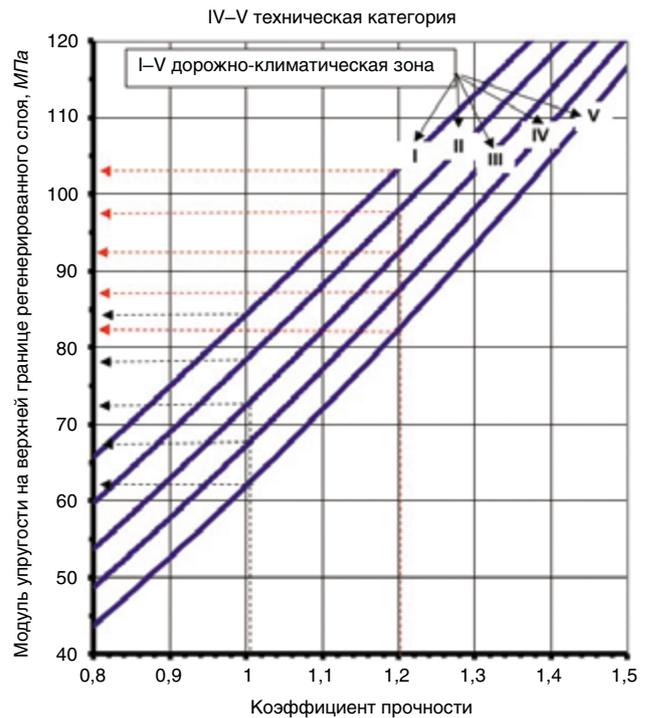


Рис. 2. Определение требуемого модуля упругости на верхней границе регенерированного слоя в зависимости от требуемого коэффициента прочности всей дорожной одежды для IV–V технических категорий

При построении номограмм все расчеты были произведены для конструкций с однослойным или двухслойным асфальтобетонным покрытием для различных гидрогеологических и грунтовых условий с модулем упругости грунтового основания от 23 до 130 МПа.

По условиям уплотнения толщина асфальтогранулобетонного слоя не должна превышать 20 см, а максимальная толщина слоя из грантобетона должна назначаться в зависимости от технологических возможностей и весовых параметров уплотняющих машин.

При проведении работ на дорогах с искаженным поперечным профилем и неудовлетворительной продольной ровностью для получения проектных высотных отметок а также для выравнивания необходимо выполнение фрезерования. Технология работ в этом случае будет зависеть от соотношения толщин верхних битумо-минеральных слоев и запроектированного регенерируемого слоя основания. Типовые технологические решения организации фрезеровочных работ приведены в методических рекомендациях.

Для подбора составов смесей для каждого характерного участка исходной информацией являются результаты анализа конструкции дорожной одежды и толщин слоев усиления (в том числе толщины регенерированного слоя), на основании чего назначают расчетную глубину фрезерования.

На каждом характерном участке должны быть отобраны пробы для выбора расчетной глубины путем фрезерования. Для отбора проб может быть использована дорожная фреза.

В зависимости от конструкции существующей дорожной одежды на характерном участке и от глубины фрезерования смесь может включать:

- асфальтобетонный гранулят;
- асфальтобетонный гранулят в сочетании со скелетным материалом из нижних слоев оснований;
- скелетный материал;
- минеральное, органическое или комплексное вяжущее.

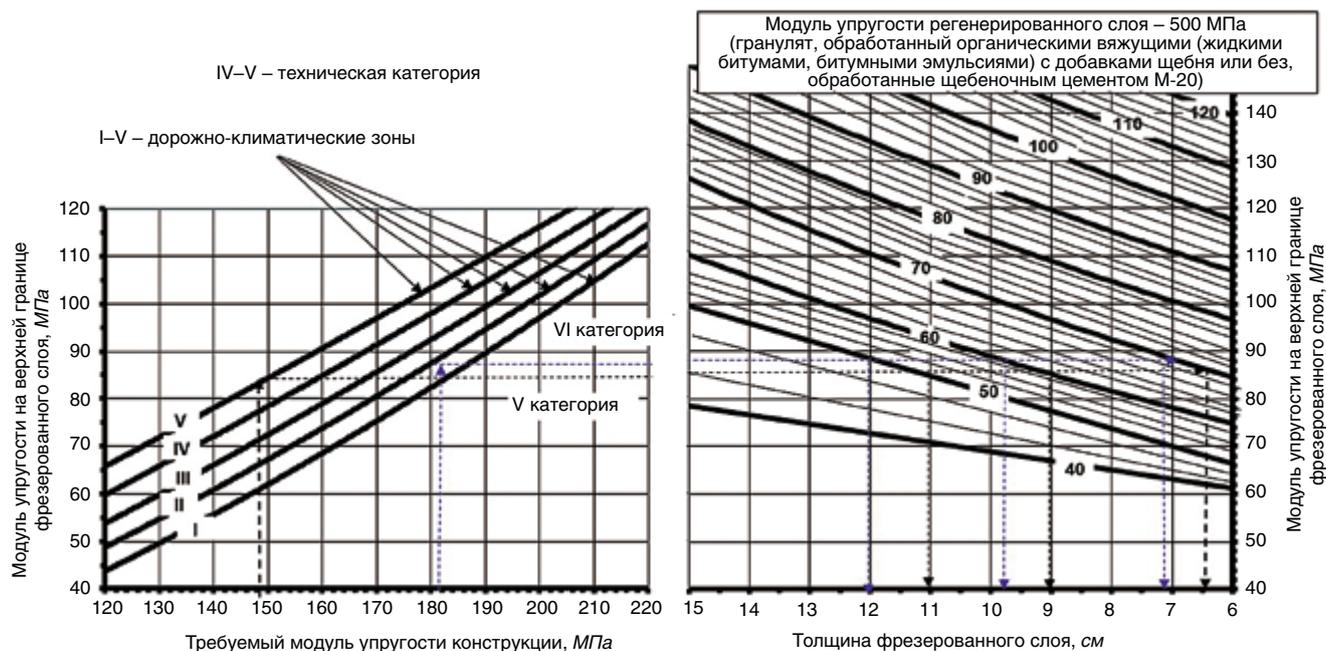


Рис. 3. Номограмма определения толщины регенерированного слоя гранулята, обработанного органическими вяжущими (жидкими битумами, битумными эмульсиями) с добавлением щебня или без него с модулем упругости 500 МПа

Подбор состава асфальтогранулобетонной и грунтобетонной смесей для устройства основания осуществляют в лаборатории с целью определения оптимального соотношения между асфальтобетонным гранулятом, скелетным материалом, вяжущим, водой, обеспечивающего требуемые проектные расчетные характеристики и физико-механические свойства материала слоя основания. В зависимости от вида вяжущего, вводимого при изготовлении асфальтогранулобетонных и грунтобетонных смесей, проектные решения могут содержать несущие слои основания из материалов следующих типов:

- тип I (А) – без добавления вяжущего (только для асфальтогранулобетонных смесей);
- тип II (Э) – с добавлением битумной эмульсии;
- тип III (В) – с добавлением вспененного битума;
- тип IV (М) – с добавлением минерального вяжущего;
- тип V (К) – с добавлением комплексного вяжущего (органического в сочетании с минеральным).

Вид вяжущего определяют с учетом технологических возможностей ведущей машины производственного комплекса и технико-экономических соображений.

Окончательные результаты подбора состава смеси, его корректирование производят в процессе строитель-

ства пробного участка с учетом выбранного технологического регламента производства работ и используемых машин и механизмов.

При строительстве пробного участка необходимо решить задачи по оптимизации гранулометрического состава асфальтогранулобетонной или грунтобетонной смеси, по корректированию оптимальной влажности и максимальной плотности асфальтогранулобетонной или грунтобетонной смеси, установить среднюю рабочую скорость ресайклера и длину сменной захватки. Следует назначить состав звена дорожных катков и определить оптимальные режимы уплотнения с отработкой технологии перекрытия смежных полос.

При проведении работ методом смешивания на дороге ведущей машиной специализированного отряда является ресайклер на колесном или гусеничном ходу, снабженный устройствами дозирования компонентов и вяжущих и оборудованием для предварительного уплотнения и укладки смеси.

В ряде регионов России (Ленинградская, Московская, Воронежская области и др.) накоплен большой положительный опыт применения предлагаемой технологии. Построенные с ее применением автомобильные дороги показали высокую эксплуатационную надежность.

Список литературы

1. Долгилевич Ю.П., Костельов М.П., Хаккерт Ян. Опыт применения технологии холодной регенерации дорожных покрытий в США // *Дорожная техника*. 2005 № 1. <http://library.stroit.ru/articles/coldreg/index.html> (дата обращения 07.12.2016).
2. Горнаев Н.А., Никишин В.Е., Кочетков А.В. Холодный регенерированный асфальт // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2007. Т. 3. № 1 (26). С. 112–116.
3. Патент РФ 2232841. *Способ холодной регенерации слоев дорожной одежды (варианты)* / Бахрах Г.С. Заявл. 29.01.2003. Опубл. 20.07.2004. Бюл. № 03.
4. Бахрах Г.С. Холодная регенерация дорожных одежд нежесткого типа. М.: Росавтодор, 1999. 84 с.

References

1. Dolgilevich Yu.P., Kostel'ov M.P., Khakkert Yan. Experience of using cold regeneration road pavement technology in the US. *Dorozhnaya Tekhnika*. 2005. No. 1. <http://library.stroit.ru/articles/coldreg/index.html> (data obrashcheniya 07.12.2016). (Date of access 12.7.2016).
2. Gornaev N.A., Nikishin V.E., Kochetkov A.V. Cold regenerated asphalt. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2007. Vol. 3, No. 1 (26), pp. 112–116. (In Russian).
3. Patent RF 2232841. *Sposob kholodnoi regeneratsii sloev dorozhnoi odezhdy (varianty)* [The process of cold regeneration of pavement layers (options)] Bakhrah G.S. Declared 29.01.2003. Published 20.07.2004. Bulletin No. 3. (In Russian).

5. Wirtgen. Технология холодного ресайклинга. Windhagen, Germany: Wirtgen Windhagen. 2012. 370 с. http://media.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/infomaterial_1/kaltrecycler/kaltrecycling_technologie/kaltrecycling_handbuch/___RU.pdf (дата обращения 07.12.2016).
6. Kanhal P.S., R.B. Mallick. Development of rational and practical mix design system for full depth reclaimed (FDR) mixes. University of New Hampshire. Final Report. 2002, pp. 1–103.
7. Сартаков А.А. Расчет срока службы асфальтогранулобетонных оснований дорожных одежд, восстановленных методом холодного ресайклинга // *Высшая школа*. 2016. № 9-1. С. 124–126.
8. Ефимова В.М., Верховцева Т.А., Дудин В.М. Ремонт дорожной одежды методом холодной регенерации (ресайклинга). Шестидесят девятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. Ярославль. 2016. Т. 1. С. 968–971.
9. Черных Д.С., Строев Д.А., Задорожный Д.В., Горелов С.В. Оценка влияния количества асфальтогранулята и технологии его подачи на свойства приготавливаемых асфальтобетонных смесей // *Инженерный вестник Дона*. 2013. Т. 27. № 4. С. 196. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2197> (дата обращения 07.12.2016).
10. Цицикашвили М.С., Вагнер Е.Я., Костылевский А.В., Попов А.М. Эффективность технологических решений холодной регенерации слоев дорожных одежд // *Научные труды SWORLD*. 2016. № 1 (42). С. 8–14.
4. Bakhrahk G.S. Kholodnaya regeneratsiya dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa [Cold regeneration pavements non-rigid type]. Moscow: Rosavtodor. 1999. 84 p.
5. Wirtgen. Tekhnologiya kholodnogo resaiklinga [Wirtgen. The technology of cold recycling]. Windhagen, Germany: Wirtgen Windhagen. 2012. 370 p. http://media.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/infomaterial_1/kaltrecycler/kaltrecycling_technologie/kaltrecycling_handbuch/___RU.pdf. (Date of access 12.7.2016). (In Russian).
6. Kanhal P.S., R.B. Mallick. Development of rational and practical mix design system for full depth reclaimed (FDR) mixes. University of New Hampshire. Final Report. 2002, pp. 1–103.
7. Sartakov A.A. The calculation of the service life of pavements asphaltgranulobetonnyh reason recovered by cold recycling. *Vysshaya shkola*. 2016. No. 9-1, pp. 124–126. (In Russian).
8. Efimova V.M., Verkhovtseva T.A., Dudin V.M. Repair pavement cold regeneration method (recycling). Sixty-ninth All-Russia scientific-technical conference of students, undergraduates and graduate students of higher educational institutions with international participation. Yaroslavl. 2016. Vol. 1, pp. 968–971. (In Russian).
9. Chernykh D.S., Stroeve D.A., Zadorozhnyi D.V., Gorelov S.V. Assessing the impact of the number of asphaltgranulata and feed technology on the properties of prepared asphalt mixtures. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2013. Vol. 27. No. 4, p. 196. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2197>. (Date of access 12.7.2016). (In Russian).
10. Tsitsikashvili M.S., Vagner E.Ya., Kostylevskiy A.V., Popov A.M. The efficiency of technology of cold regeneration of pavement layers. *Nauchnye trudy SWORLD*. 2016. No. 1 (42), pp. 8–14. (In Russian).

Главное событие
строительного рынка
и смежных отраслей
Алтайского края

| Качественные деловые контакты |
| Широкие возможности для продвижения |
| Эффективные продажи |

22-я Межрегиональная
специализированная выставка

**17–19
мая**

**Строительство
Благоустройство
Интерьер'2017**

г. Барнаул
ТРЦ «Арена»
Выставочно-конгрессный
центр «Атлас» (2-й этаж)
открытая уличная площадка

По вопросам участия обращаться:
(3852) 65-88-44 | altfair@altfair.ru
www.stroyka.altfair.ru

Организаторы выставки:
· ЗАО «Алтайская ярмарка»;
· ООО «Современные
выставочные технологии».

А.В. РУДЕНСКИЙ, д-р техн. наук, зам. руководителя Исследовательского центра по дорожному строительству (ruda0704@yandex.ru)

ОАО «НИИМосстрой» (119192, Москва, ул. Винницкая, 8)

Рациональное использование строительных материалов и ресурсосбережение — актуальные направления повышения эффективности работ при строительстве и ремонте автомобильных дорог

Рассмотрены основные направления эффективного использования строительных материалов и ресурсосбережения, повышения качества и продления сроков службы автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями. Приведены данные об объемах потребления дорожно-строительных материалов при строительстве и ремонте покрытий. Показана необходимость совершенствования традиционных технологических решений и технических требований к асфальтобетону, совершенствования методов проектирования дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями, продления сроков службы дорожных конструкций с целью экономного расходования материальных, энергетических и финансовых ресурсов при строительстве автомобильных дорог.

Ключевые слова: строительные материалы, дорожные покрытия, асфальтобетон, ресурсосбережение, технические требования.

Для цитирования: Руденский А.В. Рациональное использование строительных материалов и ресурсосбережение — актуальные направления повышения эффективности работ при строительстве и ремонте автомобильных дорог // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 76–80.

A.V. RUDENSKY, Doctor of Sciences (Engineering), Deputy Head, Research Center of Road Construction ((ruda0704@yandex.ru)
ОАО «НИИМосстрой» (8, Vinnitskaya Stret, 119192, Moscow, Russian Federation)

Rational Application of Building Materials and Resource Saving — Actual Way of Improving Works Efficiency When Constructing and Repairing Automobile Roads

Main ways of the efficient application of building materials and resource saving, improvement of the quality and the extension of the service life of automobile roads with asphalt-concrete pavements are considered. Data on the volumes of road-building materials consumption when constructing and repairing pavements are presented. The need to improve traditional technological solutions and technical requirements for asphalt concrete, improve design methods for road pavements with asphalt concrete facings, extend the service life of road structures for the purpose of economy consumption of material, energy and finance resources when constructing automobile roads is shown.

Keywords: building materials, road pavements, asphalt concrete, resource saving, technical requirements.

For citation: Rudensky A.V. Rational application of building materials and resource saving — actual way of improving works efficiency when constructing and repairing automobile roads. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 76–80. (In Russian).

Решение проблем рационального использования строительных материалов и ресурсосбережения является одним из важнейших направлений в обеспечении эффективного использования материальных, энергетических и финансовых ресурсов при проведении строительных и ремонтных работ. В строительной сфере важное место занимают работы по строительству и ремонту автомобильных дорог.

Основой автодорожной сети являются автомобильные дороги с асфальтобетонными покрытиями. Они выдерживают большую часть транспортных перевозок в стране.

Состояние асфальтобетонных покрытий оказывает существенное влияние на эффективность работы автомобильного транспорта. Наличие на поверхности дорожного покрытия разного рода повреждений и неровностей приводит к перерасходу топлива при движении автотранспортных средств, а возникновение повышенного уровня вибраций — к ускоренному износу как самого дорожного покрытия, так и автомобилей. Вследствие этого стоимость перевозок автомобильным транспортом в 1,5 раза, а расход горючего на 30% превышают аналогичные показатели развитых зарубежных стран.

На строительство и ремонт дорог с асфальтобетонными покрытиями ежегодно расходуются значительные средства, причем доля затрат на ремонт и содержание

дорог в целях поддержания дорожной сети в требуемом транспортно-эксплуатационном состоянии превышает объем затрат на новое строительство и реконструкцию.

Реальные сроки службы асфальтобетонных покрытий в условиях интенсивного движения автотранспорта составляют во многих случаях не более 4–5 лет, а нередко всего 2–3 года. Столь малые сроки службы покрытий вследствие преждевременного выхода асфальтобетонных покрытий из строя из-за интенсивного развития повреждений в виде колеи, пластических деформаций, трещин и выбоин экономически неэффективны. Такое положение вынуждает дорожные организации проводить многократные ремонтные работы в процессе эксплуатации дороги, тратить значительные материальные, трудовые и финансовые ресурсы на поддержание требуемых транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог.

Актуальными направлениями повышения эффективности расходования финансовых и материальных ресурсов при строительстве и ремонте дорожных асфальтобетонных покрытий являются:

- использование ресурсосберегающих технических решений, включая максимально широкое использование местных материалов и вторичных материальных ресурсов;
- продление сроков службы дорожных асфальтобетонных покрытий, что позволяет существенно сокра-

тить затраты на ремонтные работы в процессе эксплуатации;

- совершенствование системы технических требований к применяемым материалам, технологиям и конструкциям;
- активное использование инновационных технических решений.

Ресурсосбережение при решении конкретных технических вопросов в области строительства и ремонта автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями предусматривает разработку наиболее эффективных конструкций и технологий, обеспечивающих их повышенную долговечность при рациональном и экономном использовании дорожно-строительных материалов, экономии энергетических ресурсов при их производстве и применении.

Дорожное строительство располагает значительными резервами ресурсосбережения [1], экономией материальных и энергетических ресурсов при значительных объемах расходования дорожно-строительных материалов, используемых при проведении работ по строительству и ремонту дорожных конструкций [2]. Так, в частности, на устройство 1 км дорожного асфальтобетонного покрытия требуется 1500–2000 т асфальтобетонной смеси (при расчетной ширине покрытия 7 м и толщине слоев покрытия 10 см). Это требует расхода 700–1200 т высокопрочного щебня, 600–800 т песка, 75–120 т минерального порошка и 80–100 т нефтяного битума. Для многополосных дорог эти цифры существенно увеличиваются.

Кроме того, производство, транспортирование и переработка применяемых материалов требуют значительных энергетических затрат. Таким образом, для строительства и ремонта дорожных покрытий расходуются значительные материальные и энергетические ресурсы. Важным элементом ресурсосбережения является энергоэффективность работ по строительству и ремонту автомобильных дорог. Анализ структуры энергозатрат, а также материальных ресурсов при строительстве дорожных асфальтобетонных покрытий позволил выявить наиболее эффективные направления ресурсосбережения при строительстве и ремонте дорожных асфальтобетонных покрытий.

На производство дорожно-строительных материалов расходуется порядка 15–20% от общего объема энергозатрат на устройство асфальтобетонного покрытия (в среднем 130–195 ГДж/км); на транспортирование материалов, включая погрузочно-разгрузочные работы, около 12–25% от общего объема энергозатрат (в среднем 120–300 ГДж/км); на приготовление асфальтобетонных смесей около 40–50% от общего объема энергозатрат (в среднем 425–530 ГДж/км); на транспортирование смеси к месту проведения работ, укладку и уплотнение около 15–20% от общего объема энергозатрат (в среднем 145–195 ГДж/км) [3].

Исследованиями НИИМосстроя с учетом особенностей проведения работ в городских условиях подготовлены Технические рекомендации по устройству дорожных конструкций с применением асфальтобетона ТР 103–07. В этом документе, в частности, отражен ряд эффективных разработок, обеспечивающих возможность устройства слоев дорожных покрытий и оснований с использованием местных каменных материалов.

Одной из таких разработок является технология производства дорожных асфальтобетонных смесей с использованием щебеночных материалов разного генезиса и разной прочности. При этом сокращение потребности в высокопрочном щебне может составлять до 20–50% и более от общего объема потребности в щебеночных материалах для устройства конструктивных слоев дорожных покрытий при сохранении расчетных характеристик дорожной конструкции.

В результате сокращение потребности в поставках дальнепривозного высокопрочного щебня изверженных и метаморфических пород только для регионов Москвы и Московской области составит не менее 1,5 млн т/г (высвобождается около 500 железнодорожных составов). При этом обеспечивается существенная экономия не только материальных, но и энергетических ресурсов, затрачиваемых на транспортирование.

Другим ресурсосберегающим техническим решением является возможность замены при устройстве дорожных оснований слоев из необработанного прочного щебня слоями из менее прочного карбонатного щебня, обработанного вяжущими. При реализации этого технического решения обеспечивается экономия более прочного щебня в объеме в среднем около 2500 м³ при строительстве 1 км автомобильных дорог местной сети и в объеме порядка 7000 м³ при строительстве дорог высших технических категорий.

Особенность технологии приготовления асфальтобетонных смесей с использованием щебеночных материалов разного генезиса заключается в рациональном подборе фракций щебня разного генезиса, что позволяет обеспечить лучшую уплотняемость таких асфальтобетонных смесей по сравнению с традиционными составами, приготавливаемыми на основе щебня одного типа. За счет большей плотности обеспечивается более высокая водостойкость и прочность получаемого асфальтобетона, несмотря на присутствие в его составе определенной доли менее прочных частиц щебня. Асфальтобетоны, приготовленные по указанному принципу, могут рассматриваться как новый тип асфальтобетонов («тип Е»). На такие асфальтобетоны были разработаны Технические условия ТУ 218 РСФСР 541–85, утвержденные Госстроем СССР № 002\025800 от 25.04.86, а также рекомендации по их применению.

Важным преимуществом указанного технического решения является то, что дорожное покрытие из такого асфальтобетона сохраняет в процессе эксплуатации стабильные фрикционные свойства вследствие неоднородного износа частиц щебня разной прочности. В процессе изнашивающего воздействия автомобильных шин на такое покрытие происходит самовосстановление шероховатости поверхности в отличие от покрытий с использованием традиционных составов асфальтобетонов, у которых износ поверхности происходит равномерно вследствие применения щебня одинаковой прочности. Этот эффект обеспечивает существенную экономию затрат в процессе эксплуатации, поскольку позволяет исключить (или существенно снизить) затраты на проведение работ по восстановлению шероховатости покрытия путем устройства слоев поверхностной обработки.

В направлении использования вторичных материальных ресурсов проблема использования продуктов переработки изношенных автомобильных шин имеет большое экономическое и экологическое значение. Известно много различных технологий использования резиновой крошки в асфальтобетоне, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. В целях разработки наиболее эффективной технологии использования резиновой крошки в асфальтобетоне ГК «Автодор» в 2014–2015 гг. составлены методические рекомендации и технические требования к резиноасфальтобетонам, в которых большое внимание уделено обеспечению однородности как получаемого резинобитумного вяжущего, так и резиноасфальтобетона.

Другим важным направлением использования вторичных материальных ресурсов является применение в составе асфальтобетонных смесей гранулята старого асфальтобетона, образующегося при фрезеровании изношенных асфальтобетонных покрытий. Эта технология особенно важна при проведении ремонтных работ в круп-

ных городах. В частности, в Москве ГУП НИИМосстрой разработаны Технические рекомендации по применению асфальтобетонных смесей, модифицированных добавками старого асфальтобетона ТР 197–08, регламентирующие требования к составам и обеспечивающие эффективность технологии применения таких смесей.

Продление сроков службы дорожных асфальтобетонных покрытий является важным направлением ресурсосбережения за счет сокращения материальных и финансовых затрат на проведение периодических ремонтных работ в процессе эксплуатации дорожных покрытий, что может быть достигнуто за счет:

- совершенствования конструкций дорожных одежд;
- повышения качества асфальтобетона;
- совершенствования технологии производства и применения асфальтобетонных смесей;
- совершенствования системы технических требований к асфальтобетонам.

Совершенствование конструкций дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями может быть осуществлено, в частности, путем реализации следующих технических решений:

- совершенствование методики расчета и конструирования дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями;
- устройство слоев оснований из материалов, укрепленных вяжущими (битумом или цементом), взамен широко распространенных несвязных слоев оснований;
- учет особенностей работы асфальтобетонных покрытий в различных климатических условиях путем разработки уточненного дорожно-климатического районирования.

Совершенствование методики расчета и конструирования дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями требует в первую очередь разработки принципиально новой методики проектирования таких конструкций, основанной на учете специфики эксплуатационного поведения асфальтобетонных покрытий, заключающейся в том, что физико-механические характеристики асфальтобетона (модуль упругости, прочность, пластичность и др.) меняются в широких пределах в зависимости от температуры. Значения модуля упругости асфальтобетона в зимнее и летнее время существенно различаются, при этом они могут изменяться также и по толщине покрытия в зависимости от различий в температуре верхних и нижних слоев покрытия.

Поэтому расчет конструкций, основанный на использовании неких постоянных («расчетных») значений модуля упругости асфальтобетона, является лишь весьма грубым приближением к реальному поведению конструкции. Расчет дорожных конструкций следует основывать на компьютерном моделировании вариаций физико-механических характеристик асфальтобетона в процессе эксплуатации [4]. Эффективное конструирование дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями, основанное на принципах компьютерного моделирования, позволит наиболее точно учитывать особенности климатических и эксплуатационных условий работы дорожных конструкций, обеспечить на этой основе продление их сроков службы и получить значительное ресурсосбережение.

Другим эффективным решением является использование укрепленных вяжущими слоев оснований, преимуществом которых является то, что их характеристики остаются относительно постоянными в процессе эксплуатации, тогда как несвязные слои оснований в течение времени разуплотняются под воздействием вибраций, возникающих при движении транспортного потока, в связи с чем коэффициент прочности дорожных конструкций на многих дорогах со временем становится ниже требуемого.

Необходимость разработки уточненного дорожно-климатического районирования, учитывающего специфику работы асфальтобетонных покрытий, определяется тем, что для асфальтобетонных покрытий ведущими факторами районирования являются температура и степень континентальности климата, тогда как в традиционном дорожно-климатическом районировании ведущими факторами являются температура и особенности грунтово-гидрологических условий.

Повышение качества асфальтобетона предусматривает в первую очередь применение в составе асфальтобетонных смесей различного рода модифицирующих компонентов (полимеров, поверхностно-активных веществ, волокон и пр.). Известно большое разнообразие предлагаемых модификаторов, решение об эффективности использования которых должно приниматься с учетом трех критериев эффективности: технической, технологической и экономической [5, 6].

Реализация курса на активное внедрение инновационных технических решений, несмотря на большое количество предлагаемых разработок, наталкивается на ряд сдерживающих факторов. Так, строитель работает по утвержденному проекту и смете, и для внедрения какой-либо инновационной разработки ему надо пересогласовывать утвержденную документацию. В свою очередь, разработчик проекта не может вносить в проект какое-либо инновационное решение, пока оно не будет включено в перечень действующих нормативных документов, без чего проект не может быть утвержден экспертизой. В результате внедрение инновационного решения затягивается. Необходимо разработать систему стимулирования внедрения инновационных технических решений, упрощающую и ускоряющую процесс принятия соответствующих решений. С этой целью рекомендуется создать экспертные советы по конкретным направлениям с правом утверждения предлагаемых инновационных решений. Для обоснованного выбора эффективных инновационных решений и отсева необоснованных предложений советы должны состоять из ведущих специалистов по конкретным рассматриваемым направлениям.

Совершенствование технологии производства и применения асфальтобетонных смесей наряду с традиционными направлениями, такими как повышение качества перемешивания асфальтобетонных смесей и снижение температуры приготовления в целях экономии энергозатрат, может быть достигнуто путем перехода на так называемую двухстадийную технологию производства асфальтобетонных смесей. По этой технологии на первой стадии готовится смесь битума с минеральным порошком, а на следующей стадии эта смесь (асфальтовое вяжущее) перемешивается со щебнем и песком. Принципиальным дефектом традиционной одностадийной технологии является то, что битум вводится в сухую смесь всех минеральных компонентов – щебня, песка и минерального порошка. При этом битум, как склеивающий компонент, вводится на запыленную минеральным порошком поверхность частиц щебня и песка. Основным правилом качественного склеивания является требование, по которому склеиваемые поверхности должны быть чистыми, свободными от пыли и грязи, что резко ухудшает качество склеивания и является основной причиной пониженной водостойкости асфальтобетонных смесей и приводит в процессе эксплуатации к образованию на поверхности дорог многочисленных выбоин, резко ухудшающих транспортно-эксплуатационные характеристики дорожных покрытий.

Реализация принципа двухстадийной технологии может быть осуществлена, в частности, путем предварительного приготовления гранул асфальтового вяжущего (с введением в их состав при необходимости модифици-

рующих добавок: полимеров, ПАВ, волокон) с последующим введением этих гранул в смесь щебня и песка на асфальтобетонных заводах [7].

Организация производства таких гранул на АБЗ может осуществляться впрямь в зимнее время, что позволяет повысить эффективность использования технологического оборудования.

Совершенствование системы технических требований к применяемым материалам требует в первую очередь наведения порядка в действующей системе технических требований, в частности существенной переработки действующего ГОСТ 9128 на смеси асфальтобетонные дорожные и на асфальтобетон, включая требования к материалам, используемым для его приготовления. Это обусловлено тем, что действующий ГОСТ на асфальтобетон содержит ряд принципиальных недостатков, которые не позволяют кардинально решить вопрос повышения долговечности применяемых асфальтобетонов, несмотря на многочисленные исследования, направленные на улучшение качества применяемых асфальтобетонных смесей [8].

Принципиальным недостатком ГОСТа на асфальтобетон является отсутствие в нем показателей свойств асфальтобетона, используемых при проектировании дорожной одежды (таких как модуль упругости и прочность на растяжение при изгибе), в результате чего при контроле качества уложенного в покрытие асфальтобетона невозможно установить, достигнуты ли в результате строительства характеристики асфальтобетона, заложенные в расчеты при конструировании дорожной одежды. Кроме того, сами методики определения прочности асфальтобетона, регламентированные ГОСТом, не соответствуют расчетным режимам работы асфальтобетона в дорожном покрытии. К тому же дифференциация требований к асфальтобетону в зависимости от климатических условий района применения базируется на использовании деления территории страны на дорожно-климатические зоны, не учитывающем специфику работы асфальтобетонных покрытий. Специфика работы, как уже отмечалось, существенно зависит от континентальности климата, что необходимо учитывать при дифференцировании требований к асфальтобетону. Кардинальная переработка ГОСТа на асфальтобетон должна базироваться на учете следующих основных положений:

1. Характеристики прочности и деформативности асфальтобетона, определяемые в соответствии с положениями действующего ГОСТа, не корреспондируются с расчетными характеристиками асфальтобетона, лежащими в основе расчета дорожной конструкции при ее проектировании. Так, расчет дорожной конструкции опирается на характеристики модуля упругости асфальтобетона и прочности при кратковременном изгибе, тогда как ни тот ни другой показатели согласно действующему ГОСТу на асфальтобетон не определяются.

В результате при проектировании состава асфальтобетонной смеси для устройства покрытия остается неизвестным, достигнуты ли при использовании разработанного состава расчетные показатели, предусмотренные проектом и положенные в основу проектного решения по конструкции дорожной одежды.

2. Используемые согласно ГОСТу показатели прочности асфальтобетона определяют в режиме медленного сжатия (при скорости деформирования 3 мм/мин) при температуре 20 и 50°C. Это не соответствует реальному расчетному режиму деформирования асфальтобетона в дорожном покрытии в процессе эксплуатации. В частности, температура 20°C не является расчетной и не связана с каким-либо опасным периодом эксплуатации дорожного покрытия. Показатель расчетной прочности асфальтобетона опирается на значения прочности при кратковременном (или динамическом) режиме

при температуре 0°C. Известно, что температурная зависимость показателей прочности асфальтобетона при медленном сжатии и кратковременном (динамическом) изгибе имеют принципиально различный характер и могут привести к принципиально различным выводам о требованиях, предъявляемых к асфальтобетону.

3. Марка асфальтобетона согласно ГОСТу устанавливается как правило на основе данных о марке применяемого щебня по дробимости, истираемости и морозостойкости. В то же время качество применяемого битума никак не учитывается при назначении марки асфальтобетона, хотя известно, что именно свойства и дозировка битума в наибольшей степени влияют на свойства асфальтобетона и его эксплуатационную долговечность.

4. Дифференциация требований к асфальтобетону в зависимости от климатических условий района проведения работ по строительству и ремонту дорожных асфальтобетонных покрытий должна базироваться на уточненном дорожно-климатическом районировании, учитывающем специфику работы асфальтобетонных покрытий и в частности влияние континентальности климата.

Указанные недостатки ГОСТа не позволяют при проектировании асфальтобетонных смесей выявлять составы, наиболее полно отвечающие принятому в проекте конструктивному решению и климатическим условиям района расположения дороги, что и является одной из причин ускоренного развития поврежденных дорожных покрытий в процессе последующей эксплуатации.

В целях совершенствования технических требований к асфальтобетону, учета расчетных режимов его работы в составе дорожной конструкции и климатических условий района расположения дороги при переработке ГОСТа на асфальтобетон необходимо:

1. Ввести в состав ГОСТа требования к значениям модулей упругости в расчетных температурных режимах, для чего в первую очередь необходимо разработать стандартизованную методику испытаний для определения модулей упругости асфальтобетона.

2. Ввести в состав ГОСТа требования к прочности асфальтобетона при растяжении (или растяжении при изгибе) при воздействии нагрузки в режимах, соответствующих расчетным режимам работы дорожного покрытия, при этом исключив из ГОСТа требования к прочности асфальтобетона при медленном (3 мм/мин) сжатии при 20°C.

3. Изменить систему определения марки асфальтобетона с обязательным включением в нее основных показателей качества применяемого битума, в частности интервала пластичности и сцепления с каменным материалом.

4. Разработать уточненное дорожно-климатическое районирование территории страны с учетом специфики работы асфальтобетона в разных климатических условиях и на этой основе разработать дифференцированные требования к физико-механическим характеристикам асфальтобетона для разных климатических регионов страны.

Для реализации указанной переработки ГОСТа необходимо провести комплекс исследований с разработкой новых методов испытаний по определению расчетных параметров асфальтобетонов и с уточнением требуемых значений этих параметров. В частности, необходимо изменить принцип проектирования оптимального состава асфальтобетона, базирующийся в настоящее время в основном на данных о зерновом составе минеральной части смеси и результатах определения прочности при медленном сжатии при 20°C и не учитывающий особенности состава и свойств асфальтового вяжущего.

Указанная переработка ГОСТа на асфальтобетон позволит проектировать составы асфальтобетона, наибо-

лее точно отвечающие расчетным условиям работы дорожной конструкции, принятым в проекте конструктивными решениям, климатическим и эксплуатационным условиям и особенностям свойств применяемых исходных материалов, повысить эксплуатационную долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий, сократить затраты на проведение ремонтных работ, улучшить транспортно-эксплуатационное состояние

Список литературы

1. Руденский А.В., Доценко А.И. Ресурсосбережение в дорожном строительстве // *МИР: Модернизация. Инновации. Развитие*. 2011. № 3. С. 4–8.
2. Руденский А.В. Ресурсосберегающие технологии – эффективное направление экономии материальных, энергетических и финансовых затрат в дорожном строительстве // *Дорожники*. 2014. № 2. С. 30–32.
3. Руденский А.В. Возможности экономии энергетических ресурсов при строительстве и ремонте автомобильных дорог // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2011. № 6. С. 37–38.
4. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия. М.: Транспорт, 1992. 254 с.
5. Руденский А.В., Калгин Ю.И. Дорожные асфальтобетоны на модифицированных вяжущих. Воронеж: ВГАСУ, 2009. 142 с.
6. Руденский А.В., Никонова О.Н., Казиев М.Г. Повышение долговечности асфальтобетонов введением активного комплексного модификатора // *Строительные материалы*. 2011. № 10. С. 10–11.
7. Руденский А.В., Тараканов С.А. Использование предварительно приготовленных гранул концентрата асфальтового вяжущего – путь повышения эффективности и качества производства дорожных асфальтобетонных смесей // *Дорожная техника*. 2014. С. 48–49.
8. Руденский А.В. О необходимости существенной переработки ГОСТа на асфальтобетон // *Труды РосдорНИИ*. 2009. Вып. 21/1. С. 244–250.

сети дорог с асфальтобетонными покрытиями, повысить эффективность автотранспортных перевозок.

В целом реализация рассмотренных направлений ресурсосбережения при строительстве и ремонте дорог позволит повысить эффективность использования строительных материалов, обеспечить значительную экономию материальных, энергетических и финансовых ресурсов.

References

1. Rudenskiy A.V., Dotsenko A.I. Efficient use of resources in road construction. *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitiye)*. 2011. No. 3, pp. 4–8. (In Russian).
2. Rudenskiy A.V. Resource-saving technologies – effective direction of saving material, energy and financial costs in road construction. *Dorozhniki*. 2014. No. 2, pp. 30–32. (In Russian).
3. Rudenskiy A.V. Possibilities of economy of power resources at building and repair of highways. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2011. No. 6, pp. 37–38. (In Russian).
4. Rudenskiy A.V. *Dorozhnye asfal'tobetonnye pokrytiya [Road asphalt coating]*. Moscow: Transport. 1992. 254 p.
5. Rudenskiy A.V., Kalgin Yu.I. *Dorozhnye asfal'tobetonny na modifitsirovannykh vyazhushchikh [Road asphalt concretes on modified binders]*. Voronezh: VGASU. 2009. 142 p.
6. Rudenskiy A.V., Nikonova O.N., Kaziev M.G. Increase of durability of asphalt concretes by introducing the active complex modifier. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2011. No. 10, pp. 10–11. (In Russian).
7. Rudenskiy A.V., Tarakanov S.A. The use of preformed granules asphalt cement concentrate – way to increase the efficiency and quality of production of road asphalt mixtures. *Dorozhnaya tekhnika*. 2014, pp. 48–49. (In Russian).
8. Rudenskiy A.V. On the need for substantial processing guest on asphalt. *Trudy Rosdornii*. 2009. Vol. 21/1, pp. 244–250. (In Russian).

При поддержке: АРСС Ассоциация развития сталей и металлопродукции, РСТМ Российский союз поставщиков металлопродукции

Организатор: МЕТАЛЛ ЭКСПО

2-я международная специализированная выставка

Металло Конструкции 2017

5-8 июня 2017

Москва ЦВК «Экспоцентр» Павильон 8

Генеральный информационный партнер: МС «Металлоснабжение и сбыт»

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

www.mc-expo.ru

УДК 691.328.43

В.С. ЛЕСОВИК¹, д-р техн. наук (naukavs@mail.ru), Д.Ю. ПОПОВ¹, инженер (popov.dmitry412@yandex.ru);
Е.С. ГЛАГОЛЕВ², канд. техн. наук

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

² Департамент строительства и транспорта Белгородской области (308005, г. Белгород, Соборная пл., 4)

Текстиль-бетон – эффективный армированный композит будущего*

Приведен анализ развития текстиль-бетона, определены основные тенденции применения. Промышленный опыт использования показал, что эффективными областями применения текстиль-бетона являются: создание малых архитектурных форм, садово-парковой мебели, пешеходных мостов, сэндвич-панелей и фасадных плит, выполнение работ по усилению и реконструкции зданий и сооружений, особенно памятников архитектуры. Благодаря высокой несущей способности, отсутствию коррозии текстильной сетки, возможности создавать тонкостенные конструкции текстиль-бетон расширяет творческие границы современной архитектуры. Сделан вывод, что дальнейшие перспективы развития текстиль-бетона связаны с междисциплинарными и трансдисциплинарными исследованиями, в рамках которых созданы композиционные вяжущие нового поколения. Отмечается важность 3D-аддитивных технологий в строительстве, для этих целей разработаны водостойкие и морозостойкие композиционные гипсовые вяжущие.

Ключевые слова: текстиль-бетон, композиционные материалы, армированные композиты, 3D-аддитивные технологии.

Для цитирования: Лесовик В.С., Попов Д.Ю., Глаголев Е.С. Текстиль-бетон – эффективный армированный композит будущего // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 81–84.

V.S. LESOVIK¹, Doctor of Sciences (Engineering) (naukavs@mail.ru), D.Ju. POPOV¹, Engineer (popov.dmitry412@yandex.ru);
E.S. GLAGOLEV², Candidate of Sciences (Engineering)

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

² Department of Construction and Transport, Belgorod Oblast (4, Sobornaya Square, 308005, Belgorod, Russian Federation)

Textile-Concrete – Efficient Reinforced Composite of the Future

The analysis of the development of textile-concrete is presented; main trends of its application are determined. The industrial experience in the application shows that the efficient fields of textile-concrete application are creation of small architectural forms, garden-park furniture, pedestrian bridges, sandwich-panels and facade panels, execution of works concerning the strengthening and reconstruction building and structures, architectural monuments especially. Due to the high bearing capacity, the absence of corrosion of textile meshes, possibility to construct thin-wall structures, the textile-concrete expands the creative boundaries of the modern architecture. It is concluded that further perspectives of textile-concrete development is connected with interdisciplinary and transdisciplinary studies within frames of which composite binders of a new generation are developed. The importance of 3D-additive technologies in construction is highlighted, for these purposes water-resistant and frost-resistant composite gypsum binders have been developed.

Keywords: textile-concrete, composite materials, reinforced composites, 3D-additive technologies.

For citation: Lesovik V.S., Popov D.Ju., Glagolev E.S. Textile-concrete – efficient reinforced composite of the future. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 3, pp. 81–84. (In Russian).

Современный этап развития строительных материалов характеризуется достижениями, в значительной степени обусловленными монодисциплинарным подходом к исследованиям. Разработаны строительные материалы и бетоны широкой номенклатуры, используемые для строительства зданий и сооружений, соответствующие требованиям по обеспечению прочности и надежности. Новый период в развитии общества и эволюции человека характеризуется необходимостью создания благоприятных условий для существования человека за счет изменения архитектуры, колористики окружающей среды и др. [1, 2]. Для достижения поставленных целей необходимы новые строительные материалы, обладающие широким спектром свойств и требуемых характеристик. Одним из таких перспективных материалов является текстиль-бетон.

Текстиль-бетон – относительно новый композиционный материал, состоящий из мелкозернистого бетона и текстильной армирующей сетки. Известно, что самым большим недостатком стальной арматуры является ее подверженность коррозии [3, 4]. В течение длительного времени стальной арматуре искали замену. Одним из результатов этого поиска стал текстиль-бетон – новый композиционный материал, разработанный в середине 1990-х гг. в Германии [5, 6].

Первые исследования проводились в рамках двух научно-исследовательских программ Немецкого научно-исследовательского фонда (Deutsche Forschungsgemeinschaft) – SFB 528 «Текстильная арматура для строительного-технического усиления и реконструкции», проводимой в Техническом университете Дрездена, и SFB 532 «Бетоны, армированные текстильной арматурой, – основания для развития новых технологий» в Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена в период с 1999 по 2011 г. В Дрездене внимание было сосредоточено на использовании текстиль-бетона в качестве материала для усиления и реконструкции зданий и сооружений. В Ахене на первом месте стояла задача использования текстиль-бетона в качестве основного материала для создания конструкций и сооружений.

В настоящее время существует множество научно-исследовательских площадок и коммерческих фирм, занимающихся изучением, развитием, переносом знаний в практику и внедрением технологий в строительную отрасль. Например, в 2007 г. на базе Технического университета Дрездена был основан Немецкий центр текстиль-бетона (Deutsches Zentrum Textilbeton) [7].

В настоящее время научное направление развивается в рамках проекта «СЗ – Carbon Concrete Composite»,

* Работа выполнена в рамках исследовательской стипендии Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD), Referat ST22 в период 2015/16 гг.



Рис. 1. Схема приготовления текстиль-бетона

изготовленных из волокон щелочестойкого АR-стекла или углерода [8]. Они укладываются между слоями бетонной смеси, толщина которых может достигать 3 мм (рис. 1).

Благодаря сочетанию свойств бетона и текстильной сетки композит обладает уникальными возможностями. За счет высокой прочности на разрыв углеродных волокон и волокон из щелочестойкого АR-стекла, из которых соткана сетка, текстиль-бетон становится практически «гибким» материалом (рис. 2).

Впервые на практике текстиль-бетон был опробован в качестве композиционного материала для усиления железобетонной конструкции при реконструкции крыши большой аудитории Университета прикладных наук в городе Швайнфурт (Бавария, Германия) в 2006 г. [9].

Усиление конструкции текстиль-бетоном проведено успешно – достигнуто хорошее сцепление свежеуложенного мелкозернистого бетона с поверхностью старого бетона, предварительно подготовленного для усиления (очищенного от разрушившегося камня, затирки микротрещин и обдувки). В качестве армирующего материала использовалась текстильная сетка из углеродного волокна. Полотна сетки укладывались послойно между слоями мелкозернистого бетона толщиной 3 мм, общая толщина текстиль-бетона составила 15 мм (рис. 3). Работа производилась совместно Техническим университетом Дрездена (Германия) и компанией «Torkret GmbH» (Эссен, Германия).

Особенно хорошо материал себя зарекомендовал при реконструкции памятника архитектуры – исторического здания в городе Цвиккау (Саксония, Германия) [7]. В рамках требований по защите памятников архитектуры стояла задача произвести усиление крыши исторического здания, имеющей цилиндрическую форму. По результатам расчетов прочность сооружения не соответствовала стандартным нормам DIN 1045-1. Традиционные методы усиления с применением инъекционного бетона не подходили, поскольку при этом возрастает толщина отделочного слоя и утяжеляется вся конструкция, что снижает несущую способность всех элементов здания. Другой альтернативный метод заключался в усилении сооружения наклеивающимися пластинами, которые увеличивают несущую способность, но создают дополнительную нагрузку на конструкцию и существенно затрудняют отделочные работы.

который является наиболее широкой платформой для обсуждения достижений, реализации идей и переноса знаний о текстиль-бетоне в практику и насчитывает более 150 участников [7].

Для изготовления текстиль-бетона используется мелкозернистый бетон, состоящий из песка, цемента, минеральных наполнителей, специальных добавок, влияющих на реологические свойства бетонной смеси, и воды. Текстильная сетка применяется в виде сотканых полотен,

По технологии усиления следовало сначала удалить штукатурный слой, а затем восстановить несущую способность объекта с помощью многослойной укладки полотен текстильной сетки и мелкозернистого бетона методом торкретирования (набрызгом). Армирование проводилось на внутренней и внешней поверхностях, общая толщина усиления составляла от 6 до 12 мм.

Использование текстиль-бетона вместо старого штукатурного слоя давало возможность сохранить оригинальную геометрию, форму и изысканный стиль крыши исторического здания. Кроме того, применение данного способа усиления было целесообразным с точки зрения требований защиты памятников архитектуры, пожарно-технической безопасности и расчетов прочности конструкции крыши.

Эффектным примером возможностей текстиль-бетона является применение его при строительстве пешеходных мостов. Первый в мире мост из текстиль-бетона был возведен в 2005 г. в г. Ошатце (Саксония, Германия) (рис. 4, а) [10]. Его длина 8,66 м, внутренняя ширина 2,5 м. Конструкция состоит из 10 U-образных секций толщиной от 3 см, скрепленных между собой неподвижными стальными стержнями. Вес моста всего 5 т, но его несущая способность составляет 38 т. Обычный железобетонный мост, обладающий такой же несущей способностью, весил бы в пять раз больше.

Осенью 2007 г. в г. Кемптене (Бавария, Германия) был построен второй секционный мост из текстиль-бетона (рис. 4, б) [10]. Его длина составляет 17 м, внутренняя ширина 2 м. Мост состоит из 18 U-образных сек-



Рис. 2. Демонстрация возможностей текстиль-бетона при приложении изгибающей нагрузки

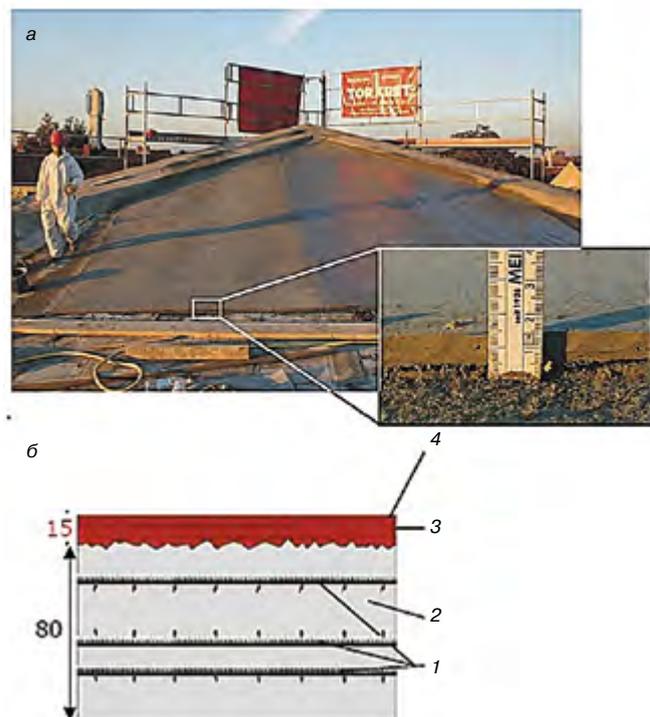


Рис. 3. Уложенный текстиль-бетон (а) [9] и схема усиления текстиль-бетоном (б): 1 – стальная арматура; 2 – старый бетон; 3 – слой текстильной сетки; 4 – слой мелкозернистого бетона



Рис. 4. Мосты из текстиль-бетона: а – в г. Ошатце [10], б – в г. Кемптене [10], в – в г. Албштадт-Лаутлингене [11]

ций, произведенных на заводе, каждая из которых весит около 620 кг, так же, как и в первом случае, закрепленных между собой стальными неподвижными стержнями. Вес моста составляет 12,8 т.

Самый длинный мост в мире из текстиль-бетона находится в г. Албштадт-Лаутлинген (Баден-Вюртемберг, Германия) (рис. 4, в) [11]. Он состоит из семи сборных элементов, которые имеют максимальную длину 17,2 м, высоту 43,5 см, ширину 3,21 м. Длина моста составляет 97 м.

Поскольку сетка не подвержена коррозии и не требует большого защитного слоя, это позволяет создавать легкие тонкостенные изделия и конструкции из бетона. В настоящее время для наружной отделки применяются фасадные плиты и сэндвич-панели из текстиль-бетона [12].

Текстиль-бетон привлек внимание не только инженеров, но также художников и дизайнеров для создания различных архитектурных объектов и садово-парковой мебели (рис. 5).

Для демонстрации возможности применения текстиль-бетона в качестве основного композиционного материала возведен ряд сооружений. В Дрездене построено сооружение из шести монолитных раковин треугольной формы толщиной до 40 мм и максимальной длиной ребра 5 м, соединенных между собой (рис. 5, а). На территории студенческого городка Технического университета Ахена возведена легкая

конструкция из текстиль-бетона в виде развернутых парусов (трехмерных оболочек) (рис. 5, б) [16]. В дальнейшем сооружение приобрело стеклянные стены и коммуникации и стало полноценным зданием. В настоящее время оно используется для проведения семинаров и конференций.

Эффективные армированные композиты, обладающие комплексом различных свойств, становятся основными строительными материалами XXI в., что позволит расширить возможности современной архитектуры и реализовать самые смелые замыслы зодчих. В связи с этим перспективным является применение текстиль-бетона в современной архитектуре в качестве универсального материала для создания сложных пространственных форм, что позволит решить такие актуальные задачи, как:

- борьба с коррозией стальной арматуры;
- увеличение прочностных и эксплуатационных характеристик изделий;
- снижение энергоемкости и материалоемкости сооружений;
- сокращение нагрузки на окружающую среду путем уменьшения потребления сырьевых материалов;
- расширение области применения бетона.

Таким образом, эффективные армированные композиты завоевывают место в современной стройиндустрии для получения широкой номенклатуры изделий и, что очень важно, позволяют создавать архитектур-



Рис. 5. Малые архитектурные объекты и мебель из текстиль-бетона: а – сооружение в Дрездене [13], б – выставочный объект в Техническом университете Хемниц в исследовательском павильоне GFK-Textilbeton-Hybrid (CoFigloo) [14], в – мебель из текстиль-бетона [15]

ные объекты для оптимизации среды обитания человека. Текстиль-бетон является перспективным материалом будущего, который может применяться в различных направлениях стройиндустрии.

Будущее высокоэффективных армированных композитов неразрывно связано с применением вяжущих нового поколения. Например, разработана технология производства композиционных вяжущих широкой номенклатуры путем домола портландцемента и 20–80% кремнеземсодержащих компонентов определенного генезиса. Наличие в их составе кварца различного генезиса с дефектной кристаллической решеткой, газовоздушных включений, примесей минералообразующей среды, рентгеноаморфных веществ и т. д. позволяет существенно изменить процесс структурообразования и оптимизировать структуру цементного камня на микро- и макроуровнях. При этом активность вяжущего достигает 80–100 МПа, что позволяет существенно разнообразить номенклатуру изделий на основе текстиль-бетона [17].

Перспективно применение текстиль-бетона при внедрении 3D-аддитивных технологий в строительстве. Для этих целей предложена технология производства водостойких и даже морозостойких композиционных гипсовых вяжущих [18], без которых невозможно широкомасштабное внедрение 3D-аддитивных технологий в строительстве.

Будущее этого актуального научного направления связано с внедрением междисциплинарных и трансдисциплинарных подходов, использованием новой сырьевой базы (природного и техногенного сырья с высокой свободной внутренней энергией), теории техногенного метасоматоза в строительном материаловедении, закона родства структур [19], других достижений строительного материаловедения и смежных наук.

Список литературы / References

- Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. № 1 (100). С. 9–16.
- Lesovik V.S. Construction materials. Present and future. *Vestnik MGSU*. 2017. Vol. 12. No. 1 (100), pp. 9–16. (In Russian).
- Лесовик В.С., Перькова М.В., Бабаев В.Б. Архитектурная геоника как междисциплинарное направление в архитектурной науке и практике // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2015. № 6. С. 74–79.
- Lesovik V.S., Per'kova M.V., Babaev V.B. Architectural a geonickname as the cross-disciplinary direction in architectural science and practice. *Vestnik BSTU imeni V.G. Shukhova*. 2015. No. 6, pp. 74–79. (In Russian).
- Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Морозов В.И., Магдеев У.Х. Прочность и деформативность полиармированного фибробетона с применением аморфной металлической фибры // *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 1. С. 107–111.
- Pukhareno Yu.V., Panteleev D.A., Morozov V.I., Magdeev U.Kh. Durability and deformativnost of the polyreinforced fibrobetaon with application of an amorphous metal fiber. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2016. No. 1, pp. 107–111. (In Russian).
- Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Ларионов Е.А., Римшин В.И. К вопросу длительной прочности бетона // *Архитектура. Строительство. Образование*. 2014. № 2 (4). С. 32–43.
- Erofeev V.T., Bogatov A.D., Larionov E.A., Rimshin V.I. To a question of long durability of concrete. *Arkhitektura. Stroitel'stvo. Obrazovanie*. 2014. No. 2 (4), pp. 32–43. (In Russian).
- Scherer, S., Michler, H., Curbach, M. *Brücken aus Textilbeton. Handbuch Brücken: Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten* (2014), S. 118–129.
- Textilbeton in die Praxis überführen. *BauBlog der TU Dresden vom 31. Oktober 2007*. Access mode: <https://baublog.file1.wcms.tu-dresden.de/2007/10/31/textilbeton-in-die-praxis-uberfuehren>.
- Schladitz F., Lorenz E., Jesse F., Curbach M. Verstärkung einer denkmalgeschätzten Tonnenschale mit Textilbeton. *Beton- und Stahlbetonbau*. 104 (2009), Heft 7, S. 432–437.
- Curbach M., Graf W., Jesse D., Sickert J.U., Weiland S. Segmentbrücke aus textilbewehrtem Beton - Konstruktion, Fertigung, numerische Berechnung. *Beton- und Stahlbetonbau*. 102 (2007), Heft 6, S. 342–352.
- Hankers C., Matzdorf D. Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit textilbewehrtem Spritzbeton. *Fachausatz*, S. 10. Access mode: <http://www.torkret.de/leistungsvielfalt/kernkompetenzen/textilbeton-carbonbeton.html>
- Schladitz F., Lorenz E., Walther T. Textilbeton – Gestaltung ohne Grenzen? 10 Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Karlsruher Institut für Technologie. 13 März 2014, S. 49–55.
- Hegger J., Goralksi C., Kulas C. Schlanke Fußgängerbrücke aus Textilbeton – Sechsfeldrige Fußgängerbrücke mit einer Gesamtlänge von 97 m. *Beton- und Stahlbetonbau*. 106 (2011), Heft 2, S. 64–71.
- Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung: „betoShell“ Platten aus Betonwerkstein mit rückseitig einbetonierten Befestigungselementen zur Verwendung als hinterlüftete Außenwandbekleidung oder als abgehängte Decke. Geltungsdauer bis 27.11.2018, DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik), Berlin, 2013.
- Ehlig D., Schladitz F., Frenzel M., Curbach M. Textilbeton – Ausgeführte Projekte im Überblick. *Beton- und Stahlbetonbau* 107 (2012) 11, S. 777–785.
- Gelbrich S. Organisch geformter Hybridwerkstoff aus textilbewehrtem Beton und glasfaserverstärktem Kunststoff. *Leichter bauen – Zukunft formen. TUDALIT*, 7 (2012), S. 9.
- Die Paulsberg Story – von ersten Materialexperimenten zur Erlebniswelt. Collection. Access mode: <http://store.paulsberg.co/category/collection/>
- Neuer Stoff und alter Meister Pavillon aus Textilbeton an der RWTH Aachen. Access mode: http://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Pavillon_aus_Textilbeton_an_der_RWTH_Aachen_4329073.html
- Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Композиционные вяжущие для порошковых бетонов с промышленными отходами // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. № 1. С. 6–9.
- Tolstoy A.D., Lesovik V.S., Kovaleva I.A. Kompozitsionnye vyazhushchie dlya poroshkovykh betonov s promyshlennymi otkhodami. *Vestnik BGTU imeni V.G. Shukhova*. 2016. No. 1, pp. 6–9. (In Russian).
- Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. 320 с.
- Chernysheva N.V., Lesovik V.S., Drebezgova M.Yu. Vodostoykie gipsovye kompozitsionnye materialy s primeneniem tekhnogennogo syr'ya. Belgorod [Waterproof plaster composite materials with use of technogenic raw materials]. Belgorod: BGTU imtni V.G. Shukhova, 2015. 320 p.
- Lessowik W.S., Sagorodnjuk L.H., Ilinskaya G.G., Kuprina A.A. Das Gesetz über die Verwandtschaft von Strukturen als theoretische Grundlage für die Projektierung von Trockenmischungen. 19-te Internationale Baustofftagung Ibausil. Weimar, 16–18 September 2015. S. 1465–1470.

УДК 691.3:69.003

Е.В. КОРОЛЕВ, д-р техн. наук (korolev@nocnt.ru)

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

Технико-экономическая эффективность новых технологических решений. Анализ и совершенствование

Представлены методические подходы к формированию обобщенного критерия качества строительного материала и к оценке технико-экономической эффективности новых технологических решений, в том числе в области нанотехнологии. Показано, что формализация качества материала должна проводиться с учетом классификации свойств, которые применяются для оценки качества. Для достижения существенного повышения обобщенного критерия качества, которое должно наблюдаться при применении новых технологических решений (особенно при использовании приемов нанотехнологии), недостаточно кратного повышения показателей отдельных свойств. Предложены направления по совершенствованию методики расчета технико-экономической эффективности, а также по методике проектирования составов строительных материалов. Улучшение методики оценки технико-экономической эффективности новых технологических решений заключается в учете влияния случайного варьирования рецептуры материала на его качество, а также в модернизации формулы расчета технико-экономической эффективности в зависимости от изменения относительной стоимости материала.

Ключевые слова: технико-экономическая эффективность, качество, системный анализ, строительное материаловедение, нанотехнология, технологические решения.

Для цитирования: Королев Е.В. Технико-экономическая эффективность новых технологических решений. Анализ и совершенствование // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 85–88.

E.V. KOROLEV, Doctor of Sciences (Engineering) (korolev@nocnt.ru)

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

Technical-Economical Efficiency of New Technological Solutions. Analyses and Improvement

The article presents methodical approaches to the formulation of the generalized criterion of building material quality and to the assessment of technical and economic efficiency of new technological solutions, including solutions in nanotechnology. It is shown that the formalization of the material quality should be carried out with due regard for the classification of properties which are used for quality assessment. To achieve a significant increase in the generalized criterion of quality that should be observed during application of new technological solutions (particularly in case of nanotechnology), it is not enough to improve the values of individual properties. The methods that can be used for improving the calculation of technical and economic efficiency, as well as methods that can be used for designing compositions of building materials are proposed. The improved methodology for assessing the technical and economic efficiency of new technological solutions takes into account the effect of the random variation of the material composition on its quality and is able to modernize the formula for calculating the technical and economic efficiency depending on the change in the relative price of the material.

Keywords: technical-economic efficiency, quality, system analyses, building material science, nano-technology, technological solutions.

For citation: Korolev E.V. Technical-economical efficiency of new technological solutions. Analyses and improvement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 85–88. (In Russian).

Технико-экономическая эффективность технологии или технологического решения часто является определяющим фактором для принятия решения о промышленном применении (внедрении) предложенного новшества и особенно того, которое получило научное обоснование (для инвесторов наличие положительного заключения научных экспертов часто является убедительным) [1]. Непринципиально, относится это к технологическому решению, основанному на применении нового технологического оборудования или на изменении режима его работы, на введении в состав материала новых добавок, в том числе первичных наноматериалов или др.

Подход, отличный от традиционного, был предложен ранее в различных публикациях [2–6]. Сущность предлагаемого подхода очевидна. Она заключается в оценке стоимости технологического решения, позволяющего повысить качество материала:

$$k_{ef} = \frac{\delta F}{\delta C}, \quad (1)$$

где δF — относительное изменение качества материала; δC — относительное изменение стоимости материала.

Очевидно, что при $k_{ef} > 1$ технологическое решение эффективно. Формальные оценки технико-экономической эффективности новых технологических решений

при различных сочетаниях величин δF и δC подробно изложены в [4]. Кроме формального анализа изменения k_{ef} в указанной работе показано, что *совершенствование технологии*, например технологии наномодифицирования посредством введения в материал первичных наноматериалов, *должно приводить к более быстрому снижению стоимости материала по сравнению с повышением его качества*.

Также в [4] показано, что повышение технико-экономической эффективности новых технологических решений достигается при *расширении области применения материала*, например при одновременном применении его как в виде конструкционного, так и отделочного материала или при других сочетаниях *функциональных свойств*.

Адекватная оценка технико-экономической эффективности (правильное применение формулы для расчета k_{ef}) требует *ответственного подхода к формализации понятия «качество материала»*. Эту задачу часто заменяют оценкой изменения только одного-двух свойств, которые, по мнению исследователей, являются ключевыми. Это приводит к заблуждению относительно изменения качества материала.

Первоначально обсудим, как формализовать качество материала, а затем как влияет изменение отдель-

ных свойств на величину δF . Согласно выводу, следующему из формального определения качества*, очевидно, что качество материала (техническая система [7, 8]) зависит от области его применения (надсистемы). В зависимости от области применения определяется *перечень свойств*, которые для анализа и прогнозирования влияния технологического решения на структурообразование и параметры структуры материала целесообразно классифицировать на свойства, характеризующие «реакцию» структуры материала на воздействие эксплуатационной среды, и на свойства, характеризующие качество структуры материала (например, прочность и/или ее разновидности, пористость и ее разновидности и др.). Здесь возникает некоторая тавтология: *качество материала* зависит от *качества его структуры*. Указанная тавтология возникает по причине дуализма в понятии «структура материала». Структуру материала** можно рассматривать как совокупность связей [9], от количества и прочности которых зависит прочность материала и его устойчивость к эксплуатационным воздействиям, так и пространственное расположение различных элементов структуры (зерен заполнителей, воздушных пор различного размера, капилляров и др.), т. е. понятие аналогично понятию «строение» [10]. Отсюда часть свойств зависит от геометрических особенностей структуры (совокупность фильтрационно-погложительных свойств), а другая — от концентрации и вида связей, которые закономерно зависят от вида компонентов, интенсивности взаимодействия на границе раздела фаз и плотности структуры (плотности упаковки вещества материала, объема и размера воздушных пор и капилляров и др.). Поэтому при объяснении наблюдаемых эффектов исследователи используют различные аспекты дуализма понятия структуры материала, а при оценке новых технологических решений выделяется группа свойств, которые являются своеобразными индикаторами, характеризующими качество структуры материала и позволяющими исследователям прогнозировать направление изменения свойств материала (например, уменьшение пористости материала должно приводить к повышению его прочности, морозостойкости, снижению водопоглощения и т. д.).

После установления совокупности свойств производится их *агрегирование по выбранным групповым признакам*. В данном действии также можно использовать установленные классификации*** или самостоятельно разработанные, например по виду эксплуатационного воздействия.

После завершения групповой классификации проводится *формализация* каждого свойства и групп свойств. Наиболее наглядная формализация для любого *свойства* материала — приведение к контрольному значению:

$$k_i = \frac{I_i}{I_{c,i}}, \quad (2)$$

где I_i — значение свойства; $I_{c,i}$ — контрольное или идеальное значение свойства (по существу нормализовано); для *группы свойств* — вычисление среднего геометрического значения:

$$\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n k_i}, \quad (3)$$

где n — количество свойств, входящих в группу, а для *качества материала* — суммирование значений, полученных при вычислении средних геометрических значе-

ний групп свойств ($j = 1, 2, 3 \dots m$; m — количество групп свойств):

$$\alpha_1 \cdot \sqrt[n_1]{\prod_{i=1}^{n_1} k_i} + \alpha_2 \cdot \sqrt[n_2]{\prod_{i=1}^{n_2} k_i} + \alpha_3 \cdot \sqrt[n_3]{\prod_{i=1}^{n_3} k_i} + \dots = \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot \sqrt[n_j]{\prod_{i=1}^{n_j} k_i}, \quad (4)$$

где α_j — коэффициент весомости ($\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_m = \sum_{j=1}^m \alpha_j = 1$).

Выбор значений коэффициентов весомости α_j для каждой группы свойств представляет самостоятельную сложную и ответственную задачу, для решения которой можно привлекать: метод номинальных и предельных значений, метод стоимостных регрессионных зависимостей, экспертный метод или др.

Таким образом, качество материала оценивается обобщенным критерием вида:

$$F = \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot \sqrt[n_j]{\prod_{i=1}^{n_j} k_i}, \quad (5)$$

а его относительное изменение —

$$\delta F = (F_n - F_b) / F_b, \quad (6)$$

здесь индексом « n » обозначено качество материала после применения нового технологического решения, а « b » — качество базового материала, имеющего наилучшие показатели свойств для рассматриваемой области применения материала.

Важным является установление влияния изменений значений отдельных свойств на качество материала. В [5] показано, что даже при существенном увеличении значения свойства (было принято двукратное повышение величины свойства) относительное изменение качества материала δF имеет невысокие значения (не более 30%). Обеспечить существенное повышение δF возможно только при условии, если новое технологическое решение существенно повышает величины *большинства свойств* материала. Поэтому увеличение величин одного-двух свойств, возникшее в результате применения нового технологического решения, не оказывает значимого влияния на δF . Кроме того, важно повышать величины свойств, оказывающих *приоритетное влияние на его качество*, т. е. свойства, для которых значения коэффициентов весомости для данной группы свойств являются максимальными.

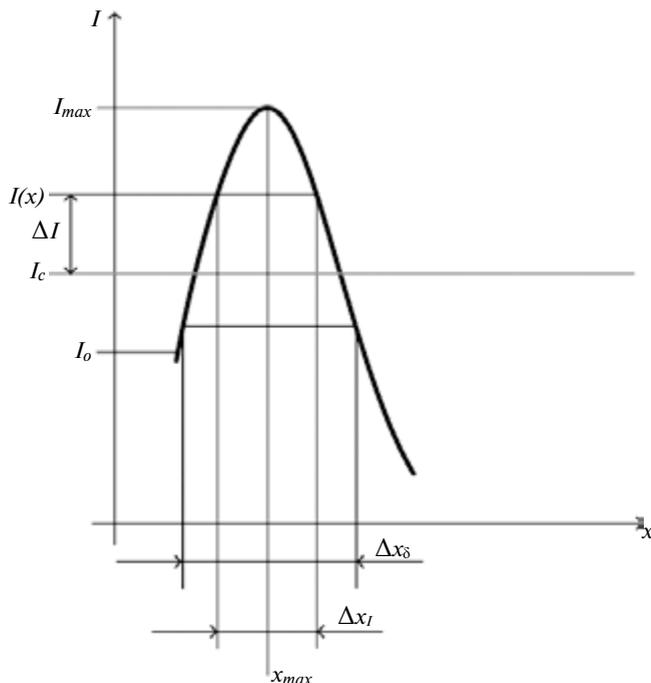
Оценка технико-экономической эффективности технологии наномодифицирования в отношении достаточности представительной выборки материалов была, в частности, проведена в [11]. К сожалению, авторами указанной работы в методическом разделе не были представлены зависимости для расчета скалярных величин δF и δC , но четко показано, что предлагаемые технологические решения весьма эффективны: $k_{ef} = 12-592(!)$. Причем такой уникальный технико-экономический эффект достигается «при сотых и тысячных долях процента» первичного наноматериала [11]. Однако авторы указанной работы указывают, что «острый» характер концентрационных кривых *требует тщательного соблюдения технологических параметров* диспергирования НЧ (их концентраторов) в матрице полимера и композита.

Несмотря на лаконичность определения технико-экономической эффективности нового технологического решения, д-р техн. наук профессор В.Г. Хозин верно указывает (защита диссертации Эльфрефаи Али Эльсайед Мохамед Мохамеда на тему «Повышение прочности, водонепроницаемости и морозостойкости тяжелого бетона наномодификаторами»), что при рас-

* ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81) «Управление качеством. Основные понятия и определения».

** В [8] предложено рассматривать строительный материал как систему, которая является «совокупностью элементов, соединенных отношениями, порождающими интегративное качество». Из этого определения следует, что структура строительного материала — это совокупность его элементов и связей между ними, формирующих интегративные и другие свойства материала.

*** ГОСТ 4.212-80 (СТ СЭВ 6550-88) «Система показателей качества продукции. Строительство. Бетоны. Номенклатура показателей».



Концентрационная зависимость $I=f(x)$: I_{max} – максимальная величина свойства I , достигаемая при концентрации компонента, равной x_{max} ; $I(x)$ – величина свойства I , достаточная для обеспечения технико-экономического эффекта; I_0 – начальная величина свойства I до введения рассматриваемого компонента; I_c – контрольное или идеальное значение свойства; Δx_δ – абсолютная ошибка, возникающая при дозировании компонентов; Δx_I – абсолютная ошибка, которую можно допустить для обеспечения требуемой величины свойства $I \geq I(x)$

чете k_{ef} необходимо учитывать реализацию технического эффекта, проявляющегося в весьма узком диапазоне концентраций первичных наноматериалов, в частности углеродных многослойных нанотрубок, на концентрационных зависимостях свойств композитов.

Ранее в работе [6] было показано, что при введении компонента, особенно такого, который формирует дополнительную границу раздела фаз в композите (например, при введении водной дисперсии углеродных нанотрубок), вероятность получения качественного материала (изделия) весьма мала при использовании оборудования, не позволяющего производить дозирование малых количеств компонентов, или при наличии сильной зависимости свойств от рецептуры. Именно на такие особенности технологии наномодифицирования указывают авторы работы [11].

На основе идеи, предложенной в [6], произведем модернизацию методики вычисления k_{ef} . Априори отметим, что погрешности при дозировании компонентов приводят к нарушению рецептуры материала, которое закономерно оказывает влияние на качество материала. Так, в работе [12] был показан существенный (а в ряде случаев и взаимоисключающий) разброс значений прочности при сжатии образцов цементного камня, содержащего различные УНМ.

Указанное также верно и при несоблюдении технологического режима приготовления, только такое нарушение будет влиять на однородность распределения компонентов, степень завершенности химического процесса взаимодействия компонентов и др.

Далее рассмотрим влияние только рецептурных факторов, предположив, что все факторы, оказывающие влияние на рецептуру материала, являются случайными величинами, вероятность распределения которых подчиняется нормальному распределению Гаусса. Относительная ошибка дозирования компонента составляет δ . Общая относительная ошибка при дозировании материала составит:

$$\delta = \sum_{i=1}^n \delta_i, \quad (7)$$

где n – количество компонентов, а абсолютная ошибка – $x_\delta = 2\delta x_{max}$.

Предположим также, что концентрационная зависимость свойства I от содержания компонента x имеет вид, представленный на рисунке. Для обеспечения технико-экономического эффекта необходимо обеспечить повышение величины свойства до $I(x)$.

При этом абсолютная ошибка изменения x составляет Δx_I , а относительная ошибка:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x_I}{2x_{max}}. \quad (8)$$

При значении соотношения $\Delta x_I / \Delta x_\delta = \varepsilon / \delta \geq 1$ случайное варьирование рецептуры материала будет мало влиять на его качество. Результаты анализа соотношений $(\varepsilon/\delta)_j$ для всех свойств, формирующих качество материала ($j=1, 2, 3, \dots, m$), могут быть сведены в коэффициент, характеризующий возможность реализации технического эффекта нового технологического решения:

$$k_t = \sqrt[m]{\left(\frac{\varepsilon}{\delta}\right)_1 \left(\frac{\varepsilon}{\delta}\right)_2 \left(\frac{\varepsilon}{\delta}\right)_3 \dots \left(\frac{\varepsilon}{\delta}\right)_m} = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m \left(\frac{\varepsilon}{\delta}\right)_j}. \quad (9)$$

При проведении расчета величины k_t для соотношений $(\varepsilon/\delta)_j > 1$ необходимо выполнять условие: $(\varepsilon/\delta)_j = 1$.

Таким образом, модернизированная методика расчета технико-экономической эффективности нового технологического решения базируется на формуле:

$$k_{ef} = k_t \cdot \frac{\delta F}{\delta C}. \quad (10)$$

Предложенная формализация системы «рецептура материала – качество материала» имеет важные следствия, которые заключаются:

1. Необходимо производить анализ влияния содержания (концентрации) всех компонентов материала на его свойства (по крайней мере для свойств, имеющих приоритетное значение для качества материала), а не только того компонента, который является основой нового технологического решения.

2. Проектирование рецептур (составов) материалов целесообразно проводить по участкам концентрационных зависимостей свойств, на которых наблюдается улучшение показателя свойства. Такой прием обеспечит возможность нивелирования негативных явлений, связанных со случайными ошибками, возникающими при дозировании компонентов, реализации технологического режима приготовления или др.

При расчете k_{ef} важно также адекватное вычисление величины δC . Очевидно, что при минимальном изменении стоимости нового технологического решения (например, при замене одного компонента другим компонентом, имеющим примерно равную стоимость, не изменяющим технологический режим производства материала, но повышающий его качество) вычисляемая величина технико-экономического эффекта может сильно возрастать:

$$\lim_{\delta C \rightarrow 0} \frac{\delta F}{\delta C} = \infty. \quad (11)$$

Причем фактическая величина δF может быть малой. Поэтому для предотвращения таких чисто математических эффектов в [4] было предложено производить расчет k_{ef} только по величине δF . В соответствии с изложенным предлагается при $\delta C \leq 5\%$ производить расчет k_{ef} только по величине $k_t \delta F$, а при $\delta C > 5\%$ – в полном соответствии с модернизированной методикой оценки технико-экономической эффективности нового технологического решения.



Список литературы

1. Королев Е.В., Чевычалов А.А. Методика оценки экономической целесообразности внедрения нанотехнологии // *Нанотехнологии в строительстве*. 2012. № 2. С. 25–31.
2. Баженов Ю.М., Королев Е.В. Технико-экономические основы практической нанотехнологии в строительном материаловедении // *Региональная архитектура и строительство*. 2008. № 2 (5). С. 3–9.
3. Баженов Ю.М., Королев Е.В. Оценка технико-экономической эффективности нанотехнологий в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 66–67.
4. Королев Е.В. Технико-экономическая эффективность и перспективные строительные материалы // *Региональная архитектура и строительство*. 2013. № 3. С. 9–14.
5. Королев Е.В., Киселев Д.Г., Альбакасов А.И. Оценка эффективности технологии наномодифицирования серных вяжущих веществ по показателям эксплуатационных свойств // *Нанотехнологии в строительстве*. 2013. № 3 (25). С. 60–70.
6. Королев Е.В., Смирнов В.А., Альбакасов А.И., Иноземцев А.С. Некоторые аспекты проектирования составов многокомпонентных композиционных материалов // *Нанотехнологии в строительстве*. 2011. № 6. С. 32–43.
7. Данилов А.М., Гарькина И.А., Королев Е.В. Строительные материалы как системы // *Строительные материалы*. 2006. № 7. С. 55–57.
8. Баженов Ю.М., Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Системный анализ в строительном материаловедении. М.: МГСУ, 2012. 432 с.
9. Современный энциклопедический словарь. М.: Большая Российская Энциклопедия, 1997. 1263 с.
10. Ефремова Т.Ф. Новый словарь русского языка. Толково-образовательный. М.: Русский язык, 2000. В 2 т. 1209 с.
11. Хозин В.Г., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Общая концентрационная закономерность эффектов наномодифицирования строительных материалов // *Строительные материалы*. 2015. № 2. С. 25–33.
12. Батыновский Э.И., Крауклис А.В., Самцов П.П., Рябчиков П.В., Самцов П.П. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня // *Строительная наука и техника*. 2010. № 1–2. С. 3–10.

References

1. Korolev E.V., Chevychalov A.A. Method of practicability estimation for nanotechnology implementation. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2012. No. 2, pp. 25–31. (In Russian).
2. Bazhenov Yu.M., Korolev E.V. Technical and economical base of applied nanotechnology in material science. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2008. No. 2, pp. 3–9. (In Russian).
3. Bazhenov Yu.M., Korolev E.V. Estimation of technical and economical efficiency nanotechnology in material science. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 66–67. (In Russian).
4. Korolev E.V. Technical and economical efficiency and prospective construction materials. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2013. No. 3, pp. 9–14. (In Russian).
5. Korolev E.V., Kiselev D.G., Al'bakasov A.I. Operational properties as the indicators of sulfur binders nanomodification. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2013. No. 3, pp. 60–70. (In Russian).
6. Korolev E.V., Smirnov V.A., Al'bakasov A.I., Inozemtsev A.S. Some aspects of mixture design for multicomponent composites. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2011. No. 6, pp. 32–43. (In Russian).
7. Danilov A.M., Gar'kina I.A., Korolev E.V. Building materials as systems. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 7, pp. 55–57. (In Russian).
8. Bazhenov Yu.M., Gar'kina I.A., Danilov A.M., Korolev E.V. Sistemnyy analiz v stroitel'nom materialovedenii [Systems analysis in construction material science]. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering, 2012. 432 p.
9. *Sovremennyy entsiklopedicheskiy slovar'* [Modern encyclopedic dictionary]. Moscow: Bol'shaya Rossiyskaya Entsiklopediya. 1997. 1263 p.
10. Efremova T.F. *Novyy slovar' russkogo yazyka. Tolkovo-obrazovatel'nyy* [New Russian dictionary. Explanatory and educational]. Moscow: Russkij yazik. 2000. 1209 p.
11. Khozin V.G., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K. General concentration-dependent pattern during nanoscale enhancement of building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 2, pp. 25–33.
12. Batyanovskiy E.I., Krauklis A.V., Samtsov P.P., Ryabchikov P.V., Samtsov P.P. Influence of nanoscale carbon materials on the properties of cement and cement stone. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*. 2010. No. 1–2. pp. 3–10. (In Russian).

Подписка на электронную версию



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

The Largest and Major Ceramics Industry Exhibition
in the World with **100,000sqm** Exhibiting Space !



CERAMICS CHINA @ Unifair 2017

Date: June 1st - 4th, 2017

Venue: Canton Fair Complex, Guangzhou

Hosted by China Ceramic Industrial Association
Organized by Unifair Exhibition Service Co., Ltd.



UNIFAIR
EXHIBITION SERVICE

+86-20-8327 6369 / 8327 6389
overseas@ceramicschina.com.cn
www.ceramicschina.com.cn

А.М. САЛАХОВ¹, канд. техн. наук (salakhov8432@mail.ru); В.П. МОРОЗОВ², д-р геол.-мин. наук;
Ф.Г. ВАГИЗОВ¹, канд. физ.-мат. наук; А.А. ЕСКИН², канд. геол.-мин. наук;
А.Р. ВАЛИМУХАМЕТОВА¹, студентка, А.Л. ЗИННАТУЛЛИН¹, студент

¹ Казанский федеральный университет. Институт физики (420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 16а)

² Казанский федеральный университет. Институт геологии и нефтегазовых технологий (420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 4/5)

Научные основы управления цветом лицевого кирпича на заводе «Алексеевская керамика»

Проанализированы некоторые инновации в области стеновой керамики. Показана актуальность производства лицевого керамического материала широкой цветовой гаммы. Поскольку основным хромофором изделий стеновой керамики является железо, на конкретных примерах показано его влияние на цвет керамики. Использование в исследованиях мессбауэровских спектров обусловлено тем, что их параметры чрезвычайно чувствительны к валентному состоянию и локальному окружению ионов железа. Выявлены закономерности изменения параметров мессбауэровских спектров красножгущихся глин и глин с высоким содержанием карбонатов в керамических образцах в связи с изменением температуры обжига. Показано, как два метода исследования – рентгенофазовый анализ и мессбауэровская спектроскопия хорошо дополняют друг друга, что позволяет определить характерные особенности глин. Методами сканирующей электронной микроскопии выявлены особенности структуры керамических материалов. Показаны различные способы управления цветом керамики путем перевода соединений железа в различные валентные и координационные состояния. Эти исследования легли в основу технологического регламента для производства лицевого кирпича на заводе «Алексеевская керамика» (Республика Татарстан).

Ключевые слова: керамика, цветовая гамма кирпича, мессбауэровская спектроскопия, фазовый анализ, клинкер, гематит.

Для цитирования: Салахов А.М., Морозов В.П., Вагизов Ф.Г., Ескин А.А., Валимухаметова А.Р., Зиннатуллин А.Л. Научные основы управления цветом лицевого кирпича на заводе «Алексеевская керамика» // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 90–95.

A.M. SALAKHOV¹, Candidate of Science (Engineering) (salakhov8432@mail.ru), V.P. MOROZOV¹, Doctor of Science (Geology and Mineralogy), F.G. VAGIZOV¹, Candidate of Science (Physics and Mathematics); A.A. ESKIN², Candidate of Science (Geology and Mineralogy); A.R. VALIMUHAMETOVA¹, Student, A.L. ZINNATULLIN¹, Student

¹ Kazan Federal University. Institute of Physics (16a, Kremlyovskaya Street, Kazan, 420008, Russian Federation)

² Kazan Federal University. Institute of Geology and Petroleum Technologies (4/5, Kremlyovskaya Street, Kazan, 420008, Russian Federation)

The Scientific Basis of Color Control Lining Brick at «Alekseevskaya Ceramics» Factory

Some innovations in the field of wall ceramics are analyzed. The actuality of production of facial ceramic materials of a wide range of colors are shown. This poses the task of expanding the color gamut of products. The main chromophore of the products of wall ceramics is iron. Therefore, its concrete effect on the color of ceramics on specific examples are shown. Due to extremely sensitivity of the parameters of the Mossbauer spectra to the valence state and to the local environment of iron ions the modern research methods are used. The regularities of the change in the parameters of Mossbauer spectra of red-burning clays and clays with a high content of carbonates in ceramic samples are revealed. X-ray phase analysis and Mossbauer spectroscopy have allowed to reveal the characteristic features of clays. The features of the structure of ceramic materials are revealed using scanning electron microscopy. Various methods for controlling the color of ceramics are shown due to transferring iron compounds to different valence and coordination states. These studies formed the basis of the technological rules for facing brick production on «Alekseevskaya ceramics» plant (Republic Tatarstan).

Keywords: ceramics, colour scale of brick, Moessbauer spectroscopy, X-ray phase analysis, clinker, hematite.

For citation: Salakhov A.M., Morozov V.P., Vagizov F.G., Eskin A.A., Valimuhametova A.R., Zinnatullin A.L. The Scientific Basis of Color Control Lining Brick at «Alekseevskaya Ceramics» Factory. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 90–95. (In Russian).

Современные методы исследования позволяют лучше понять процессы керамического производства, соответственно производить изделия с заданной структурой и цветовой палитрой. За последние годы опубликован ряд монографий и статей, выявляющих особенности физико-химических преобразований при обжиге керамического сырья, что позволило существенно повысить качество продукции и расширить сырьевую базу строительной керамики. Спектр плодотворных идей по различным аспектам технологии керамики содержится в монографии Г.Н. Масленниковой и И.В. Пища [1]. Следует также отметить монографию ученых Южно-Российского государственного политехнического универ-

ситета [2]. Издание таких монографий является заметным шагом в развитии технологии керамики, а также стимулирует научную дискуссию. В работе ученых Томского политехнического университета приведены интересные результаты исследований цветковых характеристик с применением современного оборудования [3]. Инновации в технологии лицевого кирпича, в том числе и практика использования лазерной техники для термической обработки керамики, представлены в работе испанских исследователей [4]. В статье ученых Ростовского государственного строительного университета [5] выделены этапы процесса обжига опоквидного сырья, дана физическая трактовка происходящих в каждом температур-

ном интервале процессов, обоснованная их измерениями, а не предположениями, что встречается в некоторых публикациях. Мы поддерживаем вывод авторов, что наиболее интересные фазовые и минералогические преобразования данного сырья происходят при температуре выше 1000–1050°C.

Исследование физических процессов при высокой температуре обжига до сих пор проведено явно недостаточно. Это в значительной степени объясняется тем, что печи отечественных кирпичных заводов производили обжиг в температурном интервале 900–1050°C, соответственно, со стороны промышленности не было запроса на такие исследования. Однако на современных предприя-

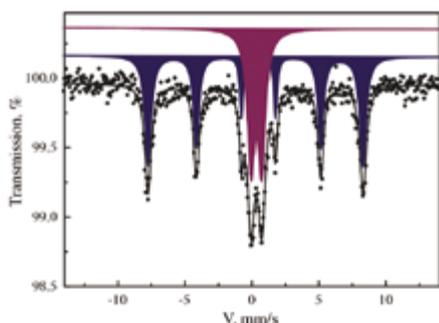


Рис. 1. Мессбауэровский спектр образца из глины Алексеевского месторождения. Температура обжига 1000°C

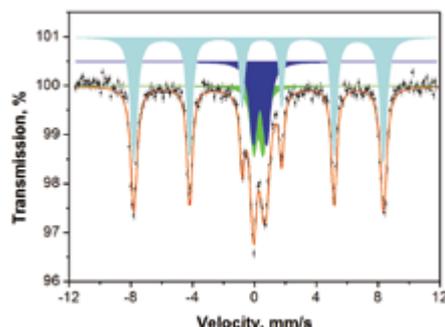


Рис. 3. Мессбауэровский спектр образца из глины Алексеевского месторождения. Температура обжига 1100°C

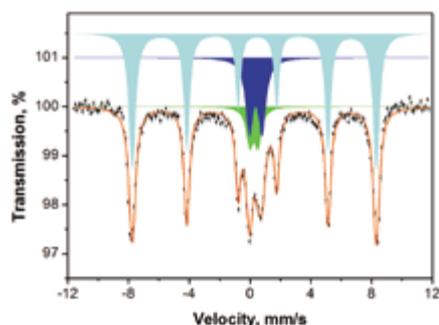


Рис. 5. Мессбауэровский спектр образца из глины Алексеевского месторождения. Температура обжига 1150°C

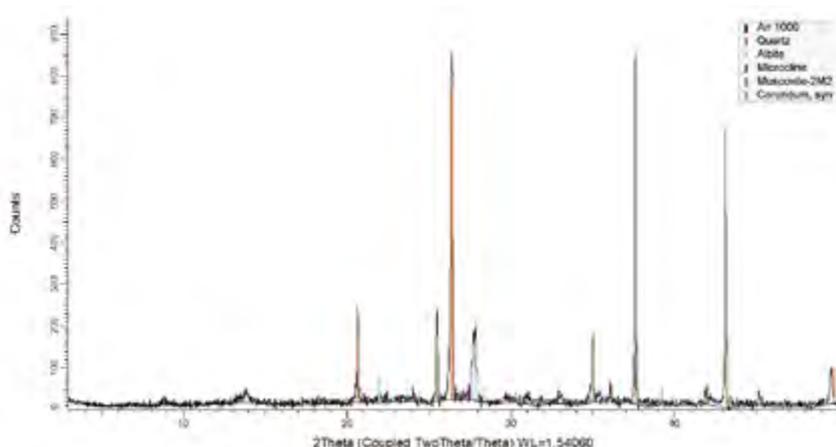


Рис. 2. Дифрактограмма керамики из глины Алексеевского месторождения при температуре 1000°C. Дифрактометр Shimadzu (минерал корунд относится не к образцу, а к подложке)

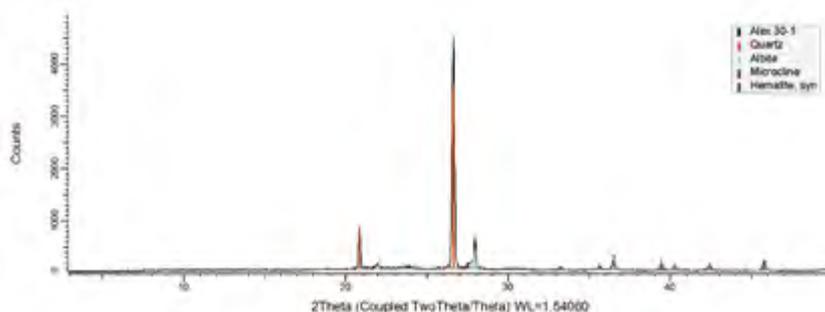


Рис. 4. Дифрактограмма образца из глины Алексеевского месторождения. Температура обжига 1100°C

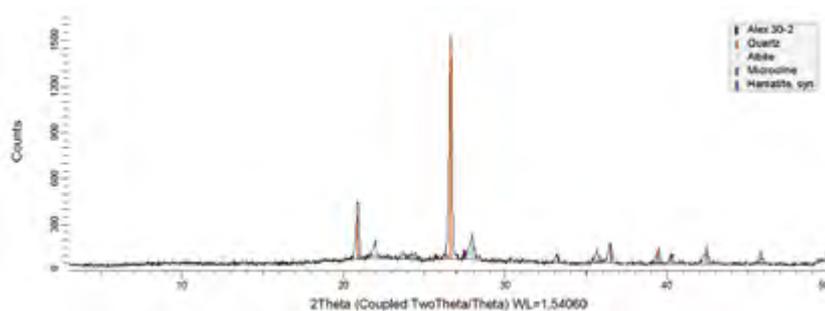


Рис. 6. Дифрактограмма образца из глины Алексеевского месторождения. Температура обжига 1150°C

тиях строительной керамики уже эксплуатируются печи с рабочей температурой до 1150°C, что делает исследование процессов спекания в интервале температуры 1000–1150°C весьма актуальными.

Из спектра характеристик материалов в данной работе мы выбрали для исследований вопросы управления цветом керамических материалов.

Известный французский востоковед Анри Стирлен пишет: [6] «На протяжении всей истории своего развития архитектура в принципе была многоцветной. Египетские храмы, вавилонские погребальные сооружения и зиккураты, кносские дворцы, сооружения классической Греции были красочными». Лауреат Нобелевской премии по физике

Фрэнк Вильчек [7], отмечая важнейшую роль цвета, цитирует известного английского искусствоведа Джона Рёскина: «Самые чистые и самые глубокомысленные умы – те, что любят цвет больше всего». Там же Ф. Вильчек отмечает: «Если говорить простым языком, цвет предметов зашифровывает в себе информацию о том, из чего они сделаны».

Со второй половины XX в. вновь отмечается повышенный интерес к цветовой палитре города. В России за последние годы существенно расширилась цветовая гамма керамических материалов. Генеральный директор ООО «НИИКЕРАМ» В.А. Езерский отмечает [8]: «Когда в 1980–1990-х гг. И.А. Альперович развивал тему объемного окрашивания лицевого кирпича, среди заводов были лишь еди-

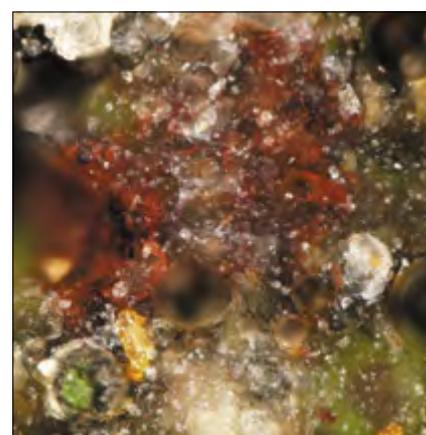


Рис. 7. Фото шлифа керамики из глины Сахаровского месторождения. $T_{обж} = 1170^{\circ}\text{C}$. Структура образца плотная, цвет темно-красный (оптико-цифровой конфокальный микроскоп фирмы Melytec)



Рис. 8. Фрагмент кирпичной кладки дома купца Дротоевского, 1837 г., Казань, ул. Карла Маркса, 56/11. Сильно обожженный «железняк» (слева) и рядовой кирпич (справа) – а; двухэтажный дом с каменным первым и деревянным вторым этажом построен по проекту архитектора Ф.И. Петонди (1837 г.), принадлежал помещику Я.Г. Дротоевскому. В настоящее время ведется реставрация этого объекта культурного наследия федерального значения. По ее завершении в доме будет размещаться Школа юных архитекторов при КГАСУ – б

ницы, кто использовал его разработку». В настоящее время в Республике Татарстан, как и во многих других регионах России, практически не осталось кирпичных заводов, где не производят лицевой керамический кирпич объемного окрашивания. Несмотря на определенные сложности в экономике, специалисты прогнозируют [9] устойчивый спрос на качественный лицевой керамический кирпич.

Окрашивание лицевого кирпича зависит от многих факторов, в частности от ионного состояния и координации входящих в его состав элементов 3d- и 4f-группы, электронные переходы которых формируют цветовой тон. Важную роль в этом играют и ионы железа. Поэтому мессбауэровская спектроскопия на ядрах Fe-57 широко используется в исследованиях керамических материалов [10]. Это обусловлено тем, что параметры мессбауэровских спектров чрезвычайно чувствительны к валентному состоянию и локальному окружению ионов

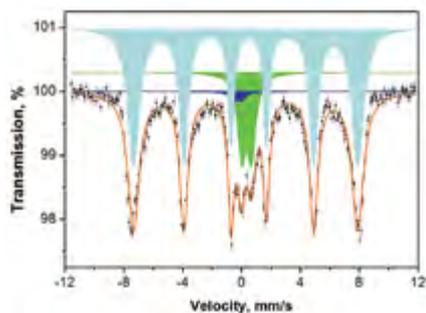


Рис. 11. Мессбауэровский спектр образца керамики черного цвета. Температура обжига около 1300°C

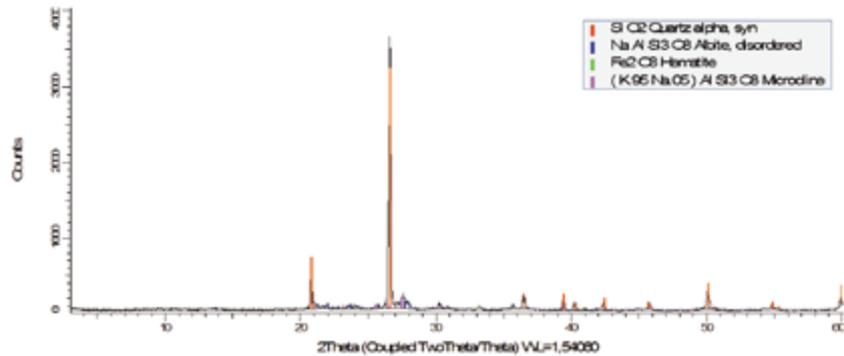


Рис. 9. Дифрактограмма обычного кирпича здания XIX в.

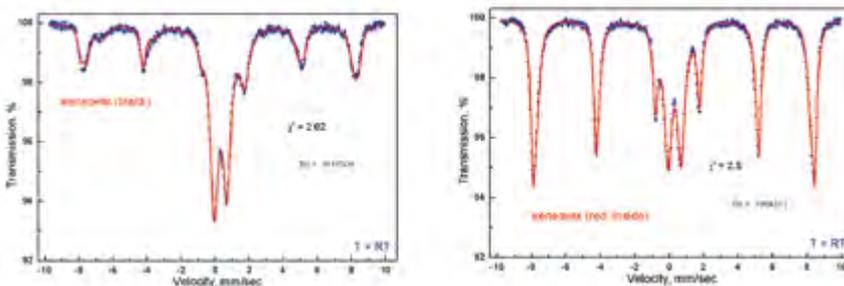


Рис. 10. Мессбауэровский спектр кирпича-железняк: а – наружной части; б – внутренней части

железа. Такими параметрами являются: изомерный сдвиг, квадрупольное расщепление, сверхтонкое магнитное поле на ядре, площадь под резонансной кривой, форма и даже ширина резонансных линий. Эти параметры позволяют получать детальную информацию об ионах железа, даже тогда, когда они рентгеноаморфны. В мессбауэровских спектрах керамических материалов четко определяются все входящие в их состав железосодержащие компоненты. Например, мессбауэровский спектр гематита, часто присутствующего в составе лицевого керамического кирпича, представляет собой секстет линий, а спектр с дублетной структурой резонансных линий соответствует парамагнитным составляющим, по параметрам которых можно выявить их относительное содержание и кристаллохимические особенности компонент.

С увеличением температуры обжига усиливаются диффузионные процессы, при этом реагенты имеют различные коэффициенты диффу-

зии. В глинах с незначительным содержанием карбонатов отмечаются изменения фазового состава, сопровождаемые увеличением доли гематита, о чем свидетельствует увеличение относительной площади секстета в мессбауэровских спектрах.

В образцах керамики на базе глины Алексеевского месторождения после обжига при 1000°C (рис. 1) площадь секстета (относящегося к гематиту) составляет 60%, а дублета – 40% (в данном случае с большой вероятностью индикатор содержания железа в аморфной фазе). Ранее было отмечено [11], что в процессе обжига глины Алексеевского месторождения вплоть до температуры 1000°C новые кристаллические фазы, за исключением гематита, не образуются (рис. 2), однако гематит «выпадает» не на стадии подъема температуры, а в процессе охлаждения [12]. Действительно, в фазовом составе остывшего образца содержание кварца 35%, полевых шпатов 39%, мусковита 7%, гематита 2%.

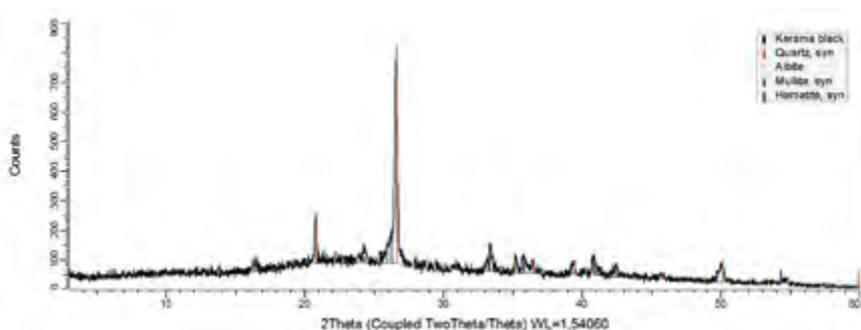


Рис. 12. Дифрактограмма образца керамики черного цвета. Температура обжига около 1300°C

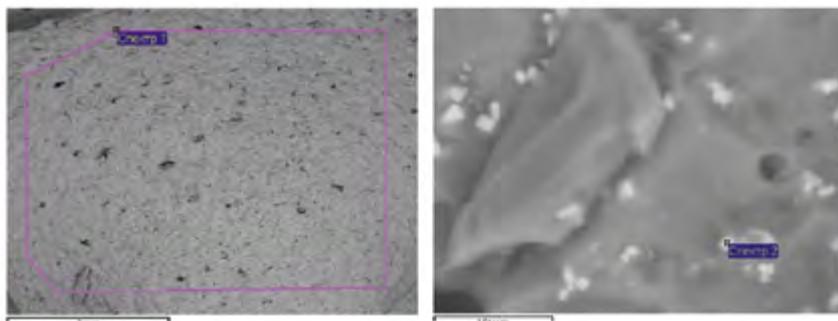


Рис. 13. РЭМ изображение фрагмента плитки черного цвета. Элементный состав из рентгеновских спектров участков, обозначенных «Спектр 1», %: O – 64,1; Na – 1,4; Mg – 0,4; Al – 8,8; Si – 22,1; K – 1,7; Cr – 0,3; Fe – 0,9; «Спектр 2», %: O – 63,8; Na – 1,4; Al – 7,8; Si – 11,6; K – 0,6; Cr – 4,6; Fe – 10,4

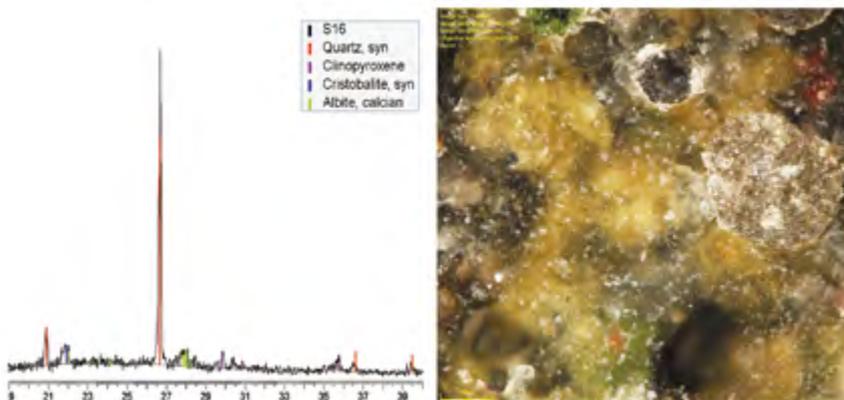


Рис. 14. Фрагмент дифрактограммы и фото образца керамики из глины Сахаровского месторождения. $T_{\text{обж}} = 1180^{\circ}\text{C}$. Содержание аморфной фазы 48%

С повышением температуры обжига до 1100°C относительная интенсивность секстета возрастает до 64%, соответственно в фазовом составе доля гематита возрастает с 2 до 4%, а доля аморфной фазы увеличивается с 19 до 31% (рис. 3, 4).

При дальнейшем подъеме температуры до 1150°C (рис. 5, 6) в мессбауэровском спектре относительная интенсивность секстета возрастает до 71%, соответственно доля гематита возрастает до 5%, а доля аморфной фазы растет до 37%; изделие приобретает темно-красный цвет.

В исследованных нами образцах керамики из глины Сахаровского месторождения гематит представлен конгломератами размером менее 50 мкм, в свою очередь состоящих из кристаллов гематита размером менее 1 мкм (рис. 7).

По внешнему виду производимый в настоящее время клинкер схож с некоторыми кирпичами старых зданий Казани. Многие из них отличаются насыщенным темным цветом, при ударе молоточком они издают характерный звон, что совершенно несвойственно рядовому красному

кирпичу. Мы поддерживаем мнение ростовских ученых [13], что более темный, сильно обожженный «железняк» XIX в. и являлся собственно клинкерным кирпичом. При исследовании такого «железняка» выяснилось, что его поверхностный слой толщиной 1,5 мм обладает практически черным цветом (рис. 8).

Для сравнения приведем данные минерального состава рядом расположенного красного кирпича, %: кварц 49, альбит 11, микроклин 10, гематит 2 (рис. 9). В основной, темно-красной части «железняка», содержание гематита существенно выше.

В мессбауэровском спектре поверхностного слоя железняка есть составляющие магнетита, маггемита и гематита (рис. 10, а). Черный окрас поверхностного слоя обусловлен наличием основной железодержащей компоненты – магнетита.

Темно-красный окрас внутренней части железняка обусловлен существенным содержанием гематита, что подтверждается тем, что в его мессбауэровском спектре относительная интенсивность секстета возрастает (рис. 10, б).

Подобное изменение цвета, вызванное повышением температуры обжига, характерно для глин с незначительным содержанием карбонатов. Для придания керамическому камню темного цвета достаточно даже незначительного количества гематита. Для доказательства этого мы исследовали образец керамики, полученный при температуре обжига около 1300°C из каолиновых глин. В фазовом составе образца высокая доля аморфной фазы – 80%, содержание гематита составляет менее 2%, при этом относительная интенсивность секстета в его мессбауэровском спектре составляет 83%. Это означает, что практически весь оксид железа образца представлен гематитом (рис. 11, 12). Неудивительно, что цвет образца черный.

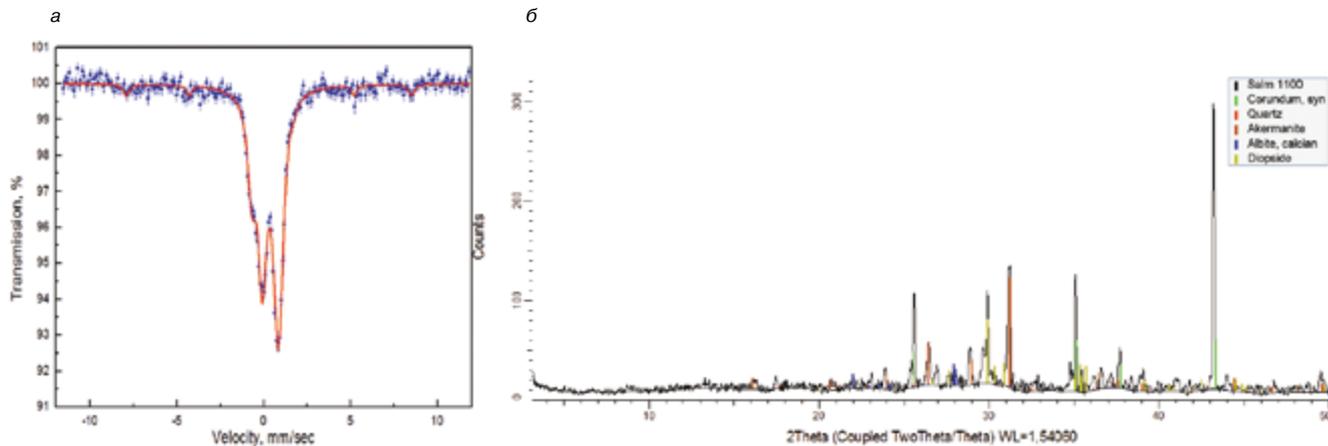


Рис. 15. Мессбауэровский спектр (а) и дифрактограмма глины Салмановского месторождения после обжига при 1100°C (б)

Таблица 1

Химический состав глины Салмановского месторождения (содержание в % на абсолютно сухую навеску)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	Сумма
37,14	0,62	13,42	4,46	0,05	19,86	1,6	0,29	2,1	0,11	20,11	99,82

Таблица 2

Фазовый состав глины Салмановского месторождения при различной температуре обжига (дифрактометр Shimadzu XRD-7000S)

T _{обж}	Кварц	Альбит	Мусковит	Клинохлор	Кальцит	CaO	Акерманит	Диопсид	Ларнит	Аморфная фаза
50	25	15	20	9	31					
100	25	15	20	9	31					
200	25	15	20	9	31					
300	25	15	20	9	31					
400	25	15	20	6	31					3
500	25	15	20		31					9
600	25	15	20		20					20
700	25	15	20			20				20
800	25	15	20			3	6	6	10	15
900	25	15	16				20	10	12	2
950	22	15	14				24	12	13	0
1000	15	15	12				30	16	12	0
1050	10	15	10				30	26	9	0
1100	8	15					30	35		12

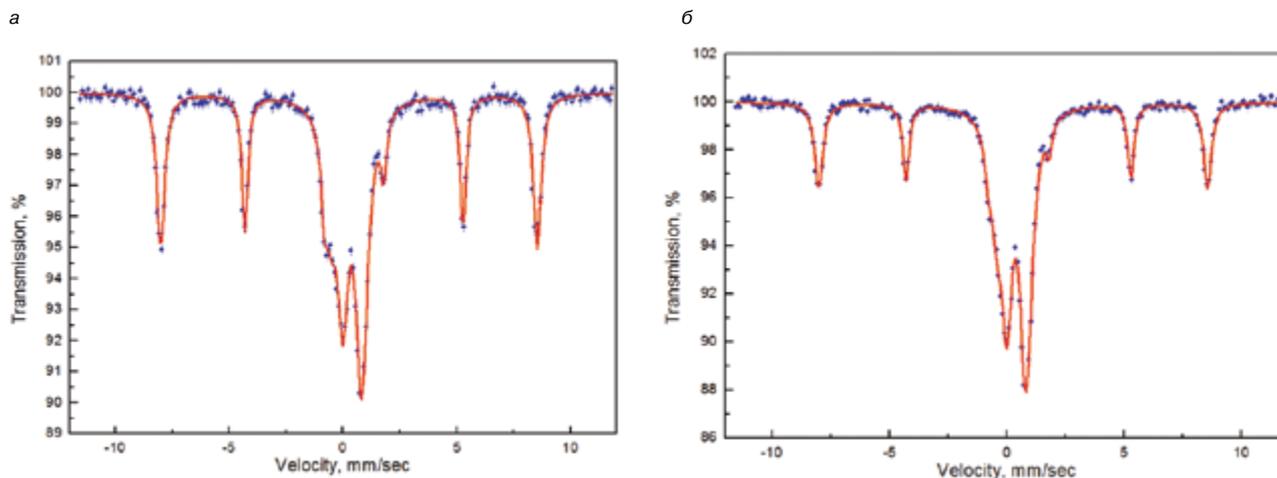


Рис. 16. Мессбауэровские спектры образцов из глины Салмановского месторождения с добавкой 4% гематита после обжига при 1050 (а) и 1100°С (б)

Материал характеризуется плотной структурой, анализ элементного состава позволяет сделать вывод, что общее содержание ионов железа в макроскопическом фрагменте образца менее 1%, а гематит представлен кристаллическими новообразованиями размером менее 1 мкм (рис. 13).

Глина Сахаровского месторождения отличается несколько повышенным (6%) содержанием карбонатов. При ее обжиге при температуре 1170°С отмечаются существенные изменения фазового состава, соот-

ветственно и характеристик образцов. Гематит уже не фиксируется, зато появляются клинопироксен и кристобалит, что приводит к изменению цвета образца (рис. 14).

В химическом составе глины Салмановского месторождения (табл. 1) содержание оксида железа превышает 4%, однако при ее обжиге гематит не образуется (табл. 2).

В мессбауэровском спектре глины Салмановского месторождения после обжига при 1100°С относительная интенсивность дублета составляет 94% (рис. 15), расшифровка

спектра позволяет сделать вывод, что дублет соответствует минералу диопсид, что полностью соответствует данными рентгенофазового анализа (табл. 2).

Мы приходим к выводу, что в данном случае подавляющая часть ионов железа находится в новообразованном минерале диопсид, а не в гематите, что соответствует светлой окраске образца. При повышении температуры обжига до 1150°С образцы становятся еще светлее, т. е. практически все ионы железа концентрируются в диопсиде.

В модельных экспериментах в глину Салмановского месторождения добавили 4% синтетического гематита, образцы обожгли при температуре 1050 и 1100°C. В мессбауэровских спектрах относительная интенсивность дублета возрастает с 59 до 70%, что свидетельствует о снижении содержания гематита в связи с повышением температуры обжига, несмотря на наличие добавки (рис. 16).

В дальнейших экспериментах к глине Салмановского месторождения добавлялось различное количество красножгущихся глин (алексе-

евской, сахаровской). При соответствующей температуре обжига появилась возможность получать образцы керамики различного цвета.

На основании полученных результатов мы считаем уместным несколько уточнить популярное мнение [14], что «беложгущаяся глина – это глина с минимальным количеством красящих оксидов». Хромофоров (красящих оксидов) может быть разное количество; для проектирования цвета керамики необходимо выяснить, как меняется координация ионов железа, что позволяет

выявить мессбауэровская спектроскопия. Конечно, наряду с железом существуют и другие хромофоры (хром, титан, марганец и др.), но их содержание в сырье существенно ниже, соответственно меньше влияние на цвет.

Детальное исследование поведения при обжиге глин Алексеевского, Сахаровского и Салмановского месторождений позволило разработать научные основы технологического регламента для производства лицевого кирпича широкой цветовой гаммы на заводе «Алексеевская керамика».

Список литературы

1. Масленникова Г.Н., Пищ И.В. Керамические пигменты. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2009. 223 с.
2. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Голованова С.П. Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2014. 152 с.
3. Сидельникова М.Б., Погребенков В.М. Керамические пигменты на основе природного и техногенного минерального сырья. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 262 с.
4. Llop J., Stoyanova Lyubanova T., Barrachina E., Notari M.D., Nebot I., Carda J.B. The Ceramic Industry in Spain: Challenges and Opportunities in Times of Crisis. *Ceramic forum international*. 2014. No. 6. pp. 43–48.
5. Котляр В.Д., Лапунова К.А. Особенности физико-химических преобразований при обжиге опоконидного сырья // *Строительные материалы*. 2016. № 5. С. 40–42.
6. Стирлен А. Искусство ислама / Пер с фр. / Под ред. Е.В. Нетесовой. М.: ООО «Издательство Астрель», 2003. 319 с.
7. Вильчек Ф. Красота физики: постигая устройство природы: пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн, 2016. 604 с.
8. Езерский В.А. Количественная оценка цвета керамических лицевых изделий // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 76–80.
9. Семенов А.А. О состоянии отечественного рынка керамических стеновых материалов // *Строительные материалы*. 2016. № 8. С. 9–14.
10. Enver M., Cashion J. Mossbauer spectroscopy of environmental materials and their industrial utilization. London: Kluwer Academic Publishers, 2004. 417 p.
11. Салахов А.М., Тагиров Л.Р. Структурообразование керамики из глин, формирующих при обжиге различные минеральные фазы // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 68–74.
12. Салахов А.М., Салахова Р.А. Инновационные материалы: Современная керамика. Казань: «Парадигма», 2012. 360 с.
13. Котляр В.Д., Терехина Ю.В., Котляр А.В. Особенности свойств, применение и требования к клинкерному кирпичу // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 72–74.
14. Петелин А.Д., Сапрыкин В.И., Клевакин В.А., Клевакина Е.В. Особенности применения глин Нижнеуевского месторождения в производстве керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 28–30.

References

1. Maslennikova G.N., Pishch I.V. *Keramicheskie pigmenty [Ceramic pigments]*. Moscow: RIF «Stroimaterialy». 2009. 223 p.
2. Zubekhin A.P., Yatsenko N.D., Golovanova S.P. *Teoreticheskie osnovy belezny i okrashivaniya keramiki i portlandtsementa [Theoretical bases of a whiteness and coloring of ceramics and portlandcement]*. Moscow: RIF «Stroimaterialy». 2014. 152 p.
3. Sidel'nikova M.B., Pogrebenkov V.M. *Keramicheskie pigmenty na osnove prirodnogo i tekhnogenno mineral'nogo syr'ya [Ceramic pigments on the basis of natural and technogenic mineral raw materials]*. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2014. 262 p.
4. Llop J., Stoyanova Lyubanova T., Barrachina E., Notari M.D., Nebot I., Carda J.B. *The Ceramic Industry in Spain: Challenges and Opportunities in Times of Crisis. Ceramic forum international*. 2014. No. 6. pp. 43–48.
5. Kotlyar V.D., Lapunova K.A. *Features of Physical-Chemical Transformations during Opoka-Like Raw Material Burning. Stroitel'nye Materialy. [Construction Materials]*. 2016. No. 5, pp. 40–42. (In Russian)
6. Stirlen A. *Iskusstvo islama [Art of Islam]*. Moscow: Izdatel'stvo Astrel'. 2003. 319 p.
7. Vil'chek F. *Krasota fiziki: Postigaya ustroystvo prirody [A beautiful question finding nature's deep design]* Moscow: Al'pina non-fikshn. 2016. 604 p.
8. Ezerskii V.A. *Quantitative assessment of color of ceramic facing products. Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2015. No. 8, pp. 76–80. (In Russian).
9. Semenov A.A. *About a condition of the domestic market of ceramic wall materials. Stroitel'nye Materialy. [Construction Materials]*. 2016. No. 8, pp. 9–14. (In Russian).
10. Enver M., Cashion J. *Mossbauer spectroscopy of environmental materials and their industrial utilization. London: Kluwer Academic Publishers, 2004. 417 p.*
11. Salakhov A.M., Tagirov L.R. *Structure formation of ceramic with clays which form various phases at burning. Stroitel'nye Materialy. [Construction Materials]* 2015. No. 8, pp. 68–74. (In Russian).
12. Salakhov A.M. *Innovatsionnye materialy: Sovremennaya keramika. [Innovative materials: Modern ceramics]*. Kazan': Paradigma, 2012. 360 p.
13. Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V. *Features of Properties, Application and Requirements for Clinker Brick. Stroitel'nye Materialy. [Construction Materials]*. 2015. No. 4, pp. 72–74. (In Russian).
14. Petelin A.D., Saprykin V.I., Klevakin A.V., Klevakina E.V. *Features of the Use of Nizhnevskiy Deposit Clays in Production of Ceramic Brick. Stroitel'nye Materialy. [Construction Materials]*. 2015. No. 4, pp. 28–30. (In Russian).

А.И. НИЖЕГОРОДОВ, д-р техн. наук (nastromo_irkutsk@mail.ru),
А.В. ЗВЕЗДИН, инженер (alexzvez@gmail.com), Т.Б. БРЯНСКИХ, инженер

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

Уточненная модель теплоусвоения вермикулита при обжиге в электрических печах с учетом новых экспериментальных данных*

В связи с появлением новой электрической печи с подвижной подовой платформой появилась возможность экспериментально установить зависимость плотности вспученного вермикулита от его температуры. Новые опытные данные показали, что прежняя модель теплоусвоения давала завышенный результат по значению необходимой для полноценного вспучивания энергии. В статье приведены результаты экспериментов и расчетов, убедительно доказывающие новые, уточненные основные показатели модели теплоусвоения вермикулита. Экспериментальное определение температуры вермикулита показало, что для его эффективного вспучивания требуется почти на двадцать процентов меньше энергии, чем предполагалось ранее по первой модели теплоусвоения. А более высокий коэффициент полезного действия процесса структурообразования указывает на несколько большую энергоэффективность электрических печей для обжига вермикулита.

Ключевые слова: вермикулит, электрическая печь, модель теплоусвоения, коэффициент полезного действия.

Для цитирования: Нижегородов А.И., Звездин А.В., Брянских Т.Б. Уточненная модель теплоусвоения вермикулита при обжиге в электрических печах с учетом новых экспериментальных данных // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 96–99.

A.I. NIZHEGORODOV, Doctor of Sciences Engineering (nastromo_irkutsk@mail.ru), A.V. ZVEZDIN, Engineer (alexzvez@gmail.com), T.B. BRYANSKI, Engineer Irkutsk National Research State Technical University (83, Lermontov street, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

Specified Model of Vermiculite Heat Absorption While Burning in Electric Kilns with New Experimental Data

With the advent of a new electric kiln with movable hearth it is possible to determine experimentally the dependence of the density of expanded vermiculite on its temperature. New experimental data have shown that the previous model of heat absorption gave an overestimated result by value needed for full swelling of energy. The experimental results and calculations are presented to demonstrate clearly the new specified and basic indices of model of vermiculite heat absorption. Experimental determination of the temperature of vermiculite found that swelling it effectively requires up to twenty per cent less energy than previously thought according to the first model of heat absorption. And higher efficiency of structurization process indicates several large energy efficiency electric ovens for roasting vermiculite.

Keywords: vermiculite, electric kiln, the model of heat absorption, efficiency factor of structure formation process.

For citation: Nizhegorodov A.I., Zvezdin A.V., Bryanski T.B. Specified model of vermiculite heat absorption while burning in electric kilns with new experimental data. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 3, pp. 96–99. (In Russian).

Работа электрических модульно-спусковых печей для обжига вермикулита основана на принципе действия гравитационных спусков [1]. Движение массива вспучиваемого вермикулитового концентрата идет монотонно в модулях обжига в условиях локализованного теплового поля, созданного за счет температурного излучения нагревателей и отраженных тепловых потоков от поверхностей основания и термокрышки. Процессы поглощения тепловой энергии (теплоусвоение), дегидратации и механической трансформации (структурообразование) вермикулитовых зерен полностью завершаются при выходе вспученного материала из печи. Теплоусвоение имеет сложный, прерывисто-переменный характер, так как зерна периодически затеяют друг друга, то приближаются к нагревателям, то отдаляются от них, но усвоенная энергия накапливается и суммируется на всем протяжении процесса обжига.

Ранее при анализе процессов, сопутствующих теплоусвоению, предполагалось, что к моменту выхода из печи все зерна вермикулитового массива разогреваются до температуры поверхности нихромовых полосовых нагревателей [1, 2, 3]. Но новые экспериментальные данные показали, что это было весьма грубым допущением.

Первая модель теплоусвоения.

Усвоенная тепловая энергия, необходимая для полностью завершённых процессов дегидратации и структурообразования зерен вермикулита Θ_{Σ} , распределяется

на выход химически связанной (гидратной) воды Θ_x , нагрев сухой части минерала (твёрдая фаза) Θ_c ; фазовый переход физически связанной (межслоевой) и гидратной воды Θ_g ; перегрев водяных паров Θ_n и нагрев адсорбированных газов Θ_{ar} .

Баланс тепловых энергий определяется суммой:

$$\Theta_{\Sigma} = \Theta_{100} + \Theta_x + \Theta_c + \Theta_g + \Theta_n + \Theta_{ar}, \quad (1)$$

где Θ_{100} — теплота усвоенная при предварительном нагревании концентрата до 100°C; она является начальным условием и в дальнейшем не учитывается.

Для определения весовой доли гидратной и физической воды и адсорбированных газов использовались усредненные эмпирические данные, накопленные еще в 2004–2010 гг. в условиях производственной эксплуатации печей в ООО «Квалитет» (г. Иркутск) и в объемах, соответствующих крупным партиям концентрата [1].

Для концентрата КВК-4 Ковдорского месторождения средний вес партии равен $G_n \sim 48900$ кг, средний объем партии во вспученном состоянии — $V_g \sim 450$ м³, а средняя плотность вспученного материала ~ 89 кг/м³.

Масса той же партии во вспученном состоянии равна:

$$G_{всп} = V_g \gamma = 40050 \text{ кг,}$$

а доли твердой фазы минерала G_c , гидратной и межслоевой воды и адсорбированных газов G_g равны соответственно:

* Поддержано грантом ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере». Заявка С1-11374, приказ № 22-39 от 04. 03.2016. Договор № 1243 ГС 1 / 2169.



Рис. 1. Общий вид опытного образца электрической печи с вибрационной подовой платформой

$$G_c = G_{всп} / G_n = 0,819;$$

$$G_6 = (G_n - G_{всп}) / G_n = 0,181.$$

В таблице приведены соответствующие данные для ковдорских концентратов основных размерных групп. Используя данные таблицы, рассмотрим материальный баланс при обжиге концентратов из расчета на 1 кг вермикулита-сырца.

Зададим среднее значение содержания физической воды исходя из влажности сырья (4–5%) $G^f_{H_2O} \approx 4,5\%$. Тогда выход физической влаги из сырья будет равен:

$$G^f_{H_2O} = 0,0045 \cdot 1 \text{ кг} = 0,045 \text{ кг}.$$

Суммарный выход химически связанной воды и адсорбированного углекислого газа равен:

$$G^{\Sigma} = 1 \text{ кг} - 0,045 - G_c,$$

где G_c – масса сухой части минерала, равная 0,816 кг.

Тогда:

$$G^{\Sigma} - G^x_{H_2O} - G_{CO_2} = 1 - 0,045 - 0,816 = 0,139 \text{ кг}. \quad (2)$$

Долю гидратной воды определим с учетом объемного соотношения H_2O и CO_2 в структуре минерала и плотности водяного пара и углекислого газа при $20^\circ C$. Опытами в работе [4] установлено, что соотношение удаляемых при обжиге объемов пара H_2O и газа CO_2 составляет примерно 3,625. Тогда массовое отношение можно определить исходя из плотностей водяного пара ρ_{H_2O} ($0,48 \text{ кг/м}^3$) и ρ_{CO_2} углекислого газа ($1,98 \text{ кг/м}^3$):

$$\frac{H_2O}{CO_2} = 3,625 \cdot \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{CO_2}} = 0,88. \quad (3)$$

Из (2, 3) находим весовые доли: $G^x_{H_2O} = 0,06 \text{ кг}$; $G_{CO_2} = 0,079 \text{ кг}$.



Рис. 2. Вид на модуль со стороны нижней части подвижного пода где происходит выход испаряемого материала

Общий выход испаряемой воды равен:

$$G^{\Sigma}_{H_2O} = G^f_{H_2O} - G^x_{H_2O} = 0,045 + 0,06 = 0,105 \text{ кг} (10,5\%).$$

Тепловая энергия, необходимая для дегидратации 1 кг вермикулитового концентрата равна [5]:

$$\Theta_x \approx 196,9 \text{ кДж}.$$

Теплота нагрева твердой фазы минерала (сухое вещество):

$$\Theta_c = cm 0,816 \Delta T, \quad (4)$$

где c – средняя удельная теплоемкость вермикулитового концентрата, равная $\sim 960 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ C)$ [6]; m – масса концентрата (1 кг); 0,816 – доля твердой фазы (см. таблицу). Так как удельная теплоемкость минералов при увеличении температуры возрастает на 20–25% [7], то для интервала температуры 100–750°C следует ввести поправочный коэффициент $\kappa_T \sim 1,225$. Тогда количество теплоты, полученное твердой фазой и оставшееся во вспученном материале, будет равно:

$$\Theta_c = 960 \cdot 1,225 \cdot 1 \cdot 0,816 \cdot 650 = 623,8 \text{ кДж}.$$

Тепловая энергия фазового перехода химически связанной и межслоевой воды при $100^\circ C$ определяется исходя из удельной теплоты парообразования ($c_{по} = 2250 \cdot 103 \text{ Дж/кг}$ [7]):

$$\Theta_g = c_{по} m 0,105 = 2250 \cdot 103 \cdot 1 \cdot 0,105 = 235,3 \text{ кДж}, \quad (5)$$

где 0,105 – массовая доля воды в исходном концентрате.

Теплота перегрева водяного пара зависит от удельной теплоемкости C_p . В диапазоне температур 100–750°C средняя удельная теплоемкость составляет $\sim 1593,4 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ C)$ [8]. Тепловая энергия, идущая на перегрев равна:

Опытные данные по ковдорским концентратам

Разм. гр. концентрата	Вес партии (кг) G_n	Вес вспуч. материала (кг) $G_{всп}$	Об. вес (кг/м ³)	Об. вспуч. партии (м ³) V_v	Содерж. тв. фазы, %	Содерж. воды, %
КВК-1	56800	45978	123,5	365	79,4	20,6
КВК-2	54400	47152	112	421	83,4	16,6
КВК-4	48900	40050	89	450	81,9	18,1
Средн. зн.					~81,6	~18,4

$$\Theta_n = c_n m 0,105 \Delta T = 1593,4 \cdot 0,105 \cdot 650 = 108,7 \text{ кДж.} \quad (6)$$

Теплота нагрева адсорбированного углекислого газа до 750°C определяется по средней удельной теплоемкости в интервале температуры 100–750°C – 1102 Дж/(кг·°C) [9]:

$$\Theta_{ae} = c_{CO_2} m 0,115 \Delta T = 1102 \cdot 1 \cdot 0,105 \cdot 650 = 75,2 \text{ кДж.} \quad (7)$$

Общая энергия теплоусвоения 1 кг вермикулитового концентрата первой неуточненной модели:

$$\Theta_{\Sigma} = \Theta_x + \Theta_c + \Theta_g + \Theta_n + \Theta_{ae} = 196,9 + 623,8 + 235,3 + 108,7 + 75,2 = 1239,9 \text{ кДж.}$$

Ранее в работе [1] и других работах общая энергия теплоусвоения 1 кг вермикулитового концентрата была равна 1209,1 кДж. Здесь мы не принимаем в расчет усредненные характеристики ковдорских и татарских концентратов, поэтому результат несколько больше.

Оценим энергетический эффект структурообразования вермикулита. При быстром нагревании вермикулита-сырца в режиме термоудара (~ 200°C/с) основную механическую работу вспучивания совершает гидратная (химически связанная) и частично межслоевая вода [4]. Микроструктура вспучивающегося вермикулита характеризуется образованием большого количества замкнутых мелких и микропор, занимающих до 65% площади поверхности вспученных «пакетов» [4]. Очевидно, что внутри этих пор механическую трансформацию вермикулитовых зерен совершают перегретый водяной пар и расширяющийся CO₂. Теплота дегидратации входит в суммарную энергию эффекта структурообразования.

Тогда энергия механической трансформации ковдорского вермикулита будет равна:

$$E_{MT} = \Theta_x + \Theta_g + \Theta_n + \Theta_{ae} = 196,9 + 235,3 + 108,7 + 75,2 = 616,1 \text{ кДж.} \quad (8)$$

Единственная энергия в выражении (1), которая не совершает механическую работу вспучивания и отражает аккумулированную составляющую, – это теплота твердой фазы или сухой части минерала Θ_c .

Тогда можно вычислить к. п. д. процесса структурообразования вермикулитовых зерен ковдорского концентрата:

$$\eta_{MT} = \frac{E_{MT}}{\Theta_{\Sigma}} = \frac{616,1}{1239,9} = 0,497. \quad (9)$$

Физическая картина энергетического баланса процесса теплоусвоения показывает, что к. п. д. электрической модульно-спусковой печи не может быть больше 50%.

Исходя из усредненных данных по крупным партиям определены значения энергии вспучивания Ковдорских концентратов (табл. 1):

$$\begin{aligned} \Theta_{KBK-4} &= G_n \cdot Q_{\Sigma} = 48900 \cdot 1239,9 = 60631,1 \text{ кДж;} \\ \Theta_{KBK-2} &= G_n \cdot Q_{\Sigma} = 54400 \cdot 1239,9 = 67450,6 \text{ кДж;} \\ \Theta_{KBK-1} &= G_n \cdot Q_{\Sigma} = 56800 \cdot 1239,9 = 70426,3 \text{ кДж.} \end{aligned}$$

Удельная энергия теплоусвоения в расчете на 1 м³ вспученного материала для ковдорского вермикулита:

$$\begin{aligned} E_{4(k)} &= Q_{KBK-4} / V_g = 60631,1 / 450 = 134,7 \text{ кДж/м}^3; \\ E_{2(k)} &= Q_{KBK-2} / V_g = 67450,6 / 421 = 160,2 \text{ кДж/м}^3; \\ E_{1(k)} &= Q_{KBK-1} / V_g = 70426,3 / 365 = 192,9 \text{ кДж/м}^3, \end{aligned}$$

В отличие от массовой удельной энергии теплоусвоения Q_{Σ} , равной 1239,9 кДж/кг, не зависящей от гранулометрического состава концентрата, объемные

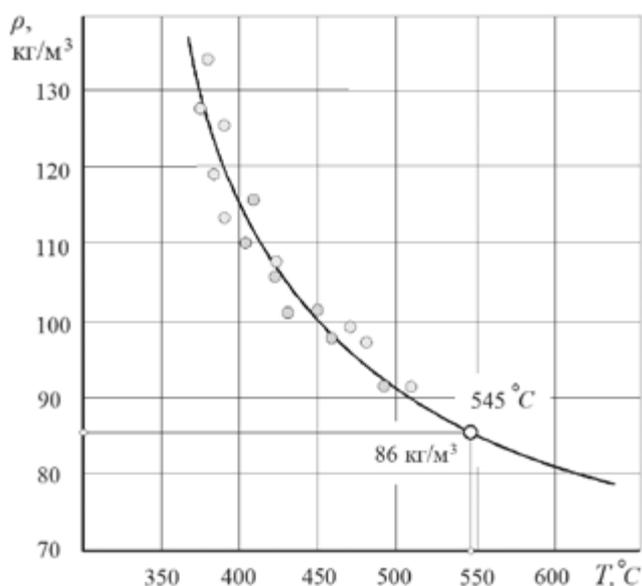


Рис. 3. Зависимость плотности от температуры вермикулита

удельные энергии для различных размерных групп вспученного вермикулита существенно отличаются.

Эксперимент.

Устройство электрических модульно-спусковых печей не позволяет определить температуру вермикулитовых зерен на выходе из печи из-за больших расстояний между ними: поток вспученного вермикулита не является сплошным.

Новая конструкция электрической печи с вибрационной подовой платформой отличается тем, что концентрация вспученного материала на поверхности модуля (подовой платформы) в ней в 17 раз больше. За счет вибротранспортирования вермикулит движется монослоем, но скученно, без значительных зазоров, а это позволяет получить сплошную поверхность из вермикулитовых зерен и измерить их температуру.

На рис. 1 показан общий вид опытного образца печи с вибрационной подовой платформой, на рис. 2 – вид на модуль со стороны панели с крепежными головками в нижней части подвижного пода модуля, где происходит выход вспученного материала.

Измерение температуры вермикулита производилось в разных точках подовой платформы между крепежными головками с помощью пирометра DT-8835 (точность в диапазоне 50–1000°C равна ± 1,5%) при различных температурных режимах печи. На рис. 3 показана зависимость плотности вспученного вермикулита от его температуры.

В установленном тепловом режиме при средней плотности вспученного продукта ~92 кг/м³ была зафиксирована средняя по нескольким измерениям температура 512°C. При этом температура поверхности нихромовых нагревателей составляла в разных точках 718–776°C при среднем значении 747°C (измерение проводилось термопарой-щупом, входящей в комплект пирометра).

Минимальная плотность вспученного ковдорского вермикулита четвертой размерной группы, которая неоднократно достигалась в процессе производства на электрической модульно-спусковой печи составляет ~86 кг/м³. Экстраполируя полученную кривую в область более высокой температуры, получаем предельную точку с температурой 545°C. Очевидно, что в этой точке состоянии вспученных зерен соответствует полной дегидратации и максимальному вспучиванию.

Опыты показали, что в процессе обжига вермикулита его температура не выравнивается до температуры нагревательных элементов модуля, как это ранее предполагалось при построении первой, вышерассмотренной аналитической модели теплоусвоения вермикулита. Поэтому новую, уточненную модель теплоусвоения следует откорректировать.

Уточненная модель.

Вернемся к уравнению (1) и проведем его перерасчет. Энергия дегидратации не изменяется $\Theta_x \approx 196,9$ кДж.

Теплота, накапливаемая твердой фазой минерала (сухое вещество во вспученном состоянии), будет меньше:

$$\Theta_c = 960 \cdot 1,225 \cdot 10,816 \cdot 445 = 427 \text{ кДж.}$$

Теплота фазового перехода химически связанной и межслоевой воды при 100°C останется прежней $\Theta_g = 235,3$ кДж.

Энергия перегрева водяного пара также станет ниже:

$$\Theta_n = c_n \cdot 1593,4 \cdot 0,105 \cdot 445 = 74,5 \text{ кДж.}$$

Теплота нагрева адсорбированного углекислого газа уменьшится и будет равна:

$$\Theta_{az} = 1102 \cdot 10,105 \cdot 445 = 51,5 \text{ кДж.}$$

Общая энергия теплоусвоения 1 кг вермикулитового концентрата по уточненной модели будет равна:

$$Q_{\Sigma} = Q_x + Q_c + Q_g + Q_n + Q_{az} = 196,9 + 427,0 + 235,3 + 74,5 + 51,5 = 985,2 \text{ кДж.}$$

Список литературы

1. Нижегородов А.И. Технологии и оборудование для переработки вермикулита: Оптимальное фракционирование, электрический обжиг, дообогащение. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. 172 с.
2. Нижегородов А.И. Некоторые аспекты технологии подготовки и обжига вермикулитовых концентратов в электрических печах // *Строительные материалы*. 2007. № 11. С. 16–17.
3. Нижегородов А.И. Развитие концепции энерготехнологических агрегатов для обжига вермикулитовых концентратов на базе электрических модульно-спусковых печей // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2014. № 1/2. С. 48–55.
4. Попов Н.А. Производство и применение вермикулита М.: Стройиздат, 1964. 128 с.
5. Хвостенков С.И., Залкинд О.А. О теплоте гидратации и магнитной восприимчивости вермикулита. Горнометаллургический институт Кольского ф-ла АН СССР: Сб. науч. трудов. 1966. С. 90–100.
6. ООО «Хеликс». Свойства вермикулита [Электронный ресурс] / – режим доступа: <http://vermiculite.helix-gtm.com/ru/produktyo/37-content-ru>. (19. 09. 2016).
7. Яворский Б.М., Деллаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. М.: Наука, 1968. 940 с.
8. Перегретый пар. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] / – режим доступа: http://ispu.ru/files/u2/book2/TD1_19-06/ttd7-6.htm (19.09. 2016).
9. Инженерный справочник DPVA. info. [Электронный ресурс] / – режим доступа: <http://www.dpva.ru/> (19. 09. 2016).

Это на 20,5% меньше, чем по первой модели теплоусвоения.

Определим энергию структурообразования:

$$E_{MT} = Q_x + Q_g + Q_n + Q_{az} = 196,9 + 235,3 + 74,5 + 51,5 = 557,8 \text{ кДж.}$$

Уменьшение составляет 9,5%.

Очевидно, что изменится и к. п. д. процесса механической трансформации вермикулитовых зерен ковдорского концентрата:

Термодинамический к. п. д. структурообразования увеличивается на 12,7 %.

Заключение.

Таким образом, экспериментальное определение температуры вермикулита показало, что для его эффективного вспучивания требуется почти на 20% меньше энергии, чем предполагалось ранее по первой модели теплоусвоения. А более высокий коэффициент полезного действия процесса структурообразования указывает на несколько большую энергоэффективность электрических печей для обжига вермикулита.

Новый объект, упомянутый выше и показанный на рис. 1 и 2, – электрическая печь с вибрационной подовой платформой, является принципиально новым, перспективным техническим решением, способным, по предварительным расчетным и экспериментальным данным, обеспечить энергоемкость обжига вермикулита в пределах $75\text{--}85$ мДж/м³. Это вдвое ниже, чем у электрических модульно-спусковых печей, и более чем втрое ниже, чем у самых совершенных пламенных печей, работающих на углеводородном топливе.

Но эта тема требует отдельного исследования и анализа.

References

1. Nizhegorodov A.I. Technologies and Equipment for Processing Vermiculite: Optimum Granulation, Electric Firing, Additional Enrichment, Irkutsk: ISTU. 2011. 172 p.
2. Nizhegorodov A.I. Some Aspects of the Preparation Technology and Vermiculite Concentrates Burning in Electric Kilns // *Stroitelnye Materialy*. [Construction Materials] 2007. No. 11, pp 16–17. (In Russian)
3. Nizhegorodov A.I. The Development of Concept of Energotechnological Units Used for the Purpose of Vermiculite Concentrates Burning Based on Electric Kilns with Module Release // *Ogneupori i technicheskaya keramika*. 2014. No. 1/2. P. 48–55. (In Russian)
4. Popov N.A. Production and Applications of Vermiculite, Moscow: Stroiizdat, 1964. 128 p.
5. Hvostenkov S.I., Zalkind O.A. Hydration Heat and Magnetic Susceptibility of Vermiculite. Mining institute of Kola Branch of Russian Academy of Sciences of the USSR. coll. of scientific works. 1966, pp. 90–100.
6. Limited Company “Helix”. Properties of Vermiculite [Electronic Resource] / – URL: <http://vermiculite.helix-gtm.com/ru/produktyo/37-content-ru>. (19. 09. 2016).
7. Jaworski B.M., Detlaf A.A. Handbook of Physics for Engineers and Students. Moscow: Nauka. 1968. 940 p.
8. Superheated Vapor. Engineering Thermodynamics [Electronic Resource] / – URL: http://ispu.ru/files/u2/book2/TD1_19-06/ttd7-6.htm (19.09. 2016).
9. Engineering Handbook DPVA. info. [Electronic Resource] / – URL: <http://www.dpva.ru/> (19. 09. 2016).

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера, что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации (ссылки на авторефераты диссертаций не допускаются).

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc, *.docx или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/aytoru.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/88>

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

THE SCIENTIFIC AND PRACTICAL EDITION



BEDESCHI



З Beralmar

14–15 ИЮНЯ 2017
ЧЕБОКСАРЫ, РОССИЯ
ГОСТИНИЦА «РОССИЯ»,
ЗАЛ «МОДЕРН»

ON JUNE 14–15, 2017
CHEBOKSARY, RUSSIA
HOTEL «RUSSIA»,
HALL «MODERN»

XV

THE SCIENTIFICALLY-PRACTICAL CONFERENCE
«DEVELOPMENT OF THE CERAMIC INDUSTRY OF RUSSIA»

КЕРАМТЕХ



Партнеры МИАП КЕРАМТЕХ / KERAMTEX' partners



Ceramitec



ПОСЕЩЕНИЕ
КИРПИЧНОГО ЗАВОДА «КЕТРА» (14.06.2017)
ПРЕДПРИЯТИЯ «ЭКОКЛИНКЕР» (15.06.2017)

ЭКО КЛИНКЕР

VISIT TO
KETRA BRICK-PLANT & ECOCLINKER

15.06.2017

Гала-ужин с вручением профессиональных наград в ресторане «Роланд»
CERAMIC AWARDS DINNER – RESTAURANT «ROLAND»

Руководитель проекта – Юмашева Елена Ивановна
Менеджер проекта – Лескова Елена Львовна

www.rifsm.ru

mail@rifsm.ru



ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ ИНДУСТРИИ СБОРНОГО
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

- Автоматизированные индивидуальные линии циркуляции паллет
- Оборудование для производства арматурных элементов и сетки
- Кассетные формы, опрокидывающиеся столы, опалубочные системы
- Оборудование для преднапряженных элементов и тестовая линия
- Собственный завод стеновых панелей и перекрытий
- Программное обеспечение и комплексная система ERP

www.progress-group.info