

60 лет с отраслью

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ<sup>®</sup> №3



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ISSN 0585-430X ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU МАРТ 2015 г. (723)



**New monolayer tunnel kiln for self-standing roof tiles**



**BEDESCHI**

**SINCE 1908... TAKING THE BEST FROM THE PAST TO BUILD THE FUTURE**

[www.bedeschi.com](http://www.bedeschi.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](mailto:manager@tpribor.ru) / [www.tpribor.ru](http://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.

(723) март 2015 г.

## Главный редактор:

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

## Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Результаты научных исследований

**С.Н. ЛЕОНИЧ, Д.В. СВИРИДОВ, Г.Л. ЩУКИН,  
 А.Л. БЕЛАНОВИЧ, С.А. КАРПУШЕНКОВ, В.П. САВЕНКО**  
**Компенсация усадки пенобетона** ..... 3

**С.В. ФЕДОСОВ, В.Е. РУМЯНЦЕВА, В.А. ХРУНОВ, М.Е. ШЕСТЕРКИН**  
**О некоторых проблемах технологии безопасности и долговечности зданий,  
 сооружений и инженерной инфраструктуры** ..... 8

**Г.И. БЕРДОВ, М.А. ЕЛЕСИН, Е.В. УМНОВА**  
**Высокопрочный бетон на основе известково-серного затворителя** ..... 12

**В.И. КАЛАШНИКОВ, О.В. СУЗДАЛЬЦЕВ, М.Н. МОРОЗ, В.В. ПАУСК**  
**Морозостойкость окрашенных архитектурно-декоративных  
 порошково-активированных песчаных бетонов** ..... 16

**Новый ГОСТ гипсокартона КНАУФ (Информация)** ..... 20

**Несъемная опалубка «ПЛАСТБАУ-3». Перспективы малоэтажного  
 монолитного домостроения в России (Информация)** ..... 22

**В.В. БЕЛОВ, С.Л. СУББОТИН, П.В. КУЛЯЕВ**  
**Прочностные и деформативные свойства бетонов  
 с карбонатными микронаполнителями** ..... 25

**О.М. СМЕРНОВА**  
**Использование минерального микронаполнителя  
 для повышения активности портландцемента** ..... 30

**Р.В. ЧИЖОВ, Н.И. КОЖУХОВА, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ,  
 Д.Н. КОРОТКИХ, Е.В. ФОМИНА, М.И. КОЖУХОВА**  
**Фазообразование и свойства алюмосиликатных вяжущих  
 негидратационного типа твердения с использованием перлита** ..... 34

**Л.И. ХУДЯКОВА, О.В. ВОЙЛОШНИКОВ, И.Ю. КОТОВА**  
**Влияние механической активации на процесс образования и свойства  
 композиционных вяжущих материалов** ..... 37

**Немецкая компания ЛИНГЛ (LINGL) на выставке МосБилд-2015 —  
 одной из важнейших выставок года (Информация)** ..... 42

## Технологии и оборудование

**А.В. НЕСТЕРОВ, Д.З. БАТЫЖЕВ**  
**Новая жизнь шахтных печей** ..... 49

**А.В. СУЛИМА-ГРУДЗИНСКИЙ**  
**Некоторые актуальные вопросы в области оборудования  
 для производства силикатных изделий** ..... 53

**В.А. БОБИН, А.В. БОБИНА**  
**Гироскопическая мельница — новая энергоэффективная техника  
 для безударного разрушения твердых материалов** ..... 63

**В.В. БЕЛОВ, И.В. ОБРАЗЦОВ**  
**Использование виртуальных тренажеров для работников  
 заводских лабораторий** ..... 67

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

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

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

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

# Monthly scientific-technical and industrial journal

# STROITEL'NYE MATERIALY®

## No. 3

Founded in 1955

(723) March 2015 r.

### Editor-in-chief

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

### Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Results of scientific research

S.N. LEONOVICH, D.V. SVIRIDOV, G.L. SHCHUKIN,  
A.L. BELANOVICH, S.A. KARPUSHENKOV, V.P. SAVENKO  
**Concrete Shrinkage Compensation** ..... 3

S.V. FEDOSOV, V.E. RUMYANTSEVA, V.A. KHRUNOV, M.E. SHESTERKIN  
**On Some Problems of Security Technology and Durability  
of Buildings and Engineering Infrastructure** ..... 8

G.I. BERDOV, M.A. ELESIN, E.V. UMNOVA  
**High-Strength Concrete on the Base of Lime-Sulfur Sealing Compound** ..... 12

V.I. KALASHNIKOV, O.V. SUZDALTSEV, M.N. MOROZ, V.V. PAUSK  
**Frost Resistance of Coloured Architectural-Decorative  
Powder-Activated Sand Concretes** ..... 16

**New GOST of Gypsum Plasterboard KNAUF (Information)** ..... 20

**Permanent Formwork "PLASTBAU-3". Prospects  
of Low-Rise Monolithic Housing Construction (Information)** ..... 22

V.V. BELOV, S.L. SUBBOTIN, P.V. KULYAEV  
**Strength and Strain Properties of Concrete with Carbonate Microfillers** ..... 25

O.M. SMIRNOVA  
**The Use of Mineral Micro-Filler for Increasing the Activity of Portland-Cement** ..... 30

R.V. CHIZHOV, N.I. KOZHUKHOVA, I.V. ZHERNOVSKY,  
D.N. KOROTKIH, E.V. FOMINA, M.I. KOZHUKHOVA  
**Phase Formation and Properties of Aluminum-Silicate Binders  
of Dehydration Type of Hardening with the Use of Perlite** ..... 34

L.I. KHUDYAKOVA, O.V. VOILOSHNIKOV, I.Yu. KOTOVA  
**Influence of Mechanical Activation on Process of Formation  
and Properties of Composite Binding Materials** ..... 37

**German Company LINGL at the Exhibition MosBuild 2015,  
One of the Most Important Exhibitions of This Year (Information)** ..... 42

### Technologies and equipment

A.V. NESTEROV, D.Z. BATYZHEV  
**A New Life of Shaft Kilns** ..... 49

A.V. SULIMA-GRUDZINSKY  
**Some Actual Problems in the Field of Equipment  
for Silicate Products Manufacture** ..... 53

V.A. BOBIN, A.V. BOBINA  
**Gyroscopic mill – new power effective equipment  
for unaccented destruction of solid materials** ..... 63

V.V. BELOV, I.V. OBRAZTSOV  
**The Use of Virtual Simulators for Employees of Industrial Laboratories** ..... 67

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

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

УДК 691.327.333

С.Н. ЛЕОНОВИЧ<sup>1</sup>, д-р техн. наук (SLeonovich@mail.ru); Д.В. СВИРИДОВ<sup>2</sup>, д-р хим. наук (info@bsu.by),  
 Г.Л. ЦУКИН<sup>2</sup>, канд. хим. наук, А.Л. БЕЛАНОВИЧ<sup>2</sup>, канд. хим. наук,  
 С.А. КАРПУШЕНКОВ<sup>2</sup>, канд. хим. наук, В.П. САВЕНКО<sup>2</sup>, ст. науч. сотрудник

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65)

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет (220030, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 4)

## Компенсация усадки пенобетона

Установлена перспективность получения малоусадочного пенобетона плотностью 200–400 кг/м<sup>3</sup> из цементной смеси, содержащей дегидратированный цитрат натрия и расширяющийся сульфоалюминатный модификатор (РСАМ). Эффект компенсации усадки проявляется за счет синтеза в условиях пеноцементной структуры низкоосновных гидросиликатов, которые зарастают гелеобразными материалами, образующимися за счет взаимодействия между собой компонентов цемента, добавки РСАМ и цитрата натрия с образованием новой блочной структуры, которая оказывает сопротивление усадочным явлениям в период перехода пеноцементного каркаса пенобетона в упругое состояние. Протеканию процессов формирования структуры твердеющего пенобетона противостоят такие факторы, как миграция воды под влиянием температурного градиента, приводящего к деструктивным явлениям, влажностной усадке, набуханию поровых перегородок при конденсации пара и т. д. Определяющими деструктивными процессами в производстве пенобетона является тепло- и массообмен во влажных пористых телах и напряжения, вызываемые температурным расширением материала. Для получения равномерного распределения тепловых потоков при сушке массива пенобетона необходимо достичь одновременного прогрева его объема. Это может быть реализовано с помощью СВЧ-излучения, которое обеспечивает равномерную сушку без усадочных проявлений и заметных трещин.

**Ключевые слова:** пенобетон, цемент, пеномасса, усадка, цитрат натрия.

S.N. LEONOVICH<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (SLeonovich@mail.ru); D.V. SVIRIDOV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Chemistry) (info@bsu.by),

G.L. SHCHUKIN<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Chemistry), A.L. BELANOVICH<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Chemistry),

S.A. KARPUSHENKOV<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Chemistry), V.P. SAVENKO<sup>2</sup>, Senior Staff Scientist

<sup>1</sup> Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Avenue, Minsk, 220013, Belarus)

<sup>2</sup> Belarusian State University (4, Nezavisimosti Avenue, Minsk, 220030, Belarus)

### Concrete Shrinkage Compensation

The prospectivity of obtaining low shrinkage foam concrete of 200–400 kg/m<sup>3</sup> density from cement mix containing dehydrated sodium citrate and expansive sulfoaluminate modifier ESM has been established. The effect of shrinkage compensation reveals itself due to the synthesis under conditions of the foam-cement structure of low-basic hydrosilicates which are overgrown with jellylike materials generated as a result of interaction of cement components, ESM additive and sodium citrate with the formation of a new block structure which resists to shrinkage effects in the process of transition of the foam-cement frame of foam concrete to the elastic state. Such factors as water migration under the impact of the temperature gradient, which leads to destructive effects, moist shrinkage, swelling of pore walls under steam condensation etc., resist to the progression of formation of hardening foam concrete structure. Defining destructive processes in the production of foam concrete are heat- and mass transfer in humid porous solids and stresses caused by temperature expansion of the material. To obtain the uniform distribution of heat flows in the course of drying of foam concrete massive, it is necessary to achieve the simultaneous heating of its volume. This can be realized with the help of microwave radiation which ensures the uniform drying without shrinkage effects and noticeable cracks.

**Keywords:** foam concrete, cement, foam mass, shrinkage, sodium citrate.

В настоящее время в связи с увеличением стоимости энергоресурсов образовался устойчивый интерес к минеральным строительным материалам с высокими теплоизоляционными свойствами. К таким материалам следует отнести пенобетоны, которые должны обладать достаточной прочностью на сжатие и растяжение, высокой трещиностойкостью, негорючестью, долговечностью и т. д. Этим требованиям в той или иной мере соответствуют пенобетоны автоклавного твердения. Однако для их производства требуются большие энергетические затраты. Это более чем в два раза увеличивает стоимость материала в сравнении с пенобетоном холодного отверждения. Вместе с тем слабой стороной неавтоклавного пенобетона являются значительные деформации как в процессе изменения водосодержания при твердении, так и при его эксплуатации. В результате деформации развивается усадка массива пенобетона с образованием трещин в изделиях из этого материала. Последнее снижает его долговечность, делая малоприменимым материалом в строительном-ремонтной индустрии. Эти деструктивные процессы, протекающие в массивах монолитных и пористых бетонов, освещены в литературе [1–3].

Однако многофакторность процесса деструкции пенобетонов через усадку и трещинообразование делает невозможным дать единую оценку механизма этого

явления. Следует отметить, что полная усадка неавтоклавного пенобетона складывается из влажностной, контрактной и карбонизационной составляющих.

Влажностная усадка вызывается изменением распределения, перемещением и испарением влаги в образовавшемся скелете цементного камня. Эта составляющая играет ведущую роль в суммарной усадке бетона. Контрактная усадка вызывается тем, что объем новообразований цементного камня меньше объема, занимаемого веществами, вступающими в реакцию. Эта усадка развивается в период интенсивного протекания химических реакций между цементом и водой и не столько изменяет внешние размеры образца, сколько способствует изменениям в поровой структуре материала: уменьшается объем пор, занимаемых водой, возникают воздушные поры. Обычно эта усадка развивается в период затвердения бетона, когда он еще достаточно пластичен, и поэтому не сопровождается заметным растрескиванием материала. Карбонизационная усадка вызывается карбонизацией гидроксида кальция и развивается постепенно с поверхности бетона в глубину [2].

В Белорусском государственном университете разработана добавка–ускоритель схватывания и твердения бетона, представляющая собой прогретый при 200°C в течение 3 ч 5,5 водный трехзамещенный цитрат

натрия [4, 5]. Регулируя количество добавки от 0,3 до 8% по отношению к цементу, можно замедлить или ускорить время схватывания и последующего твердения бетонных смесей. Кроме того, при введении добавки повышается пластичность цементного раствора. Использование этой добавки в сырьевой смеси для получения пенобетона в количестве 6% от массы цемента позволило повысить реологические свойства вспененной цементной массы, ее устойчивость и ускорить время схватывания и твердения пенобетона. Однако эта добавка практически не оказывает никакого влияния на процессы усадки и трещиностойкости пенобетона.

Целью данной работы является оценка влияния расширяющегося сульфоалюминатного модификатора (PCAM) и технологических факторов сушки пенобетона на процессы деформации, усадки и трещиностойкости пенобетона, изготовленного из модифицированной цитратом натрия цементной смеси.

Для достижения поставленной цели готовилась сухая сырьевая смесь, содержащая портландцемент М500 Д0, дегидрированный цитрат натрия, PCAM и пенообразователь Уфапор. При затворении сырьевой смеси водой при  $V/T=0,6-0,7$ , последующего механического вспучивания в турбулентном смесителе (1500–2000 об/мин) и отверждения пеномассы формируется пенобетон плотностью 200–400 кг/м<sup>3</sup>.

Главной проблемой производства неавтоклавного пенобетона является высокая общая усадка, которая в 2–4 раза превышает усадку пенобетонов. Последнее уменьшает на 20–30% прочностные свойства неавтоклавного пенобетона и снижает его трещиностойкость. Установлено [3], что неавтоклавный пенобетон отличается от автоклавного как по микроструктуре, так и по завершенности процессов гидратации. На это указывает тот факт, что помещение образцов пенобетона на сутки в воду с последующим содержанием их в течение суток над водой в эксикаторе при комнатной температуре сопровождается интенсивной гидратацией оставшегося в образце цемента и развитием в нем контрактной усадки, которая, по-видимому, несет ответственность за появление трещин при сушке.

Высокая степень кристаллизации новообразований и гидратации цементного вяжущего в автоклавно-бетоне практически исключает протекание процессов твердения с изменением его объемов. Контрактная усадка и связанные с ней напряжения в объеме автоклавного пенобетона практически отсутствуют. Это вызвано тем, что в период тепловой обработки вся твердеющая масса пенобетона находится в пластично-вязком состоянии. В этих условиях контракция будет вызывать лишь химическую усадку. Она происходит ровно по всему объему твердеющей цементной массы и поэтому не вызывает в нем напряжений. Можно утверждать, что по этой причине усадка, а следовательно, и трещинообразование имеют в автоклавно-бетоне незначительную величину.

Усадка неавтоклавного пенобетона характеризует его трещиностойкость, которая, по данным [6], зависит от совместного проявления факторов, способных при определенных условиях их сочетания вызвать в пенобетоне в процессе принудительной или естественной сушки напряжения и деформации, превышающие предельную растяжимость. Видимо, наиболее существенными факторами, влияющими на возникновение трещин, являются: перепад влажности между внутренними и поверхностными слоями пенобетона, деформации и влагообменные процессы с внешней средой. Последнее, очевидно, зависит от природы и состояния материала пенобетона, его внутренней структуры, состояния поверхности, объема пор и т. п.

Известно [7], что твердеющий цементный камень содержит два вида воды: свободную в макрокапиллярных порах, удаление которой вызывает незначительную усадку, и адсорбционно-связанную в порах геля, удаление которой сопровождается повышенной усадкой. Замечено, что на некоторых образцах, особенно пенобетона плотностью 200 кг/м<sup>3</sup>, несмотря на достаточно большую линейную усадку, трещины не образуются. Последнее, по-видимому, обусловлено значительной проницаемостью паров воды во внутренних слоях образца пенобетона и испарения их без возникновения деформаций поровой структуры.

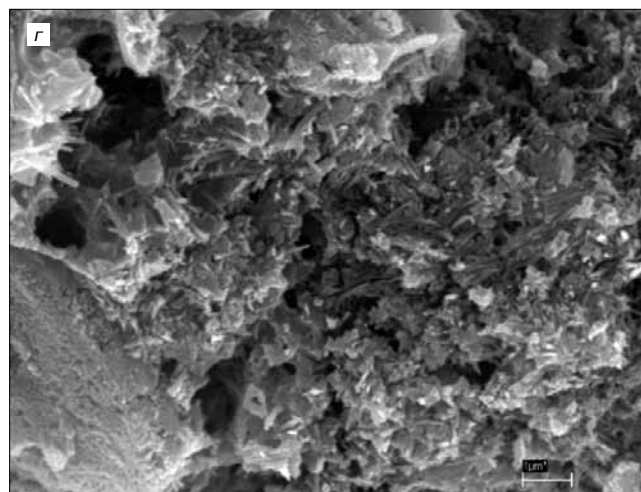
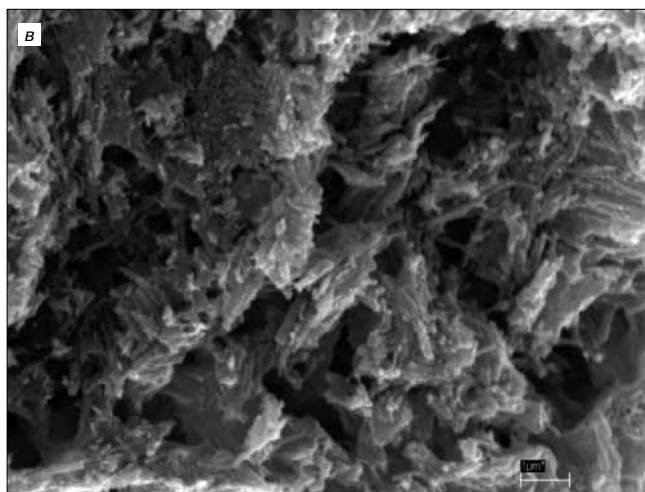
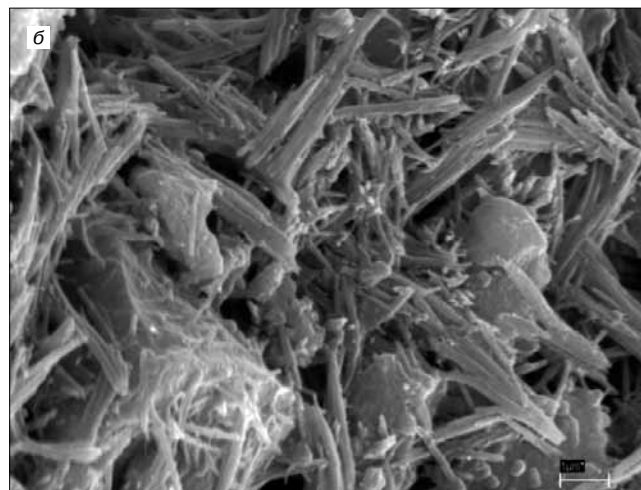
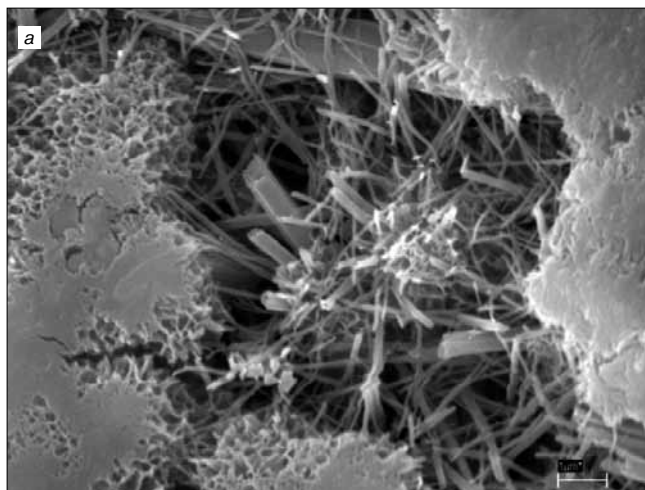
При выполнении экспериментальной работы установлено, что в присутствии цитрата натрия более 6% в цементной смеси ( $V/C=0,6$ ) вспученная цементная масса при высыхании на воздухе образует микротрещины, которые через 10 сут расширяются до 2 мм. С увеличением концентрации цитрата натрия в сырьевой смеси пенобетона до 8% возрастает скорость схватывания и твердения пеноцементной массы на 20%. Однако через 7 сут хранения фиксируется появление трещин, ширина которых увеличивается и через 8–10 сут достигает 2–3 мм. К резкому увеличению роста трещин в массиве пенобетона приводит и увеличение количества воды затворения более значения  $V/C=0,7$ . Наблюдаемое явление можно объяснить тем фактом, что цитрат натрия ускоряет процесс гидратации цемента и увеличивает в цементной пеномассе количество гелевидных составляющих. Последнее обеспечивает схватывание и твердение цементной пеномассы с образованием блочной структуры, содержащей мелкие игольчатые кристаллы, концентрация которых в присутствии пенообразователя Уфапор резко убывает.

Установлено, что увеличение прочности пенобетона, модифицированного цитратом натрия, а следовательно, и снижение дефектности его структуры возможны за счет специальных добавок, способных взаимодействовать с основными компонентами цементной пеномассы и образовывать с ними кристаллические структуры, обладающие новыми функциональными свойствами [8].

К таким добавкам следует отнести PCAM, который используется для компенсации усадки бетона и содержит в своей основе сульфоалюминатный модификатор, минералогическая основа которого, по-видимому, оказывает интенсифицирующее действие на процесс формирования гидросиликатной матрицы в автоклавно-бетоне [9, 10]. Эта добавка обладает расширяющим эффектом и в неавтоклавно-бетоне, что позволяет использовать ее для компенсации усадки пенобетона.

Определена граничная концентрация добавки PCAM в количестве 2–3% от массы цемента, введение которой в сырьевую смесь неавтоклавного пенобетона обеспечивает проявление расширяющего эффекта. Замечено, что по мере увеличения концентрации PCAM в сырьевой смеси возрастает не только прочность, но и существенно снижается усадка пенобетона.

Проведенное с помощью растрового микроскопа LEO 1420 исследование микроструктуры поверхности скола образцов пенобетона, полученных из вспученной цементной сырьевой смеси без модифицирующих добавок и с добавками 6% (по отношению к массе цемента) цитрата натрия и 3% PCAM, а также при совмещении их в смеси, показало, что они оказывают существенное влияние на конечную структуру пенобетона. В частности, как следует из рисунка *a* и *б*, добавка PCAM, введенная в цементную смесь, обеспечивает ускоренный рост игольчатых гидросиликатов кальция, которые отвечают за увеличение прочности и трещиностойкости материала.



Микроструктура поверхности скола пенобетона, полученного из вспученного цементного раствора: а – не содержащего добавок; б – с добавкой РСАМ; в – с добавкой цитрата натрия; г – с добавкой РСАМ и цитрата натрия

Введение же в состав цементной смеси цитрата натрия обеспечивает зарастание формируемых игольчатых кристаллов гелеобразными продуктами и образованием блочной структуры (см. рисунок в), приводящей к уплотнению системы и возникновению коагуляционных контактов между частицами цемента.

Аналогичная структура пенобетона формируется и при совместном введении в состав цементной смеси сульфоалюминатного модификатора РСАМ и цитрата натрия (см. рисунок г).

Следует отметить, что введение в состав цементной смеси, содержащей цитрат натрия, добавка РСАМ не влияет на скорость схватывания цементной пеномассы, но сокращается время набора прочности каркаса пенобетона. Наблюдаемый эффект можно объяснить тем, что присутствие в цементной смеси цитрата натрия обеспечивает интенсивную гидратацию цемента с образованием гелевой массы, которая, согласно данным, приведенным в работе [11], заполняет пустоты цементного камня и по мере потери воды уплотняется и твердеет с образованием затвердевшей высокодисперсной матрицы, которая имеет меньшую предельную деформацию, чем игольчатые кристаллы гидросиликатов [12].

Учитывая это, можно утверждать, что при нагрузке сначала разрушается матрица, а затем кристаллы. При большой концентрации игольчатых кристаллов в матрице они могут сдерживать напряжения в матрице и препятствовать ее растрескиванию. Одновременно достаточное наличие гелеобразной и кристаллической

фаз в цементной пеномассе может обеспечить плавный рост прочности структуры пенобетона [13].

Из опытных данных следует, что добавка РСАМ в сырьевую смесь пенобетона обеспечивает его упрочнение. Однако это не исключает растрескивания от содержащейся в нем воды, которая при просушке пенобетона в виде пара покидает его объем и создает во внутренних слоях градиент давления, которое разрушает поровую структуру и резко снижает коэффициент конструктивного качества. Для предотвращения этого негативного явления необходимо на производстве создавать условия для просушки внутренних слоев, которые не отставали бы от скорости просушки наружных. Достигнуть этого состояния в условиях производства достаточно сложно, и, чтобы избежать пересыхания верхних слоев пенобетона, которое в свою очередь приводит к более интенсивной миграции воды из объема массива к поверхности и в ряде случаев вызывает нарушение поровой структуры, рекомендуется проводить регулярное орошение водой поверхности массива пенобетона. Это существенно увеличивает технологическое время производства и сказывается на его стоимости.

Исследуя особенности сушки неавтоклавно пенобетона, установлена целесообразность привлечения к процессу удаления воды из внутренних слоев пенобетона СВЧ-излучения, которое широко применяется для внутреннего разогрева пористых материалов [14]. СВЧ-нагрев не требует теплопередачи, а реализуется за счет превращения электромагнитной энергии в тепло-

вую во всем объеме обогреваемого материала, в качестве которого может выступать пенобетон. При этом градиент температуры в образце существенно снижается, благодаря чему снижаются внутренние напряжения в пенобетоне.

Для оценки процесса сушки пенобетона использовали бытовую СВЧ-печь, в которую помещали образцы пенобетона плотностью 200–400 кг/м<sup>3</sup> размером 6×6×6 см, которые предварительно выдерживали в течение 14 сут в закрытом термостате при комнатной температуре с последующей обработкой в течение 40–45 мин мощностью излучения 200 Вт.

Исследование кинетики обезвоживания образцов пенобетона показало, что их устойчивость к трещинообразованию определяется не только скоростью удаления воды из объема образца, но и от количества остатков ее в объеме. Кроме того, замечено, что при небольшой толщине образцов перепад влажности между слоями незначителен, сушка протекает равномерно, без возникновения опасных градиентов влажности, а следовательно, без усадочных проявлений и заметных трещин. С увеличением мощности облучения образцов до 400 Вт скорость испарения воды из объема резко возрастает и в ряде случаев приводит к разрыву поровой структуры пенобетона. В настоящее время авторами данной работы проводятся исследования по практическому применению СВЧ-излучения для объемной просушки пенобетона.

#### **Заключение**

Проведенное исследование процесса получения малоусадочного пенобетона из цементной смеси, содержащей цитрат натрия и РСАМ, показало перспективность использования последнего в качестве добавки, обеспечивающей компенсацию усадки твердеющего каркаса пенобетона. Эффект компенсации усадки проявляется за счет синтеза в условиях пеноцементной структуры низкоосновных гидросиликатов, которые нарастают гелеобразным материалом, образующимся за счет взаимодействия компонентов цемента и добавки РСАМ с цитратом натрия с образованием новой блочной структуры, которая оказывает сопротивление усадочным явлениям пеноцементного каркаса во время твердения.

Однако протеканию процессов формирования структуры твердеющего пенобетона противостоят та-

кие факторы, как миграция воды под влиянием температурного градиента, приводящего к деструктивным явлениям, влажностной усадке, набуханию поровых перегородок при конденсации пара и т. д. Определяющими деструктивными процессами в производстве пенобетона является тепло- и массообмен во влажных пористых телах и напряжения, вызываемые температурным расширением материала. При этом замечено, что чем быстрее растет температура пенобетона, тем больше разрыхляется его структура и увеличивается остаточная деформация. Особое внимание необходимо уделять режиму разогрева и охлаждения, а также пониманию того, что для пенобетона характерны процессы очень медленного разогрева за счет низкой теплопроводности и, как следствие, медленной теплоотдачи. Этому явлению необходимо уделить особое внимание при тепловой выдержке пенобетона и возможному возникновению миграционного потока объемной воды по направлению теплового потока. Эти потоки иногда создают избыточное давление в поровом пространстве материала и вызывают разрушение структуры пенобетона.

Для получения равномерного распределения тепловых потоков при сушке массива пенобетона необходимо достичь единовременного прогрева его объема. Это может быть реализовано с помощью СВЧ-излучения, которое обеспечивает высокую скорость прогрева пенобетона и интенсивное испарение из его объема воды. Необходимое для этого процесса тепло не подводится извне, а образуется внутри образца пенобетона. В отличие от атмосферной сушки, где температура пенобетона по толщине образца не изменяется, при сушке в поле токов высокой частоты наблюдается значительный перепад температуры, направленный изнутри пенобетона к поверхности. Это определяет интенсивное передвижение паров воды в объеме пенобетона и значительно сокращает продолжительность сушки.

Тепло в объеме пенобетона возникает в результате диэлектрических потерь вследствие поляризации частиц пенобетона, совершающих колебательные движения. При нагреве объема пенобетона тепло передается от внутренних слоев наружным, что обеспечивает уменьшение внутренних напряжений и опасность появления трещин в массиве пенобетона, а также существенно сокращается время сушки.

#### **Список литературы**

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны, теория и практика. М.: Технопроект, 1998. 768 с.
2. Кривицкий М.Я., Левин Н.И., Макаричев В.В. Ячеистые бетоны (технология, свойства и конструкции). М.: Стройиздат, 1972. 137 с.
3. Ружинский С.Р., Портник А.А., Савиных А.В. Все о пенобетоне. СПб.: ООО «Строй Бетон», 2006. 630 с.
4. Леонович С.Н., Свиридов Д.В., Беланович А.Л. и др. Продление срока годности растворов смесей // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 74–77.
5. Патент 18077 РБ. *Способ получения ускорителя твердения для бетонов и строительных растворов* / Савенко В.П., Щукин Г.Л., Леонович С.Н. и др. Оpubл. Б.И. № 2. 2012.
6. Chindaprasirt P., Rattanasak U. Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol compounds and fly ash // *Materials & Design*. 2011. Vol. 32. No. 2, pp. 723–727.

#### **References**

1. Batrakov V.G. Modificirovannie betoni, teoriya i praktika [The modified concrete, the theory and practice]. Moscow: Tehnoproect. 1998. 768 p.
2. Krivitskii M.Ya., Levin N.I., Makarichev V.V. Yacheistye betony (tehnologiya, svoistva i konstruksii) [Cellular concrete (technology, properties and structure)]. Moscow: Stroizdat. 1972. 137 p.
3. Ruzhinsky S.R., Portik A.A., Savinich A.V. Vse o penobetonе [In total about foam concrete]. St. Petersburg: ООО «Story Beton». 2006. 630 p.
4. Leonovich S.N. Sviridov D.V., Belanovich A.L., Shchukin G.L., Savenko V.P., Karpushenkov S.A. Prolongation of working life of mortar mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10, pp. 74–77. (In Russian).
5. Patent 18077 BY. *Sposob polucheniya uskoritelya tverdeniya dlya betonov i stroitel'nykh rastvorov* [Method of obtaining the hardener for the concretes and the mortars]. Savenko V.P., Shchukin G.L., Leonovich S.N. ets. Published. B.I. № 2. 2012.
6. Chindaprasirt P., Rattanasak U. Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol



7. Сахаров Г.Л. Комплексная оценка трещиностойкости ячеистых бетонов // *Бетон и железобетон*. 1990. № 10. С. 39–41.
8. Хархардин А.Н. Структурная топология пенобетона // *Известия вузов. Строительство*. 2005. № 2. С. 18–25.
9. Мечай А. А., Барановская Е.И. Формирование состава и структуры продуктов гидросиликатного твердения в присутствии сульфоминеральных добавок // *Цемент и его применение*. 2010. № 5. С. 128–133.
10. Протко, Н.С. Мечай А.А. Расширяющий сульфатоалюминатный модификатор для компенсации усадочных деформаций бетонов и растворов // *Проблемы современного бетона и железобетона: Межд. симпозиум*. Минск. Ч. 2. 2007. С. 255–271.
11. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительное материаловедение. М.: Инфра-Инженерия, 2013. 832 с.
12. Stark J. Recent advances in the field of cement hydration and microstructure analysis // *Cement and Concrete research*. 2011. Vol. 41. No. 7, pp. 666–678.
13. Кудяков А.И., Киселев Д.А. Управление структурой и качеством пенобетона // *Проектирование и строительство Сибири*. 2009. № 4. С. 29.
14. Мамонтов А.В., Нефедов В.Н., Назаров И.В. и др. Микроволновые технологии: Монография. М.: ГНУ НИИ ПМТ, 2008. 308 с.
- compounds and fly ash. *Materials & Design*. 2011. Vol. 32. No. 2, pp. 723–727.
7. Sakharov G.L. Complex assessment of crack resistance of cellular concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1990. No. 10, pp. 39–41. (In Russian).
8. Kharkhardin, A.N. Structural topology of foam concrete. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2005. No. 2, pp. 18–26. (In Russian).
9. Mechai A.A., Baranovskaya E.I. Formation of composition and structure of products hydrosilicate hardening in the presence of sulfomineral additives. *Tsement i ego primeneniye*. 2010. No. 5, pp. 128–133. (In Russian).
10. Protko N.S., Mechai A.A. Expanding sulfoaluminate modifier for compensating the shrinkage strain of concretes and solutions. *The problems of contemporary concrete and reinforced concrete: International Symposium. Part 2*. Minsk. 2007, pp. 255–271.
11. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitel'noe materialovedeniye [Construction materials science]. Moscow: Infra-Inzheneriya. 2013. 832 p.
12. Stark J. Recent advances in the field of cement hydration and microstructure analysis. *Cement and Concrete research*. 2011. Vol. 41. No. 7, pp. 666–678.
13. Khudyakov A.I., Kiselev D.A.. Management of structure and quality of foam concrete. *Proektirovaniye i stroitel'stvo Sibiri*. 2009. No. 4, pp. 29. (In Russian).
14. Mamontov A.V., Nefedov V.N., Nazarov I.V. ets. Mikrovolnovyye tekhnologii: monografiya [Microwave technologies. Monograph]. Moscow: GNU of NII (Scientific Research Institute) PMT. 2008. 308 p.



19. ibausil

16–18.09.2015  
Weimar

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

**организует 19-й Международный конгресс по строительным материалам**

г. Веймар (Германия)

**IBAUSIL****16–18 сентября 2015 г.**

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

#### **Основные темы конгресса**

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

**Официальные языки конференции – немецкий, английский**

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

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

С.В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, академик РААСН (fedosovacademic53@mail.ru),  
 В.Е. РУМЯНЦЕВА, д-р техн. наук, советник РААСН (varrym@gmail.com),  
 В.А. ХРУНОВ, канд. техн. наук (hrunovkss@gmail.com), М.Е. ШЕСТЕРКИН, инженер  
 Ивановский государственный политехнический университет (153037, г. Иваново, ул. 8 марта, 20)

## О некоторых проблемах технологии безопасности и долговечности зданий, сооружений и инженерной инфраструктуры

На основе классических и новейших теоретических и экспериментальных исследований предложены эффективные рекомендации для предотвращения разрушения строительных конструкций от коррозии. Проведено математическое моделирование коррозионного массопереноса в процессах коррозии первого вида цементных бетонов, возникающей в бетоне при воздействии воды с малой жесткостью, когда составные части цементного камня растворяются, вымываются и уносятся перемещающейся водной средой. Приведена краевая задача массопроводности в размерных и безразмерных переменных. Представлено решение задачи методом Лапласа при малых значениях массообменного числа Фурье, а также результаты его практического применения при проведении обследования строительных конструкций резервуара воды для пожаротушения.

**Ключевые слова:** коррозия, цементный бетон, жидкая водная среда, диффузия, массоперенос, безопасность, долговечность, закон Генри, математическое моделирование.

S.V. FEDOSOV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS (fedosovacademic53@mail.ru),  
 V.E. RUMYANTSEVA, Doctor of Sciences (Engineering), Adviser of RAACS (varrym@gmail.com),  
 V.A. KHRUNOV, Candidate of Sciences (Engineering) (hrunovkss@gmail.com), M.E. SHESTERKIN, Engineer (shesterkin86@mail.ru)  
 Ivanovo State Polytechnical University (20, 8 Marta Street, Ivanovo, 153037, Russian Federation)

### On Some Problems of Security Technology and Durability of Buildings and Engineering Infrastructure

On the basis of the classical and latest theoretical and experimental studies, efficient recommendations on preventing the destruction of building structures due to corrosion are proposed. The mathematical simulation of the corrosion mass-transfer in the course of corrosion of cement concretes of the first type, which occurs in the concrete under the impact of water with low hardness when components of the cement stone are dissolved, washed away, and carried away by the moving aqueous media, has been carried out. The boundary problem of mass conductivity in dimensional and non-dimensional variables is presented. The final solution of the problem using the method of Laplace at low values of Fourier number for mass exchange, as well as its practical application when inspecting the building structures of the water reservoir for fire fighting is presented.

**Keywords:** corrosion, cement concrete, liquid water environment, diffusion, mass transfer, safety, durability, Henry number.

Технологии безопасности и долговечности зданий, сооружений и инженерной инфраструктуры – совокупность результатов экспериментально-теоретических исследований, методов проектирования, проектных, конструктивных и технологических решений, обеспечивающих их эксплуатацию в течение всего периода функционирования без опасности для жизни и здоровья людей и без нанесения вреда окружающей среде. Повышение качества и долговечности сооружений является одной из важнейших задач строительства. Решение этой задачи требует знания сущности процессов, протекающих при эксплуатации строительных конструкций, в первую очередь сущности процессов коррозии.

**Коррозией** (лат. *corrosio* – разъедание) называется процесс разрушения материала под действием внешней среды. В той или иной степени коррозии подвергаются все материалы.

Бетон и цементный камень как его матричная часть в эксплуатационных условиях подвержены коррозионному воздействию: газообразной среды в виде загрязненной атмосферы окружающего воздуха; твердой среды в виде пылей, загрязняющих атмосферу воздуха и осаждающихся на наружных поверхностях конструкций, грунтов, содержащих агрессивные компоненты; жидкой среды в виде агрессивных природных или загрязненных техническими продуктами поверхностных и грунтовых вод; биологически активных сред.

В большинстве случаев на конструкции действует многофазная среда. Например, воздух промышленных

предприятий часто содержит взвешенную жидкую фазу в виде тумана и твердую – в виде пыли [1].

Для развития процессов коррозии агрессивное воздействие среды на компоненты бетона должно быть постоянным, в том числе на внутренние слои, когда граница коррозии перемещается в глубь материала.

Основоположником науки о коррозии бетона профессором В.М. Москвиным многочисленны процессы, протекающие при коррозии бетона, были классифицированы на три основных вида и указаны основные пути повышения коррозионной стойкости бетона [1].

Первая группа (*коррозия I вида*) объединяет коррозионные процессы, которые возникают в бетоне под действием воды, когда составные части цементного камня растворяются и вымываются жидкостью. К ним относятся воды оборотного водоснабжения, конденсат, дождевые воды, воды горных и равнинных рек в половодье, болотная вода.

На начальном этапе растворяется и вымывается водой гидроксид кальция, образовавшийся при гидролизе трехкальциевого силиката. Этот процесс обусловлен диффузией гидроксида кальция из толщи бетона к его поверхности, граничащей со средой, переходом вещества через границу раздела фаз твердое тело – жидкость и растворением в жидкой среде. После вымывания свободного гидроксида кальция начинается разложение гидросиликатов, а затем гидроалюминатов и гидроферритов кальция, приводящее к развитию коррозии других видов.

Вторая группа (коррозия II вида) объединяет процессы коррозии, развивающиеся в бетоне при действии вод, содержащих химические вещества, вступающие в обменные реакции с составляющими цементного камня (растворы кислот и некоторых солей). Продукты реакции при этом либо легко растворяются и вымываются водой, либо в виде аморфной массы отлагаются в порах и капиллярах цементного камня, на начальном этапе выступая в роли ингибитора коррозионного разрушения.

Третья группа (коррозия III вида) объединяет процессы коррозии, при развитии которых в микропустотах бетона происходит накопление малорастворимых солей, кристаллизация которых вызывает значительные растягивающие напряжения и последующее разрушение.

Кристаллизация солей и другие вторичные процессы, развивающиеся в бетоне, создают внутренние напряжения, приводящие к нарушению структуры бетона. Соли либо образуются вследствие химических реакций взаимодействия агрессивной среды с составными частями материала, либо приносятся извне и выделяются из раствора за счет постепенного испарения из него воды.

При всех видах коррозии скорость разрушения определяется, в основном, закономерностями процессов массопереноса в твердой и жидкой фазах и на границах их раздела.

Выделение трех основных видов коррозии, основанное на принципе доминирующих факторов, дает возможность установить общие для каждого вида закономерности. Это, в свою очередь, облегчает правильный выбор мероприятий, необходимых для предотвращения развития коррозии бетона и обеспечения его долговечности.

Одним из направлений в области изучения проблемы долговечности бетона является исследование закономерностей процессов коррозии как в экспериментальном, так и в теоретическом плане.

В настоящее время отечественными и зарубежными исследователями предлагается большое количество математических моделей процессов коррозии бетона, позволяющих с требуемой точностью рассчитать долговечность бетонных и железобетонных конструкций.

С точки зрения теории химических процессов основные «события» происходят в диффузионно-кинетической области. В этих условиях разработка математических моделей процессов коррозии бетона базируется на физических моделях диффузии переносимых компонентов в пористой структуре бетона и математическом аппарате краевых задач массопереноса с использованием дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа.

Предметом рассмотрения авторов является жидкостная коррозия, которая возможна на гидротехнических объектах (дамбы, плотины, опоры мостов, резервуары), в частности в условиях вечной мерзлоты. Отмечено, что сваи, на которых строятся объекты в районах Севера, в периоды потепления подвергаются интенсивному воздействию грунтовых вод с высоким содержанием агрессивных компонентов [2]. Процесс усложняется, а скорость коррозии возрастает при фильтрации через толщу бетона. Но даже для случаев отсутствия фильтрации (градири, резервуары) проблема остается чрезвычайно значимой [3].

Ниже приводится математическая модель процессов диффузии гидроксида кальция при коррозии I вида в системе железобетонный резервуар – жидкость.

Математически массоперенос гидроксида кальция в стенке бетонных конструкций определяется краевой задачей массопроводности вида:

$$\frac{\partial C(x,\tau)}{\partial \tau} = k \cdot \frac{\partial^2 C(x,\tau)}{x^2}, \quad \tau > 0, \quad 0 \leq x \leq \delta. \quad (1)$$

$$\text{Начальное условие: } C(x,\tau)|_{\tau=0} = C(x,0) = C_0. \quad (2)$$

$$\text{Граничные условия: } \frac{\partial C(0,\tau)}{\partial x} = 0; \quad (3)$$

$$k \cdot \frac{\partial C(\delta,\tau)}{\partial x} = \beta [C_p(\tau) - C(\delta,\tau)], \quad (4)$$

где  $C(x,\tau)$  – концентрация свободного  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в бетоне в момент времени  $\tau$  в произвольной точке с координатой  $x$  в пересчете на  $\text{CaO}$ , кг  $\text{CaO}/\text{кг}$  бетона;  $C_0$  – концентрация свободного  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в бетоне в начальный момент времени в произвольной точке с координатой  $x$  в пересчете на  $\text{CaO}$ , кг  $\text{CaO}/\text{кг}$  бетона;  $C_p(\tau)$  – равновесная концентрация на поверхности твердого тела, кг  $\text{CaO}/\text{кг}$  бетона;  $k$  – коэффициент массопроводности в твердой фазе,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\delta$  – толщина стенки конструкции, м;  $x$  – координата, м;  $\tau$  – время, с;  $\beta$  – коэффициент массоотдачи в жидкой среде, м/с.

Согласно закону сохранения массы, поток массы вещества, выходящего с поверхности бетона, должен быть равен количеству вещества, прибывающему в жидкую фазу:

$$-S \cdot \rho_6 \cdot k \cdot \frac{\partial C(\delta,\tau)}{\partial x} = V_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \frac{\partial C_{\text{ж}}(\tau)}{\partial \tau}, \quad (5)$$

где левая часть – количество переносимого компонента через внутреннюю поверхность резервуара  $S$ ,  $\text{м}^2$ ; правая часть – приращение массы компонента в объеме  $V_{\text{ж}}$  резервуара,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_6$ ,  $\rho_{\text{ж}}$  – плотности бетона и жидкости соответственно,  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Знак «минус» указывает на уменьшение концентрации компонента в бетоне.

Уравнение (1) является классической записью параболического дифференциального уравнения массопроводности (диффузии в твердом теле). Выражение (2) – начальное условие задачи, показывающее, что в начальный момент взаимодействия жидкости и бетона, например начало заливки резервуара, концентрация свободного гидроксида кальция по толщине бетонной конструкции равномерна. Граничное условие (3) относится к внешней границе конструкции и называется условием непроницаемости, показывая, что через наружную поверхность бетона переносимый компонент не уходит. Граничное условие (4) характеризует условие массопереноса через границу раздела фаз твердое – жидкость. Изнутри к поверхности тела целевой компонент переносится посредством массопроводности, а от границы переносится в жидкость посредством массоотдачи естественной конвекцией в жидкой фазе. Дифференциальное уравнение (5) представляет собой материальный баланс переносимого компонента, так как его левая часть отражает значение плотности потока массы вещества, поступающего из внутренних слоев бетона к межфазной границе, а правая часть показывает количество вещества, поступающего в результате массопереноса в объем жидкости.

Отличительной особенностью математической модели (1)–(4) является не постоянство величины равновесной концентрации на поверхности твердого тела  $C_p$ , а ее зависимость от концентрации компонента в жидкой фазе  $C_{\text{ж}}$ . Простейшей формой этой зависимости является закон Генри:

$$C_p(\tau) = m C_{\text{ж}}(\tau), \quad (6)$$

где  $m$  – константа Генри, кг жидкости / кг бетона.

Для упрощения понимания решения воспользуемся критериями подобия и введем безразмерные переменные вида:

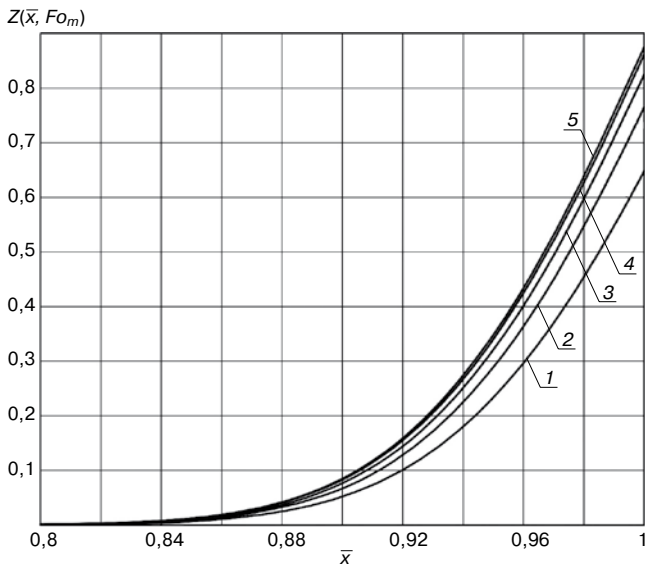


Рис. 1. Профили безразмерных концентраций в бетоне защитного слоя толщиной, мм: 1 – 30; 2 – 45; 3 – 60; 4 – 80; 5 – 90

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{C_0 - C(x, \tau)}{C_0}, \quad \bar{x} = \frac{x}{\delta}, \quad Fo_m = \frac{k\tau}{\delta^2}, \quad Bi_m = \frac{\beta\delta}{k},$$

$$Z_{ж}(Fo_m) = \frac{C_0 - mC_{ж}(\tau)}{C_0}. \quad (7)$$

$$\text{Обозначим также: } K_m = \frac{m \cdot S \cdot \delta}{V_{ж}} \cdot \frac{\rho_{б}}{\rho_{ж}} = \frac{m \cdot G_{б}}{G_{ж}}, \quad (8)$$

где  $K_m$  – коэффициент, учитывающий характеристики фаз;  $G_{б}$  – масса бетонного резервуара, кг;  $G_{ж}$  – масса жидкости в резервуаре, кг.

Тогда краевая задача массопроводности в безразмерном виде может быть представлена следующей системой уравнений:

$$\frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial Fo_m} = \frac{\partial^2 Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}^2}, \quad Fo_m > 0, \quad 0 \leq \bar{x} \leq 1. \quad (9)$$

$$\text{Начальное условие: } Z(\bar{x}, 0) = 0. \quad (10)$$

$$\text{Граничные условия: } \frac{\partial Z(0, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = 0; \quad (11)$$

$$\frac{1}{Bi_m} \cdot \frac{\partial Z(1, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = [Z_p(Fo_m) - Z(1, Fo_m)]. \quad (12)$$

В уравнении (12)  $Z_p(Fo_m)$  есть то же самое, что и  $Z_{ж}(Fo_m)$ .

Тогда условие массообмена бетона и жидкости окончательно примет вид:

$$-\frac{\partial Z_{ж}(Fo_m)}{\partial Fo_m} = K_m \cdot \frac{\partial Z(1, Fo_m)}{\partial \bar{x}}. \quad (13)$$

Решение системы выполнялось методом интегрального преобразования Лапласа, т. е. исходная система уравнений отображалась в область комплексных чисел, в которых было получено решение системы, а затем был произведен перевод решения в область оригиналов.

При решении системы уравнений (9)–(12) для малых чисел Фурье, получены выражения, позволяющие рассчитать профиль безразмерных концентраций переносимого компонента по толщине бетона в произвольный момент времени (14) и концентрацию перенесенного компонента в жидкой фазе (15) на начальных этапах процесса коррозии первого вида [4]:

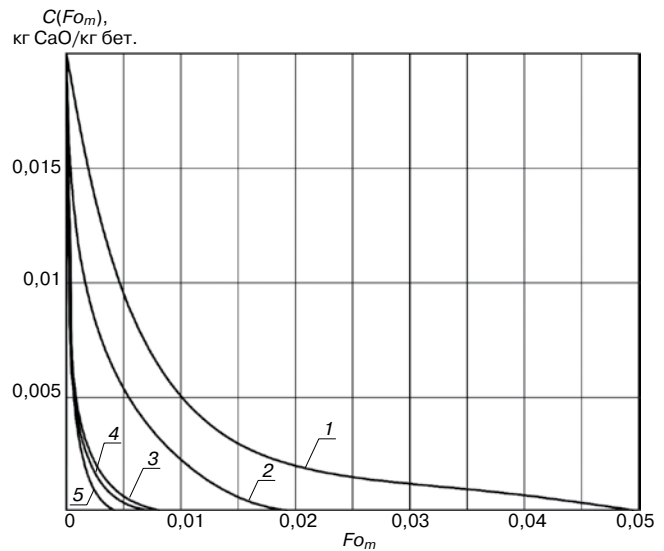


Рис. 2. Изменение концентрации гидроксида кальция на поверхности защитного слоя толщиной, мм: 1 – 30; 2 – 45; 3 – 60; 4 – 80; 5 – 90

$$\frac{Z(\bar{x}, Fo_m)}{Z_{ж}(0)} = -\frac{Bi_m}{\sqrt{Bi_m^2 - 4K_m}} \sum_{i=1}^2 (-1)^i \exp[-a_i(1-\bar{x}) + a_i^2 Fo_m] \times$$

$$\times \operatorname{erfc}\left(\frac{1-\bar{x}}{2\sqrt{Fo_m}} - a_i\sqrt{Fo_m}\right). \quad (14)$$

$$\frac{Z_{ж}(Fo_m)}{Z_{ж}(0)} = 1 - \frac{K_m Bi_m}{\sqrt{Bi_m^2 - 4K_m}} \sum_{i=1}^2 (-1)^{i+1} \left\{ 2\sqrt{\frac{Fo_m}{\pi}} + \right.$$

$$\left. + a_i \int_0^{Fo_m} \exp(a_i^2 Fo_m) \times \operatorname{erfc}(-a_i\sqrt{Fo_m}) dFo_m \right\}, \quad (15)$$

$$\text{где } a_i = \frac{-Bi_m \pm \sqrt{D}}{2}, \quad i = 1, 2.$$

Полученные решения позволяют определять значение концентраций переносимого компонента (свободного гидроксида кальция) по толщине конструкции в начальных периодах коррозионного разрушения цементных бетонов и, кроме того, дают возможность расчета содержания этого вещества в жидкой фазе и среднее по толщине и объему конструкции, т. е. расчета кинетики процесса по твердой и жидкой фазам.

Теоретические расчеты по представленной математической модели показаны авторами в предыдущих публикациях [5–9]. В данной статье приводятся результаты ее практического применения при проведении обследования строительных конструкций резервуара воды для пожаротушения.

Резервуар имеет в плане прямоугольную форму с общими габаритными размерами 24×24 м. Каркас сооружения сборный железобетонный. Состоит из колонн и ригелей, объединенных жестким диском покрытия из ребристых плит размером 1,5×6 м. Стеновое ограждение – железобетонные панели толщиной 400 мм.

В результате обследования выявлены повреждения коррозионного характера: подтеки конденсата с признаками выщелачивания цементного камня (высолы), отсутствие защитного слоя бетона и коррозия арматуры.

Единственным условием для продления срока службы резервуара является создание эффективного защитного слоя бетона. Для практической оценки срока службы защитного слоя выполнены расчеты по разработанной математической модели.

В расчетах были приняты следующие толщины защитного слоя  $\delta$ , мм: 30, 45, 60, 80 и 90.

Согласно результатам проведенных расчетов (рис. 1, 2) концентрация гидроксида кальция на поверхности защитного слоя достигнет значения, соответствующего началу разложения высокоосновных составляющих бетона, при массообменном критерии  $Fo_m$ , равном: 0,0495; 0,0192; 0,0808; 0,0709 и 0,0042.

Рассчитанным значениям массообменного критерия Фурье соответствуют временные значения:  $Fo_m = 0,0495 - 12$  лет;  $Fo_m = 0,0192 - 7,7$  лет;  $Fo_m = 0,0808 - 4,5$  года;  $Fo_m = 0,0709 - 5$  лет;  $Fo_m = 0,0042 - 3,5$  года.

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы. Долговечность защитного слоя толщиной 50–100 мм (не более 7,7 лет) недостаточна для обес-

печения межремонтного срока службы резервуара, равного 10 годам согласно требованиям эксплуатационной организации. С другой стороны, срок защитного действия в 12 лет обеспечивается при толщине покрытия 30 мм. Необходимо отметить, что в течение этого срока будет отсутствовать необходимость в возобновлении или ремонте защитного слоя.

Применение разработанной математической модели при проведении обследования строительных конструкций резервуара позволило экономически обоснованно назначить средства защиты от коррозии и установить оптимальные сроки проведения ремонтно-восстановительных работ.

#### Список литературы

1. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Стройиздат, 1952. 342 с.
2. Федосов С.В., Алоян Р.М., Ибрагимов А.М., Гнедина Л.Ю., Аксаковская Л.Н. Промерзание влажных грунтов, оснований и фундаментов. М.: АСВ, 2005. 277 с.
3. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Федосова Н.Л., Смелцов В.Л. Моделирование массопереноса в процессах жидкостной коррозии бетона первого вида // *Строительные материалы*. 2005. № 7. С. 60–62.
4. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А., Аксаковская Л.Н. Моделирование массопереноса в процессах коррозии бетонов первого вида (малые значения числа Фурье) // *Строительные материалы*. 2007. № 5. С. 70–71.
5. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А., Касьяненко Н.С., Смелцов В.Л. Прогнозирование долговечности строительных конструкций с позиций расчетного и экспериментального исследования процессов коррозии бетона // *Вестник Волгоградского ГАСУ, серия «Строительство и архитектура»*, раздел «Строительные материалы и изделия». 2009. № 14 (33). С. 117–122.
6. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А., Шестеркин М.Е. Вопросы прогнозирования долговечности строительных конструкций // *Строительство и реконструкция*. 2011. № 5 (37). С. 63–69.
7. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Касьяненко Н.С., Хрунов В.А. Массоперенос в системе «бетон – агрессивная жидкая фаза», осложненный химической реакцией на границе раздела // *Вестник отделения строительных наук*. Орел–Москва–Курск. 2011. № 15. С. 216–219.
8. Федосова Н.Л., Румянцева В.Е., Шестеркин М.Е., Манохина Ю.В. О некоторых особенностях моделирования массопереноса в процессах коррозии первого вида бетона в замкнутой системе «резервуар–жидкость» // *Строительство и реконструкция*. 2013. № 1 (45). С. 86–94.
9. Каюмов Р.А., Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А., Манохина Ю.В., Красильников И.В. Математическое моделирование коррозионного массопереноса гетерогенной системы «жидкая агрессивная среда – цементный бетон». Частные случаи решения // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 4 (26). С. 343–348.

#### References

1. Moskvin V.M. Korroziya betona [Corrosion of concrete]. Moscow: Strojizdat. 1952. 342 p.
2. Fedosov S.V., Aloyan R.M., Ibragimov A.M., Gnedina L.Yu., Aksakovskaya L.N. Promerzanie vlazhnyh grunтов, osnovanij i fundamentov [Freezing wet soils, basements and foundations]. Moscow: ASV. 2005. 277 p.
3. Fedosov S.V., Rumyantceva V.E., Fedosova N.L., Smel'cov V.L. Modeling of mass transfer processes in liquid corrosion of the concrete of the first kind. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 7, pp. 60–62. (In Russian).
4. Fedosov S.V., Rumyantceva V.E., Hrunov V.A., Aksakovskaya L.N. Modeling of mass transfer in the processes of corrosion of the concrete of the first kind (small values of the number of Fourier). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 5, pp. 70–71. (In Russian).
5. Fedosov S.V., Rumyantceva V.E., Hrunov V.A., Kas'yanenko N.S., Smel'cov V.L. Prediction of structural durability with the positions of the calculated and experimental investigations of the processes of corrosion of concrete. *Vestnik Volgogradskogo GASU*. 2009. No. 14 (33), pp. 117–122. (In Russian).
6. Fedosov S.V., Rumyantceva V.E., Hrunov V.A., Shesterkin M.E. The issues of predicting the durability of building constructions. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2011. No. 5 (37), pp. 63–69. (In Russian).
7. Fedosov S.V., Rumyantceva V.E., Kas'yanenko N.S., Hrunov V.A. Mass transfer in the system «concrete – aggressive liquid phase», complicated chemical reaction at the interface. *Vestnik otdeleniya stroitel'nyh nauk* [Bulletin of the Department of construction Sciences]. 2011. No. 15, pp. 216–219. (In Russian).
8. Fedosova N.L., Rumyantceva V.E., Shesterkin M.E., Manohina Yu.V. About some features of the modeling of mass transfer in the processes of corrosion of the first type of concrete in a closed system «container–fluid». *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2013. No. 1 (45), pp. 86–94. (In Russian).
9. Kayumov R.A., Fedosov S.V., Rumyantceva V.E., Hrunov V.A., Manohina Yu.V., Krasil'nikov I.V. Mathematical modeling of corrosion mass transfer in heterogeneous systems «liquid corrosive environment – cement concrete». Special cases and solutions. *Izvestiya KGASU*. 2013. No. 4 (26), pp. 343–348. (In Russian).

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА

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

Г.И. БЕРДОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук; М.А. ЕЛЕСИН<sup>2</sup>, канд. техн. наук (ema0674@mail.ru),  
Е.В. УМНОВА<sup>2</sup>, инженер (elena00@kanal7.ru)

<sup>1</sup> Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113)

<sup>2</sup> Норильский индустриальный институт (663310, г. Норильск, ул. 50 лет Октября, д. 7)

## Высокопрочный бетон на основе известково-серного затворителя

Использование при изготовлении тяжелого бетона известково-серного затворителя, получаемого путем растворения серы в известковой суспензии, нагретой до 95°C при механическом перемешивании, обеспечивает повышение его прочности при сжатии на 30–50%. При этом до 50% портландцемента в составе вяжущего может быть заменено дисперсными техногенными добавками (металлургическими железистыми шлаками или железистыми огарками).

**Ключевые слова:** бетон, известково-серный затворитель, ресурсосбережение, энергосбережение, шлаки.

G.I. BERDOV<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering); M.A. ELESIN<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (ema0674@mail.ru),  
E.V. UMNOVA<sup>2</sup>, Engineer (elena00@kanal7.ru)

<sup>1</sup>Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (113, Leningradskaya Street, Novosibirsk, 630008, Russian Federation)

<sup>2</sup>Norilsk Industrial Institute (7, 50 Let Oktyabrya, Norilsk, 663310, Russian Federation)

### High-Strength Concrete on the Base of Lime-Sulfur Sealing Compound

The use of the lime-sulfur sealing compound obtained by means of dissolving the sulfur in the lime suspension heated up to 95°C at mechanical blending in the course of heavy concrete manufacturing ensures the improvement of its strength under compression by 30–50%. In doing this, up to 50% of Portland cement in the structure of the binder can be replaced with disperse anthropogenic additives (metallurgical ferrous slag or ferrous cinders).

**Keywords:** concrete, lime-sulfur sealing compound, resource saving, power saving, slag.

Применение пластифицирующих добавок ПАВ и водорастворимых электролитов в технологии бетонов стало неотъемлемой частью [1–4]. Они позволяют регулировать сроки схватывания, ускорять твердение, улучшать технические свойства бетонных изделий [5–7]. Действие электролитов в качестве добавок–ускорителей твердения более многофункционально, потому расширение их эффективного ряда является перспективным [8, 9]. Положительное влияние электролитов на показатели гидратационного твердения цемента зависит от уровня минерализации затворителя.

Раствор серы в суспензии гидроксида  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (известково-серный затворитель – препарат ИСЗ) рекомендуется для получения высокопрочного бетона, в том числе и отверждением бетонной смеси в естественных условиях (Патент 4193811 США, С04В7/02 «Состав высокопрочного бетона»; Патент 4198245 США, С04В7/02 «Способ получения высокопрочных бетонных конструкций»; Патент 4193809 США, С04В7/02 «Высокопрочные бетонные изделия»). При этом препарат, содержащий полисульфид  $\text{CaSn}$  и применяемый в качестве затворителя бетонной смеси, обуславливает частичное замещение в ней портландцемента.

Вместе с тем при использовании портландцемента М400 Норильского цементного завода (минералогический состав, % мас:  $\text{C}_3\text{S}$  – 58,42;  $\text{C}_2\text{S}$  – 17,35;  $\text{C}_3\text{A}$  – 7,8;  $\text{C}_4\text{AF}$  – 13,25) и насыщенного ИСЗ в качестве затворителя (концентрация общей растворенной серы 180 г/л) было установлено, что эффективность влияния ИСЗ на прочность цементного камня различна при разных отношениях в тесте Ж/Ц (табл. 1). Удельная поверхность портландцемента составляла 3000  $\text{см}^2/\text{г}$ . Химический состав цемента, % мас:  $\text{SiO}_2$  – 21,43;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 5,96;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 4,57;  $\text{CaO}$  – 62,68;  $\text{MgO}$  – 2,73;  $\text{SO}_3$  – 1,9; ППП – 2,3. Известково-серный затворитель получали растворением порошковой серы в нагретой до 95°C механически перемешиваемой известковой суспензии. Прочность цементного камня определялась средним

значением предела прочности при сжатии шести образцов размером 20×20×20 мм на лабораторном прессе, развивающем максимальную нагрузку  $10^5$  Н.

В частности, при отношении Ж/Ц, равном 0,29 (тесто нормальной густоты), показатель прочности при сжатии образцов в возрасте 28 сут меньше, чем у образцов на воде. С увеличением Ж/Ц прочность образцов растет и при Ж/Ц, близком к 0,7, прочность при сжатии в 1,3 раза выше такового у образцов на воде.

В работе [10] установлено, что гидрохимическая активация портландцемента в ИСЗ обусловлена изменением потенциометрических характеристик жидкой фазы (снижением pH, вызванным вовлечением гидроксида  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в реакцию химического превращения  $\text{CaS}_n$  в тиосульфат  $\text{CaS}_2\text{O}_3$  и наличием в системе отрицательного редокс-потенциала). Сочетанием этих величин обусловлена специфика твердения, заключающаяся либо в облегчении процесса твердения смесей с высоким Ж/Ц, либо в возникновении кинетических ограничений процесса в смесях с низким Ж/Ц, вызванных высокой по-

Таблица 1

Ж/Ц	Начало схватывания, ч:мин	Конец схватывания, ч:мин	$R_{сж}$ МПа, через 28 сут
Затворитель – вода (контрольный опыт)			
0,25	2:30	3:42	60,4
Затворитель – ИСО			
0,29	2:15	3:10	43,3
0,4	2:30	3:40	54,8
0,6	2:35	3:41	78,6
0,8	2:37	4:00	76,9
1	2:40	2:57	66,2

ляризуемостью в них гидратационно-ионизированного кремнекислородного комплекса. Концентрация кремнезема в растворе в этом случае более чем на порядок превышает таковую в обычных системах.

На основании дифрактограмм продуктов гидратации цемента в ИСЗ при разных отношениях Ж/Ц можно сделать заключение, что в случае с высоким Ж/Ц минимизации кинетических ограничений способствует максимум в смеси массы потенциало-пределяющего  $\text{Sn}^{2-}$ -иона, достаточной для продуцирования в смеси катиона  $\text{Fe}^{2+}$ , модификатора силикатов в течение периода активной гидратации алюмоферрита кальция. Присутствующий в системе при гидратации ион  $\text{Fe}^{2+}$  инициирует образование устойчивых в условиях дефицита в растворе гидроксида  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  силикатов-амфиболов с макроионами  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$  в виде двойных цепей в антофиллите и тремолите, а также слоистых двухмерных макроионов со структурной единицей, отвечающей эмпирической формуле  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$  в апофиллите.

Согласно рентгенограмме, полученной на продуктах гидратации в ИСЗ смеси портландцемента с порошковой фракцией закиси-окси железа, образование гидроалюминатов в условиях дефицита растворенного гидроксида  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  при гидратации в ИСЗ инициируется частичным или полным замещением сульфат-иона в традиционных трех- и односульфатной формах гидросульфалюминатах тиосульфат-ионом с образованием нового типа устойчивых гидроалюминатов. При этом преобладающими соединениями являются низкоосновные гидросиликаты состава  $(0,8-1,5)\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$  с дифракционными максимумами  $(309, 281, 183)\text{d}\cdot 10^{-8}$  м; образуется также гидроалемит  $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$   $(536, 229, 203)\text{d}\cdot 10^{-8}$  м; высокомолекулярный антофиллит  $\text{Fe}_7^{2+}[(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2]$   $(312, 208)\text{d}\cdot 10^{-8}$  м; полисиликат  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2^{5+}[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$   $(858, 273, 203)\text{d}\cdot 10^{-8}$  м и тиосульфатсодержащий гидросульфалюминат  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaS}_2\text{O}_3\cdot x\text{H}_2\text{O}$   $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_4(24-x)\text{H}_2\text{O}$   $(832, 418, 335)\text{d}\cdot 10^{-8}$  м.

Таким образом, возможна гидрохимическая активация портландцемента затворением в ИСЗ, в том числе введением добавок к портландцементу минеральных веществ, содержащих ион  $\text{Fe}^{2+}$ , легко усваиваемый гидратирующей системой за счет встраивания в структуру полисиликатов.

В опытах использовали портландцемент М400 Норильского цементного завода, традиционные крупный и мелкий заполнители, в качестве затворителя – препарат ИСЗ (концентрация серы 180 г/л), добавку, содержащую преимущественно  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , полученную обжигом на воздухе при  $1100^\circ\text{C}$  гидроксида  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , а также металлургические железистые шлаки (содержание зерен от 31,5 мкм до 60 мкм до 93,1%), в которых железо представлено, как правило, ортосиликатами – файолитом или оливином. Химический состав огарка и доменного шлака приведен в табл. 2.

Состав исследуемых образцов бетона М400: вяжущее (цемент или смесь цемента с добавкой) – 16,8%; щебень – 49,8–54,3%, песок – 25,5–27,7%, затворитель – 6,7–13,4%. Содержание цемента и добавок в замесах диктовалось одинаковой подвижностью (осадка конуса 4–6 см).

#### Список литературы

1. Вовк А.И. Гидратация трехкальциевого алюмината  $\text{C}_3\text{A}$  и смесей  $\text{C}_3\text{A}$ –гипс в присутствии ПАВ: адсорбция или поверхностное фазообразование? // *Коллоидный журнал*. 2000. Т. 62. № 1. С. 31–38.
2. Гувалов А.А. Управление структурообразованием цементных систем с полифункциональными суперпластификаторами // *Техника и технология силикатов*. 2011. Т. 18. № 3. С. 24–27.

Таблица 2

Добавка	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{SO}_3$
Огарок	10	6	80	3	0,7	-	0,3
Шлак	39,5	16,3	2,9	34,18	3,7	3,02	0,6

Таблица 3

Ж/Ц	Начало схватывания, ч:мин	Конец схватывания, ч:мин	$R_{сж}$ МПа, через 28 сут
Контрольный опыт (затворитель вода)			
0,8	3:35	4:20	22,2
0,6	2:55	3:55	32,4
0,4	2:35	3:35	40,8
Добавка – огарок (соотношение цемент:огарок = 1:1)			
0,8	2:25	3:30	30,6
0,6	2:16	3:20	34,5
0,4	1:55	2:45	48,7
Добавка – молотый шлак (соотношение цемент:шлак = 1:1)			
0,8	2:36	3:40	38,2
0,6	2:26	3:30	53,1
0,4	2:10	3:10	60,2

Прочность бетона определялась испытанием шести образцов размером  $10\times 10\times 10$  см при сжатии на лабораторном прессе, развивающем максимальную нагрузку  $5\times 10^5$  Н в соответствии с ГОСТом.

Результаты опытов, подтверждающих высокую эффективность технологии высокопрочных бетонов за счет сочетания действия тиосульфида  $\text{CaS}_n$ , содержащегося в затворителе, и добавок минеральных веществ, содержащих  $\text{Fe}^{2+}$ , в составе пылевидного огарка, полученного обжигом на воздухе при  $1100^\circ\text{C}$  гидроксида  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , приведены в табл. 3.

Результаты опытов свидетельствуют о высоком приросте прочности при сжатии (не менее 40%) во всем исследуемом интервале Ж/Ц (от 0,8 до 0,4). При Ж/Ц отношением, равным 0,4, прочность образцов выше марочности используемого цемента.

По результатам проведенных лабораторных и производственных испытаний бетонов был разработан технологический регламент на применение известково-серного затворителя в бетонных смесях.

Технико-экономическая эффективность производства и применения высокопрочных бетонов достигается:

- за счет возможного уменьшения сечения железобетонного элемента и расхода арматурной стали;
- за счет применения ресурсо- и энергосберегающих технологий получения высокопрочного бетона.

Полученные высокопрочные бетоны с использованием окиси-закиси железа, прошли производственное испытание в Норильском промышленном районе при изготовлении монолитного фундамента под оборудование.

#### References

1. Vovk A.I. Hydration of three-calcic  $\text{C}_3\text{A}$  aluminate and the mixes  $\text{C}_3\text{A}$  – plaster at presence surfactant: adsorption or superficial phase formation? *Kolloidnyi zhurnal*. 2000. Vol. 62. No. 1, pp. 31–38. (In Russian).
2. Guvalov A.A. Management of structuration of cement systems with multifunctional super softeners. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2011. Vol. 18. No. 3, pp. 24–27. (In Russian).



3. Калашников В.И., Мороз М.Н., Тараканов О.В., Калашников Д.В., Суздальцев О.В. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами // *Строительные материалы*. 2014. № 9. С. 70–75.
4. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд-во АСВ, 2006. 368 с.
5. Malek K., Coppens M.O. Knudsen self and Fickian diffusion in rough nanoporous media // *Journal of Chemical Physics*. 2003. Vol. 5. Issue 119, pp. 2801–2811.
6. Калашников В.И., Гуляева Е.В., Валиев Д.М. Влияние вида супер- и гиперпластификаторов на релогические свойства цементно-минеральных суспензий, порошковых смесей и прочностные свойства бетонов // *Известия вузов. Строительство*. 2011. № 12. С. 40–45.
7. Классен В.К., Ермоленко Е.П., Новоселов А.Г. Взаимодействие в системах карбонат кальция – щелочные хлориды // *Техника и технология силикатов*. 2009. Т. 16. № 4. С. 7–16.
8. Spitaso N., Page M., Mailvanam N. et al. Superplasticizers for concrete: fundamentals, technology and practice. Quebec – Canada, 2006. 322 p.
9. Бердов Г. И., Ильина Л. В. Взаимодействие силикатных клинкерных минералов с водными растворами электролитов // *Известия вузов. Строительство*. 2012. № 10. С. 3–9.
10. Машкин Н.А. Елесин М.А., Низамутдинов А.Р., Ботвиньева И.П. Гидрохимическое модифицирование бетонных смесей затворением в известково-серном отваре // *Известия вузов. Строительство*. 2013. № 6. С. 16–21.
3. Kalashnikov V.I., Moroz M.N., Tarakanov O.V., Kalashnikov D.V., Suzdaltsev O.V. New ideas about action mechanism of superplasticizers grinded jointly with cement or mineral rocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 9, pp. 70–75. (In Russian).
4. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. Modifitsirovannye vysokokachestvennye betony [The modified high-quality concrete]. Moscow: ASV. 2006. 368 p.
5. Malek K., Coppens M.O. Knudsen self and Fickian diffusion in rough nanoporous media. *Journal of Chemical Physics*. 2003. Vol. 5. Issue 119, pp. 2801–2811.
6. Kalashnikov V.I., Gulyaeva E.V., Valiev D.M. Influence of a look super and hyper softeners on rheological-technology properties of cement and mineral suspensions, powder mixes and strength properties of concrete. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2011. No. 12, pp. 40–45. (In Russian).
7. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Novoselov A.G. Interaction in systems a calcium carbonate – alkaline chlorides. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2009. Vol. 16. No. 4, pp. 7–16. (In Russian).
8. Spitaso N., Page M., Mailvanam N. et al. Superplasticizers for concrete: fundamentals, technology and practice. Quebec–Canada. 2006. 322 p.
9. Berdov G. I., Il'ina L. V. Interaction of silicate brick minerals with water solutions of electrolytes. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2012. No. 10, pp. 3–9. (In Russian).
10. Mashkin N.A. Elesin M.A., Nizamutdinov A.R., Botvin'eva I.P. Hydrochemical modifying of concrete mixes dilution in lime and sulfur liquor. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2013. No. 6, pp. 16–21. (In Russian).

НОВОСТИ

11 февраля 2015 г. на сессии «Применение современных передовых технологий и материалов в российском строительстве», проведенной компанией КНАУФ в рамках Российского инвестиционно-строительного форума, дан старт новому стратегическому проекту



Основными темами сессии стали: модульное жилищное строительство, энергоэффективные технологии возведения малоэтажного жилья и практическое применение современных технологий высотного строительства. Модератором сессии выступил Н.И. Шумаков, Президент Союза московских архитекторов. Докладчики: Е.Л. Николаева, первый заместитель Председателя Комитета Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации по жилищной политике и жилищно-коммунальному хозяйству, Президент Национального агентства малоэтажного и коттеджного строительства; В. Неппле, руководитель компании «Кокун Лайт Стракчурз» (Cocoon Light Structures) – «Легкие конструкции в модульном строительстве», Г.Л. Сирота, главный архитектор ММДЦ «Москва-сити» – «Особенности применения строительных технологий в высотном строительстве», а также Е.В. Пикуль, управляющий компании «ПрофСтальДом», и А.С. Кашубский, генеральный директор «СВЕЗА».

Перед началом сессии **управляющий группы КНАУФ СНГ Я. Краулис и генеральный директор «СВЕЗА» А.С. Кашубский подписали меморандум о создании совместного предприятия между ООО «КНАУФ ГИПС» и ООО «СВЕЗА-Лес» по производству сборных модульных домов в России.** Согласно подписанному документу стороны договорились о создании совместного предприятия с равными долями участия.

Сборные модульные дома будут разрабатываться трех конфигураций: многоквартирные жилые дома с максимальной общей площадью квартиры 80 м<sup>2</sup>; коттеджи с общей площадью 120–150 м<sup>2</sup>; смешанная конфигурация, совмещающая первые два типа домов.

Модульное строительство – это сборка домов на строительной площадке из готовых блоков, основными элементами которых являются легкие стальные конструкции и обшивные материалы с наполнением из изоляционных материалов. Такое здание быстро строится, качественно благодаря своей высокой готовности к моменту монтажа, устойчиво и сейсмически безопасно, отвечает высоким требованиям к экологии жизненного пространства, акустическому комфорту.



# СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР

ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



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

Реклама

## ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

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

автоматическая обработка  
измерений



диапазон 3...100 МПа

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

поверхностное и сквозное  
прозвучивание



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

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

отрыв со скалыванием  
и скалывание ребра

предельное  
усилие 60 кН  
диапазон 5...100 МПа



**ПОС-2МГ4 П**

испытание прочности  
ячеистых бетонов



предельное  
усилие вырыва 2,5 кН

**ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ  
ДИНАМИЧЕСКИЕ**

**ПДУ-МГ4 "Удар"**

и **ПДУ-МГ4 "Импульс"**

определение динамического  
модуля упругости грунтов  
и оснований дорог  
методом штампа,  
диапазон: 5...370 МН/м<sup>2</sup> ("Удар")  
5...300 МН/м<sup>2</sup> ("Импульс")



**Прессы испытательные  
малогабаритные**

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



с гидравлическим приводом  
для испытания бетона,  
асфальтобетона, кирпича  
■ предельная нагрузка  
100 / 500 / 1000 кН  
■ масса 70 / 120 / 180 кг

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

с ручным / электрическим приводом  
для испытания утеплителей на изгиб  
и сжатие при 10% линейной деформации  
■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН  
■ масса 20 / 25 кг

**ПСО-10МГ4 КЛ**

испытание прочности  
сцепления в каменной  
кладке

предельное усилие  
отрыва 15 кН



**АДГЕЗИМЕТРЫ**

**ПСО-МГ4**

испытание прочности  
сцепления покрытия  
с основанием

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



**ИЗМЕРИТЕЛИ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

**ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"**

стационарный  
и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

**АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ**

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

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



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

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



**ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ  
ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

**ИТП-МГ4.03 "Поток"**

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

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



**ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ**

**ВЛАГОМЕР-МГ4**

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



**ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ  
ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА**

**ИПА-МГ4**

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



**ТЕРМОМЕТРЫ**

**ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01**

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



**ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ  
АРМАТУРЫ**

**ДО-40 / 60 / 80МГ4**

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых  
усилий 2...120 кН

диаметр  
арматуры 3...12 мм



**ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ  
В АРМАТУРЕ**

**ЭИН-МГ4**

частотный метод

диаметр  
арматуры 3...32 мм

диапазон 100...1800 МПа



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

В.И. КАЛАШНИКОВ, д-р техн. наук, О.В. СУЗДАЛЬЦЕВ, инженер,  
М.Н. МОРОЗ, канд. техн. наук (mn.moroz80@gmail.com), В.В. ПАУСК, инженер

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)

## Морозостойкость окрашенных архитектурно-декоративных порошково-активированных песчаных бетонов\*

Представлены результаты оценки морозостойкости самоуплотняющегося сверхвысокопрочного цветного порошково-активированного карбонатного мелкозернистого бетона прочностью 140–150 МПа, изготовленного без микрокремнезема. Показательно, что в высокопрочном карбонатном бетоне дисперсный наполнитель, тонкозернистый наполнитель и песок-заполнитель получены из отсева камнедробления известняка и при испытании на морозостойкость он выдержал 1000 циклов попеременного замораживания-оттаивания практически без потери массы и с уменьшением прочности на 2%.

**Ключевые слова:** сверхвысокопрочные бетоны, самоуплотняющийся бетон, архитектурно-декоративный бетон, отделочные материалы, долговечность.

V.I. KALASHNIKOV, Doctor of Sciences (Engineering), O.V. SUZDALTSEV, Engineer,  
M.N. MOROZ, Candidate of Sciences (Engineering) (mn.moroz80@gmail.com), V.V. PAUSK, Engineer  
Penza State University of Architecture and Civil Engineering (28, G. Titova Street, Penza, 440028, Russian Federation)

### Frost Resistance of Coloured Architectural-Decorative Powder-Activated Sand Concretes\*

Results of the assessment of frost resistance of self-compacting, colour, ultra-high-strength, powder-activated, carbonate fine concrete of 140–150 MPa strength produced without microsilica are presented. It is significant that the lime disperse filler, fine lime sand, and lime sand-filler, which are contained in the high-strength carbonate concrete, are produced from the waste of limestone crushing and in the course of testing for frost resistance the concrete withstands one thousand cycles of alternating freezing-thawing practically without weight loss and with the decrease in strength by 2%.

**Keywords:** ultra-high-strength concretes, self-compacting concretes, architectural-decorative concrete, finishing materials, durability.

Самоуплотняющийся архитектурно-декоративный бетон является новейшим отделочным материалом. Он вытесняет отделочную керамику в связи с возможностью изготовления большего размера декоративных изделий не только плоской, но и разнообразной, изогнутой формы (3d) с плавным сопряжением поверхностей. Такой бетон наилучшим образом интегрируется в органичную архитектуру, великолепно вписывается в любой дизайн, включая экстравагантный футуристический, если бетон армируется металлической [1] или неметаллической фиброй. Необходимые реологические свойства бетонной смеси изменяются широким ассортиментом продукции строительной химии.

Из декоративных бетонов, в том числе высокопрочных конструктивных, создаются новые архитектурные контексты в зданиях и сооружениях и в их ансамблях с высокохудожественным оформлением и неповторимым своеобразием. Выпуклости и углубления, распускающиеся цветы на гладкой бесшовной поверхности с игрой света и тени на отделочных элементах сложных форм, отделанных с учетом символики разных стран, национальных мотивов с соответствующим идейным смыслом с филигранными прозрачными рисунками, придающими ощущение легкости огромным зданиям, определяют строительство из декоративного бетона как искусство [2].

Для большинства регионов России необходимы высокопрочные архитектурно-отделочные бетоны. Именно это свойство в архитектурно-декоративных бетонах, как правило, определяет срок их эксплуатации без потери прочностных и эстетических качеств. Под влиянием воздействий окружающей среды архитектурно-декоративные бетоны подвергаются увлажнению и высушиванию, замораживанию-оттаиванию в зависимо-

сти от условий эксплуатации. По теории разрушения пористых материалов от мороза [3], вода в порах бетона при отрицательной температуре кристаллизуется с увеличением объема. Лед создает высокие растягивающие напряжения на стенках пор, что приводит к разрушению материала. Помимо кристаллизационного давления льда, существует теория гидравлического давления воды на стенки пор от увеличения объема льда вследствие вытеснения влаги льдом от поверхности с более низкой температурой внутрь материала с более высокой. Таким образом, величина создаваемых напряжений и, как следствие, морозостойкость бетона зависят от пористой структуры материала. Принято считать, что с увеличением относительного объема резервных пор в объеме бетона, т. е. с увеличением его условно-замкнутой пористости, морозостойкость повышается. Поэтому для достижения высокой морозостойкости в бетонные смеси необходимо вводить воздухововлекающие добавки с целью получения резервных сферических пор. Так, для повышения морозостойкости дорожных бетонов стандарты ряда стран регламентируют содержание вовлеченного воздуха не менее 5% от объема бетона.

Как правило, для бетонов старого поколения марка по морозостойкости не превышает F300–400, что является вполне достаточным для высокой долговечности бетонов. Для архитектурно-декоративных окрашенных бетонов период эксплуатации до исчезновения декоративной выразительности поверхностей значительно сокращается.

В работе ставилась задача существенного повышения морозостойкости без использования воздухововлекающих добавок цветных песчаных бетонов нового поколения на основе отходов камнедробления горных

\* Работа выполнена при поддержке Стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики на 2013–2015 годы (СП-4621.2013.1).

\* The work is executed under support of the RF President's Grants for young scientists and post-graduates carrying out prospective scientific research and developments in priority directions of modernization of the Russian economy for 2013–2015 (SP-4621.2013.1).

пород. Обзор отечественных и зарубежных источников литературы не позволил выявить результаты исследований прочности и морозостойкости самоуплотняющихся архитектурно-декоративных порошково-активированных песчаных сверхвысокопрочных бетонов, в том числе окрашенных. *Исходя из теоретических представлений, разработанных на кафедре «ТСМиД» ПГУАС, саморастекаемость, самоинвентурируемость и самоуплотняемость бетонных смесей определяются содержанием в бетонной смеси высококонцентрированной агрегативно-устойчивой водно-дисперсной суспензии.* Суспензионными бетонами, состоящими из водно-дисперсной суспензии с дискретными включениями тонкого песка, являются достаточно известные порошковые и реакционно-порошковые бетоны. *Все другие песчаные и щебеночные бетоны должны содержать высокое объемное количество водно-дисперсной суспензионной составляющей.* В самоуплотняющихся песчаных бетонах содержание водно-дисперсной суспензии доходит до 40–60%. Объем водно-дисперсной суспензии  $V_{вд}$  состоит из абсолютного объема дисперсии цемента, каменной муки, высокодисперсного пигмента и воды. Объем водно-дисперсно-тонкозернистой суспензии  $V_{вдт}$  складывается из объема водно-дисперсной суспензии и абсолютного объема тонкозернистой породы ( $P_т$ ). Объем воды на эти суспензии условно равен объему воды затворения бетонной смеси. Объемные концентрации этих суспензий  $C_{вд}$  и  $C_{вдт}$  в бетонной смеси равны отношению объемов этих суспензий к объему бетонной смеси. Кроме этих определяющих реологию бетонных смесей характеристик вычислялись условные реологические матрицы первого рода – превышение объема водно-дисперсной суспензии над абсолютным объемом тонкозернистой породы  $I_{П_т}^{вд}$  и условная реологическая матрица второго рода  $I_{П_3}^{вдт}$  – превышение объема водно-дисперсно-тонкозернистой суспензии над объемом песча-заполнителя (дробленого горного песка):

$$I_{П_т}^{вд} = (V_{вд}/P_т) = (V_ц + V_{пм} + V_п + V_в)/V_т;$$

$$I_{П_3}^{вдт} = (V_{вдт}/P_3) = (V_ц + V_{пм} + V_п + V_в + V_т)/V_3.$$

Для проведения эксперимента была изготовлена серия образцов-кубов с размером ребра 100 мм. Состав карбонатного бетона представлен белым цементом (Ц), известняковым дисперсным наполнителем ( $P_м$ ), тон-

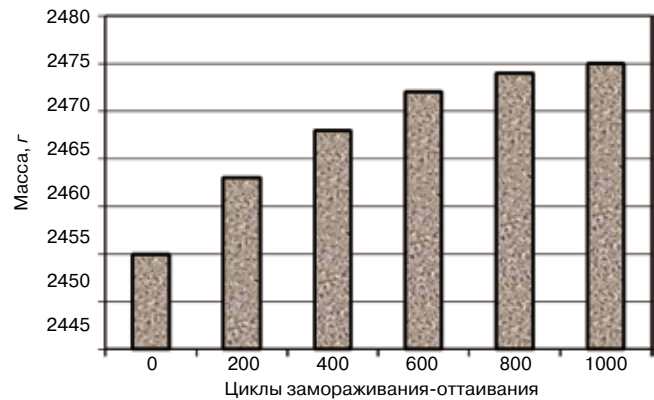


Рис. 1. Изменение массы образца в зависимости от увеличения количества циклов замораживания-оттаивания

ким известняковым песком фракции 0,16–0,63 мм ( $P_т$ ), известняковым песком-заполнителем фракции 0,63–2,5 мм ( $P_3$ ) и пигментом (П). Все компоненты получены из отходов камнедробления плотного известняка фракции 0–5 мм. Дробимость известняка составляла Д1000. Для окрашивания бетона использовался железноокисный пигмент. Бетонная смесь была самоуплотняющейся с осадкой конуса 28 см; объемное содержание водно-дисперсной суспензии ( $C_{вд}$ ) составляло 56%; содержание водно-дисперсно-тонкозернистой ( $C_{вдт}$ ) – 82% (при условном распределении всей воды затворения на каждую суспензию); содержание дробленого известняково-песка-заполнителя всего 18%. Объемная концентрация твердой фазы в объеме бетонной смеси  $C_v^{тв}$  равна 80,2%. Все значения объемных содержаний компонентов и условных реологических матриц бетонов принимали в соответствии с ранее разработанными рецептурами и новыми представлениями о порошково-активированных бетонах с повышенным содержанием суспензионных составляющих [4].

Состав, свойства бетонной смеси и прочностные показатели бетонов представлены в таблице. Из представленных значений следует, что основной всеобъемлющий критерий – удельный расход цемента на единицу прочности при сжатии ( $\Pi_{R_c}^{уд}$ ) является низким для цементосодержащих песчаных высокопрочных бетонов. Обратный

Наименование компонентов	На 1 м <sup>3</sup> , кг	Объем на 1 м <sup>3</sup> , л	В/Ц, В/Т	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\frac{P_м}{Ц}$	$\frac{P_т}{Ц}$	$\frac{P_3}{Ц}$	Прочность МПа $R_{сж}/R_{изг}$ через, сут		
								1	7	28
ПАПБ-23										
Цемент белый Египетский СЕМ 52,5	730	235,4	0,267	$\rho_{вл}$ 1 сут 2454	0,41	0,96	0,64	$R_{сж}=88$ $R_{изг}=12$	$R_{сж}=124$ $R_{изг}=14,6$	$R_{сж}=144$ $R_{изг}=19,7$
Пигмент красный (П), 5% от Ц	36	6,9			$\frac{\Sigma П}{Ц} = 2,01$					
ГП Melflux 5581F 1% от Ц	7	5,4								
Известняк молотый ( $P_м$ ) $S_{уд}=3700$ см <sup>2</sup> /г	300	111,1	0,087	$\rho_{теор}$ 2470 $K_{уп}$ 0,993	$V_{вд} = 553,8$ л $C_{вд} = 56,1\%$ $V_{вдт} = 813$ л $C_{вдт} = 82,3\%$ $C_v^{тв} = 80,2\%$			$\Pi_{R_c}^{уд} = 5$ кг/МПа; $R_{и}^{уд} = 0,2$ МПа/кг $\Pi_{R_и}^{уд} = 36,5$ кг/МПа $R_{сж}/R_{и} = 7,3$		
Песок тонкий известняк ( $P_т$ ), фр. 0,16–0,63 мм	700	259,2								
Песок крупный известняк ( $P_3$ ), фр. 0,63–2,5 мм	470	174								
$\Sigma M_{сж}$ $\Sigma V_{сж}$ Вода	2243 – 195	– 792 195								
$M_{б.с}$	2438	–								
$V_{б.с}$	–	987	$I_{П_т}^{вд} = 2,12$ $I_{П_3}^{вдт} = 4,65$							

ему показатель  $R_{ц}^{уд}$  достаточно высокий. Удельный расход цемента на единицу прочности при изгибе  $\Pi_{Ри}^{уд}$  в два раза меньше, чем у щебеночного бетона класса В40.

Определение морозостойкости проводили согласно ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» по третьей ускоренной методике при насыщении образцов 5% водным раствором хлорида натрия. Испытания осуществляли в независимой лаборатории производственного предприятия ООО «Пензенское управление строительства» в морозильной камере отечественного производства типа КТХ-14 при температуре  $-50^{\circ}\text{C}$  по режиму: 8 ч замораживания, 16 ч оттаивания.

На рис. 1 представлена кинетика изменения массы образца через 200 циклов замораживания-оттаивания, до 1000 циклов включительно.

Анализируя диаграмму, можно говорить о том, что в отличие от потери массы бетонов старого и переходного поколений при испытании на морозостойкость у бетонов нового поколения наблюдается прирост массы после 1000 циклов, равный 0,81% от массы образцов, насыщенных солевым раствором перед началом испытания. Такой прирост массы свидетельствует об отсутствии деструктивных процессов, выраженных отшелушиванием бетона в поверхности и в угловых сопряжениях образцов бетона. Это подтверждается визуальной оценкой образцов-кубов до испытания и после 1000 циклов замораживания-оттаивания (рис. 2), что связано с чрезвычайно низким водопоглощением (0,8% через 3 сут).

Деструктивные процессы, связанные с разрушением образца от мороза, не проявляются, а оттаивание в течение последующих 16 ч после циклов замораживания создает резерв прочности за счет протекающей гидратации цемента. Судя по кинетике изменения массы образцов, можно предположить, что прирост массы после 1000 циклов испытания обусловлен длительным массопоглощением и стабилизируется. Возможно, после 1100–1200 циклов замораживания-оттаивания начнут преобладать деструктивные процессы с потерей массы и прочностных показателей до регламентируемых ГОСТом значений.

Таким образом, результаты эксперимента показывают, что после 1000 циклов замораживания-оттаивания вопреки ожиданиям наблюдается прирост массы образцов без видимых деструктивных изменений. А это гарантирует малую потерю прочности или сохранение ее. В этой связи было необходимым доказать отсутствие существенных деструктивных процессов и изменения прочности. Нормативный предел прочности при сжатии исследуемого бетона после 28 сут твердения в нормально-влажностных условиях составлял 144 МПа, а к моменту окончания испытания на морозостойкость контрольные образцы, хранившиеся в солевом растворе, имели прочность 165 МПа. После 1000 циклов замораживания-оттаивания прочность образцов бетона уменьшилась до 162 МПа, т. е. потеря прочности составила всего 2%, что находится в пределах ошибки опыта. Это подтверждает высказанную гипотезу (по результатам прироста массы образцов) о том, что конструктивные процессы структурообразования в высокоплотных, сверхвысокопрочных бетонах, бесспорно, продолжают и в жестких условиях эксплуатации. Деструкция не проявляется по результатам изменения масс не только под воздействием расширения поглощенной воды при переходе ее в лед, но и в результате расшатывания структуры материала при знакопеременном температурном расширении-сжатии компонентов бетона с различными коэффициентами температурного расширения (третья гипотеза разрушения материала от мороза). Закономерно и то, что в таком бетоне имеется достаточное количество резервных пор без использования воздуховывлекающих добавок, обязательно рекомендуемых к применению стандартами всех стран для дорожных бе-

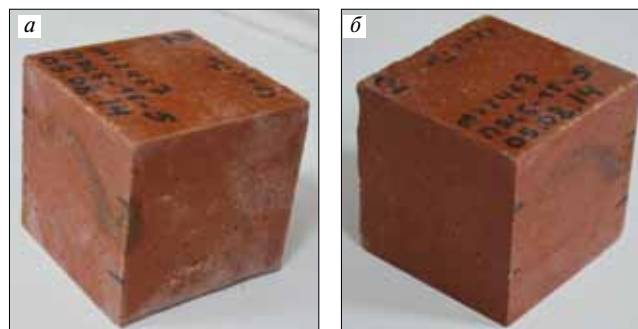


Рис. 2. Внешний вид образцов окрашенного порошково-активированного песчаного бетона после испытания на морозостойкость: а – образец, насыщенный в солевом растворе (перед началом испытания); б – образец после 1000 циклов замораживания-оттаивания

тонов старого поколения. В бетонах это количество пор может быть небольшим, но вполне достаточным для размещения выдавливаемой в них воды в количестве 10% от всей поглощенной воды. А водопоглощение разработанных бетонов чрезвычайно мало – 0,8–1,5% от массы, т. е. в 4–6 раз меньше, чем в бетонах старого поколения. Температурных напряжений и расшатывания структуры практически быть не должно, так как использована одна и та же горная порода для получения муки, тонкого песка и песка-заполнителя. Почти все компоненты различного размерного уровня имеют одинаковый коэффициент температурного расширения, за исключением цементного камня. А это дает основания утверждать, что морозостойкие бетоны являются также термостойкими, изготовленными преимущественно из одинаковых по природе компонентов. Высокая термостойкость бетонов в диапазоне температуры до  $800^{\circ}\text{C}$  доказана авторами на примере самоуплотняющегося порошково-активированного жаростойкого бетона, все компоненты которого изготовлены из шлака [5].

Кроме изучения морозостойкости архитектурно-декоративных порошково-активированных песчаных бетонов была изучена возможность сохранения декоративного вида поверхности путем поверхностной гидрофобизации. Результаты исследования представлялись особенно интересными исходя из того, что ранее (в работе [6]) было показано, что ни поверхностная, ни объемная гидрофобизация существенно не влияет на морозостойкость. Но эти исследования производились на минерально-шлаковых, достаточно пористых прессованных бетонах с маркой по морозостойкости не более F400–500. Поэтому было исследовано влияние поверхностной гидрофобизации на морозостойкость высокопрочных порошково-активированных песчаных бетонов. Для этого при испытании образцов на морозостойкость часть из них была пропитана в два слоя гидрофобизирующим раствором «Пента-824» с уайт-спиритом в соотношении 1:1. Результаты эксперимента на протяжении испытания на морозостойкость, до 1000 циклов замораживания-оттаивания включительно, не позволили выявить различия в показателях гидрофобизированных и контрольных составов, у которых наблюдался адекватный прирост прочности и массы образцов. Несмотря на снижение водопоглощения, особенно в первые сутки экспонирования бетона в воде, поверхностная гидрофобизация не оказывает заметного влияния на повышение морозостойкости сверхвысокопрочных порошково-активированных песчаных бетонов. Но важным преимуществом поверхностно-пропиточной гидрофобизации является лучшее сохранение внешнего вида поверхности бетона. Учитывая, что гидрофобизированные архитектурно-декоративные бетоны, поверхность которых не будет подвергнута воздействию солевого раствора NaCl, постоянному действию отрицатель-



Рис. 3. Испытание образца-куба с ребром 100 мм окрашенного порошково-активированного песчаного бетона после 1000 циклов замораживания-оттаивания при предельной нагрузке 162 т: а – начало испытания образца; б – момент пылеобразования при «взрывном» разрушении; в – образец после разрушения

ной температуры, равной  $-50^{\circ}\text{C}$ , а лишь периодическому действию одностороннего косога дождя, можно с уверенностью гарантировать на долгие годы эффективность защитного покрытия гидрофобизированного слоя.

Для разработанных архитектурно-декоративных порошково-активированных песчаных бетонов характерны не только рекордные показатели прочности и морозостойкости, но и необычная картина разрушения образцов (рис. 3).

Отмечается, что при нагрузке 162 т на кубический образец с ребром 100 мм происходит его «взрывное» разрушение с образованием большого количества пыли и разлетающихся осколков бетона.

Это свидетельствует о высокой хрупкости бетона. Для архитектурно-декоративных бетонов сверхвысокая прочность определяет и высокую функциональность бетона: низкие усадочные деформации, высокую коррозионную стойкость и водонепроницаемость, низкую ползучесть. Усадка исследуемого бетона чрезвычайно низкая – 0,3 мм/м, водонепроницаемость более W20. Что касается высокой хрупкости бетона, которую часто оценивают по отношению прочности на сжатие  $R_{сж}$  к прочности на осевое растяжение или к прочности на растяжение при изгибе  $R_{и}$ , то  $R_{сж}/R_{и} = 7,3$ . У бетона с  $R_{сж} = 50$  МПа это отношение равно 7.

#### Список литературы

1. Даниель Пфедфер Серафим. Использование бетона, армированного стекловолокном в конструкциях с высокими архитектурными требованиями. *СРІ. Международное бетонное производство*. 2012. № 2. С. 130–134.
2. Цветы из бетона. Новое здание музея Форарльберга в Брегенце. *СРІ. Международное бетонное производство*. 2013. № 5. С. 24–26.
3. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. Л.: Стройиздат, 1983. 131 с.
4. Калашников В.И., Суздальцев О.В., Дрянин Р.Н., Сехпосян Г.П. Роль дисперсных и тонкозернистых наполнителей в бетонах нового поколения // *Известия вузов. Строительство*. 2014. № 7. С. 11–21.
5. Kalashnikov V., Kornienko P., Gorshkova L., Gakshteter G., Sarsenbayeva A. Development of compositions of self-compacting fine-grained refractory concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2014. Vol. 12, pp. 299–309.
6. Мороз М.Н., Калашников В.И., Петухов А.В. Морозостойкость гидрофобизированных бетонов. *Молодой ученый*. 2014. № 19. С. 222–225.
7. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатуллин А.Р., Харченко И.Я. Карбонатные цементы низкой водопотребности — зеленая альтернатива цементной индустрии России // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 76–83.

Хрупкий характер разрушения легко устраняется стальной, минеральной и углеродной фиброй. Важно то, что при исключении из состава АДБ пигмента такой бетон может быть конструкционным (для изготовления железобетонных конструкций) без использования дефицитного и дорогостоящего микрокремнезема, т. е. без использования нанотехнологической платформы.

Аналогичные высокопрочные самоуплотняющиеся неокрашенные бетоны получены авторами при использовании в качестве всех дисперсных и зернистых компонентов из гранита, мрамора, базальта, диабазы и т. п.

В настоящее время появились карбонатные цементы низкой водопотребности, полученные совместным доломом цемента с известняком, с использованием которых получены высокопрочные бетоны [7]. Как следует из полученных результатов, при расширении возможности использования прочных известняков на всю номенклатуру дисперсно-зернистых компонентов мелкозернистого бетона могут быть достигнуты очень высокие технические показатели.

**Технология порошковой активации является наиболее перспективной и будет развиваться, как бы долго ни выпускались в России бетоны старого поколения с СП. Главное то, что все компоненты, кроме цемента, получены из огромных отходов камнедробления.**

#### References

1. Daniel Pfeffer Seraphim. The use of glass fiber reinforced concrete in structures with high architectural requirements. *SPI. Mezhdunarodnoe betonnoe proizvodstvo*. 2012. No. 2, pp. 130–134. (In Russian).
2. Flowers made of concrete. The new museum building in Vorarlberg Bregenz. *SPI. Mezhdunarodnoe betonnoe proizvodstvo*. 2013. No. 5, pp. 24–26. (In Russian).
3. Kuntcevich O.V. Betony vysokoj morozostojkosti dlja sooruzhenij Krajnego Severa [Concrete structures for high frost resistance of the Far North]. Leningrad: Stroizdat. 1983. 131 p.
4. Kalashnikov V.I., Suzdaltsev O.V., Dryanin R.A., Sehposyan G.P. The role of dispersed and fine-grained fillers in concrete new generation. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2014. No. 7, pp. 11–21. (In Russian).
5. Kalashnikov V., Kornienko P., Gorshkova L., Gakshteter G., Sarsenbayeva A. Development of compositions of self-compacting fine-grained refractory concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2014. Vol. 12, pp. 299–309.
6. Moroz M.N., Kalashnikov V.I., Petukhov A.V. Frost resistance hydrophobized concrete. *Molodoj uchenyj*. 2014. No. 19, pp. 222–225.
7. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizatullin A.R., Kharchenko I.J. Carbonate Cements of Low Water-Need is a Green Alternative for Cement Industry of Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 76–83. (In Russian).

## Новый ГОСТ гипсокартона КНАУФ

Сегодня гипсокартон – это известный отделочный материал, который используется повсеместно и воспринимается как нечто простое, само собой разумеющееся.

На самом деле современный КНАУФ-лист далеко не так прост, как это может показаться на первый взгляд. С момента изобретения он превратился в наукоемкий продукт, в состав которого входит до 18 компонентов. Например, сердечники листов содержат гидрофобные добавки, которые снижают водопоглощение. Это позволяет использовать его в условиях повышенной влажности – в ванных комнатах и кухнях. Огнестойкие КНАУФ-листы содержат стекловолокно, оно повышает прочностные характеристики гипсового сердечника, что позволяет дольше сопротивляться открытому пламени и не разрушаться от нагревания. Широкий ассортимент типов листов решает самые разнообразные задачи в области внутренней отделки, например в звукоизоляции и даже рентгенозащиты.

Несмотря на все вышеперечисленное, компания КНАУФ продолжает двигаться вперед. Три года назад в сотрудничестве с КНАУФ был разработан новый межгосударственный стандарт ГОСТ 32614–2012 «Плиты гипсовые строительные». Этот стандарт отвечает самым современным требованиям, предъявляемым производителям гипсокартона в Евросоюзе и странах СНГ. В 2012 г. документ был принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (МНТКС). За его принятие проголосовали национальные органы государственного управления строительством России, Азербайджана, Армении, Киргизии, Молдовы, Таджикистана и Узбекистана. Новый стандарт введен в действие на территории РФ с января 2015 г.

По сути, этот документ – европейский стандарт, модифицированный под местные условия регионов и стран. В нем прописаны термины, технологические способы испытаний и требования к качеству гипсокартона. Примечательно, что прежний ГОСТ 1999 г. был разработан также при участии компании КНАУФ в сотрудничестве с ОАО «ВНИИИстром им. П.П. Будникова». Но отличия в новом документе существенные. Теперь гипсокартонные листы получили название «строительные гипсовые плиты». Несмотря на то что картон исчез из наименования, в стандарте производства он остался «прямоугольным изделием, состоящим из гипсового сердечника и из приклеенного плотного, способного к сопротивлению картону».

Значительно увеличено количество типов гипсокартона. Теперь их восемь против четырех, обозначенных в предыдущем стандарте (обычный, влагостойкий, огнестойкий и влагоогнестойкий). Новые типы могут произвольно сочетаться друг с другом,

что дает возможность создавать еще более разнообразные КНАУФ-листы.

Типы гипсокартона по новому ГОСТу:

тип А – материал, соответствующий обычному листу ГКЛ;

тип Н – плиты зеленого цвета с пониженным водопоглощением;

тип F – огнестойкие плиты для облицовки конструкций в помещениях с повышенной пожарной опасностью;

тип D – плиты с заданной плотностью в зависимости от условий применения;

тип I – плиты с повышенной твердостью поверхности;

тип E – фасадные плиты, имеющие пониженное водопоглощение и минимальную паропроницаемость;

тип P – плиты, рассчитанные на нанесение гипсовой штукатурки, лепнины, керамической плитки;

тип R – плиты с повышенной прочностью при изгибе в поперечном и продольном направлениях.





Например, гипсокартонные листы зеленого цвета теперь называются «гипсовые строительные плиты влагостойкие типа Н» и подразделяются на классы Н1, Н2 и Н3 с предельным водопоглощением 180, 220 и 300 г/м<sup>2</sup> соответственно. Тип Н2 в точности совпадает по характеристикам с ГКЛВ из предыдущего ГОСТа. Плиты типа Н, так же как и влагостойкий лист, в случае их использования в условиях с влажным режимом эксплуатации необходимо защищать с лицевой поверхности гидроизоляцией, водостойкими грунтовками, керамической плиткой. ГКЛО присвоено длинное название «гипсовые плиты заданной плотности с повышенной стойкостью гипсового сердечника при воздействии открытого пламени» с обозначением DF. Бывший ГКЛВО имеет те же характеристики, а в новом названии – буквенный код DFН2.

В нормативе в зависимости от типа изменились и размеры плит. Плиты типа Р могут быть самыми узкими из всех видов плит – их номинальная ширина начинается от 400 мм. Впрочем, выпускаются будут и плиты стандартной для КНАУФ-листов ширины 600 и 1200 мм.

Из новшеств в стандарте также можно отметить появление гипсовых плит типа Е – это листы, имеющие пониженное водопоглощение. Поэтому они должны отвечать требованиям, которые предъявляются к плитам типа Н1, Н2 и Н3. Кроме того, они обладают пониженной паропроницаемостью, впитывают влагу из воздуха меньше, чем обычный гипсокартон. Такие плиты предназначены для использования в качестве фасадной отделки элементов наружных

стен, которые длительное время не подвергаются воздействию внешних атмосферных факторов: стены возле входной группы, защищенной козырьком, или части фасада, расположенные под стилобатом. Нанесение декоративного покрытия на плиты не предусмотрено.

Гипсовые плиты типа F рекомендуется применять для облицовки конструкций в помещениях с повышенной пожарной опасностью или в местах, где нужна качественная противопожарная защита.

Плиты типа А – материал, соответствующий обычному листу ГКЛ; плиты типа D – листы с заданной плотностью в зависимости от условий применения. Тип I обладает повышенной твердостью поверхности, а тип R – повышенной прочностью при изгибе в поперечном и продольном направлениях.

А вот появление нового вида кромки со срезанным углом (в буквенном обозначении – СК) – следующий шаг в технологии

работ с гипсокартоном. Раньше углы на прямых торцевых и продольных кромках обрезались непосредственно на объекте, причем использовались обычные ножи. Пренебрегали также грунтованием готовых обрезных фасок, что приводило к снижению прочности заделанного шпаклевкой стыка. Теперь наряду с плитами с кромкой ПЛУК, отвечающей немецкому стандарту качества, могут выпускаться плиты со срезанной кромкой. Это обеспечивает дополнительное удобство в работе и прочные стыки между листами с углублением под шпаклевку.

Правила транспортировки, упаковки и маркировки не изменились. Впрочем, надежные производители, такие как КНАУФ, за этим тщательно следят независимо от ГОСТов.

Неизменной в новом ГОСТе осталась пожарно-техническая характеристика – группы горючести, воспламеняемости и дымообразующей способности остались прежними. Расширены сведения об испытаниях гипсовых строительных плит в соответствии с европейскими правилами стандартизации, но это мало что изменяет в процессе эксплуатации материалов.

Рядовому потребителю, конечно, будет непросто найти разницу между листами, произведенными по прежнему стандарту, и плитами, выполненными с учетом новых норм. Но профессионалы непременно оценят возможности, которые открывает перед ними новый стандарт. Тем более что заводы КНАУФ в России уже перешли на производство КНАУФ-листов по новому ГОСТу.

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

## Несъемная опалубка «ПЛАСТБАУ-3».

# Перспективы малоэтажного монолитного домостроения в России

В настоящее время вопрос строительства малоэтажного энергоэффективного, экономичного и экологичного жилья стоит как никогда остро. Реализация федеральных жилищных программ, развитие внутреннего туризма, строительство малоэтажных гостиниц в туристических зонах, кемпингов, мотелей – все это способствует развитию строительства зданий в сжатые сроки и повышает спрос на современные строительные технологии и материалы.

Монолитное строительство является одним из самых распространенных и популярных способов возведения зданий. Метод несъемной опалубки привлекает все большее внимание строительных организаций скоростью строительно-монтажных работ, доступностью применяемых материалов, высокими теплотехническими свойствами ограждающих конструкций. При неуклонном росте цен на тепло- и энергоносители с каждым годом проблема сбережения ресурсов становится острее. Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций должны быть одними из решающих факторов при выборе технологии строительства и применяемых материалов.

С конца 1990-х гг. в России начала развиваться и внедряться технология монолитного домостроения, и в частности одна из ее разновидностей – технология несъемной опалубки. В РФ эта технология заняла довольно устойчивую нишу, в которой успешно работают компании малого и среднего бизнеса. В настоящее время насчитывается около 20 компаний, занимающихся продвижением технологии несъемной опалубки.

По мнению специалистов, основным фактором, сдерживающим развитие данной технологии, является отсутствие в РФ нормативной базы, регулирующей ее применение. Дальнейшее развитие строительства с несъемной опалубкой получит при объединении усилий основных компаний, продвигающих технологию, и создании современной нормативной базы.

Одним из поставщиков решений по монолитному домостроению выступает ЗАО «Узловский завод строительных конструкций», выпускающий строительные конструкции по технологии «ПЛАСТБАУ-3» швейцарской компании PLASTEDIL S.A.

Производственная мощность завода составляет 120 тыс. м<sup>2</sup> стеновых элементов и 120 тыс. м<sup>2</sup> элементов перекрытия в год, из которых может быть построено ориентировочно 50 тыс. м<sup>2</sup> жилья в год.

Применение конструкций «ПЛАСТБАУ-3» позволяет решать проблемы экономии тепла и энергии, открывает широкие перспек-

тивы быстрого, экономичного и качественного строительства и дает возможность воплотить различные архитектурные решения и геометрические формы.

Использование при строительстве капитального жилья системы «ПЛАСТБАУ-3» позволяет:

- снизить стоимость строительства на 10–15 %;
- сократить срок строительного цикла на 15–20 %;
- использовать местную сырьевую базу;
- экономить трудозатраты;
- решать вопросы энергоэффективности и отопления здания, что обходится в среднем на 40 % дешевле традиционного;
- получать высокие эксплуатационные характеристики зданий;
- выбирать различные архитектурно-планировочные и конструктивные решения.

Назначение строительных конструкций «ПЛАСТБАУ-3»:

- жилищное и промышленное строительство;
- строительство зданий и сооружений различного назначения (торговых, производственных, офисных, лечебных, туристических и образовательных учреждений);
- строительство жилых зданий высотой до 50 м (16–17 этажей);
- строительство индивидуальных домов;
- надстройка этажей на существующих зданиях без усиления фундаментов и стен при наличии запаса прочности уже существующих конструкций;
- строительство в условиях вечной мерзлоты, на приподнятом от рельефа каркасе, в труднодоступных регионах Севера, Западной и Восточной Сибири.

Формообразование зданий, проектируемых с применением системы, осуществляется по правилам координации размеров, действующим в крупнопанельном домостроении. Основные координационные размеры зданий с применением системы:

- планировочный модуль – 1,2 м;
- высотный модуль – 0,15 (0,1) м;
- шаг несущих каркасных стен – до 9 м с модулем 0,2 м;
- высота помещений (от пола до потолка) – до 4,2 м;
- привязка наружных стен к координационным осям зданий нулевая.

Техническое решение системы основано на совместном применении ненесущих крупноразмерных элементов стен и перекрытий из ППС заводского изготовления и несущих монолитных железобетон-



Рис. 1. Мини-отель в Абхазии



Рис. 2. Жилой дом в Москве





Рис. 3. Коттедж

ных каркасных конструкций построечного изготовления, для которых элементы из ППС выполняют функции неизвлекаемой опалубки.

Для стен используются элементы из ППС шириной до 1200 мм и высотой на этаж. Для внутренних стен, как правило, применяются элементы из ППС, используемые в наружных стенах, а для перегородок – элементы из ППС шириной до 1200 мм, высотой на этаж и толщиной до 150 мм. Кроме того, эти элементы используются для теплозащиты и звукоизоляции помещений.

Для устройства перекрытий и покрытий используются элементы из ППС длиной до 9000 мм, шириной 600 мм и толщиной 200 мм. Элементы предназначены для укладки как на горизонтальную, так и на наклонную поверхности.

Характеристики бетона и арматуры в перекрытиях (покрытиях), схемы армирования плит, ребер и обвязочных балок, конструкции арматурных каркасов и их стыковых соединений устанавливаются расчетным путем на основе российских нормативных документов.

После завершения работ по бетонированию стен и перекрытий (покрытий) образуется пространственная система перекрестных



Рис. 4. Складские помещения

железобетонных рам, объединенная дисками железобетонных перекрытий, которая в сочетании с лестничными клетками, лифтовыми шахтами и другими элементами жесткости обеспечивает пространственную жесткость системы.

Рабочие поверхности элементов стен (перегородок) и перекрытий (покрытий) из ППС защищаются от внешнего воздействия любыми отделочными материалами.

Благодаря высоким эксплуатационным показателям этой технологии с каждым годом растет объем выпускаемой продукции и расширяется география ее применения. В настоящее время по технологии «ПЛАСТБАУ-3» возводятся здания в Москве и Санкт-Петербурге, Саратове и Оренбурге, Ставрополе и Краснодаре, Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском АО, Казахстане, Туле, Липецке, Воронеже, Калуге, Твери, Нальчике, Черкесске и др.

За время пуска завода в эксплуатацию было построено более 140 сооружений – мини гостиниц (рис. 1), жилых домов (рис. 2, 3), административных зданий, складских помещений и магазинов (рис. 4).



# ЧТО?

## Что из себя представляет технология Пластбау?

«ПЛАСТБАУ-3» – это новая архитектурно-строительная система. Она относится к технологиям монолитного и сборно-монолитного строительства. Несущие элементы образуют монолитную железобетонную пространственную систему, состоящую из продольных и поперечных стен, ребристых перекрытий и обвязочных рам, предназначены для связки стены и перекрытия здания. Основу системы составляют арматурные каркасы пенополистирольные плиты высокой плотности.





### Почему стоит выбрать Пластбау?

Э<sup>3</sup>

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ЭКОНОМИЧНОСТЬ  
ЭКОЛОГИЧНОСТЬ**

ЗАО «Узловский завод строительных конструкций»  
301600, Тульская область, г. Узловая, ул. Тульская, 1а  
[www.plastbau.ru](http://www.plastbau.ru)

ООО Торговый Дом «Пластик»  
115035, Москва, ул. Пятницкая 18, корп. 3  
Тел. +7(495) 201-03-33  
e-mail: [info@td-plastic.ru](mailto:info@td-plastic.ru)  
[www.oaoplastic.ru](http://www.oaoplastic.ru)

Реклама

# ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ

## лучшая основа для производства современных сухих строительных смесей



Применение в рецептуре сухих строительных смесей высокопрочного гипса позволяет придать продуктам высокие прочность и адгезию, обеспечить отсутствие усадки и растрескивания.

### Преимущества применения ГВВС в штукатурках:

- Низкий расход смеси (до 6,5 - 7 кг на кв.м);
- Высокая прочность;
- Повышение пластичности;
- Трещиностойкость;
- Белый цвет минимизирует затраты на последующую отделку;
- Выделение большего количества гипсового молочка при гляцевании - не требует шпатлевания;
- Снижение трудозатрат в 1,5 раза за счет низкой плотности.

### Преимущества применения ГВВС в наливных полах:

- Прочность от 20 МПа;
- Трещиностойкость;
- Лучшая текучесть (до 50%) в сравнении с низкомарочным гипсом;
- Время технологического прохода через 4 часа;
- Применение для первоначального и финишного выравнивания.

### Преимущества применения ГВВС в шпатлевках:

- Пластичность;
- Высокая адгезия (более 0,5 МПа);
- Гарантированная тонина помола не более 1% на сите 0,2;
- Высокая белизна;
- Нанесение гладким слоем без полос – сокращает затраты на повторное выравнивание.

### Преимущества применения ГВВС в монтажных клеях:

- Высокая прочность от 10 МПа;
- Уменьшение количества (либо полное исключение) полимерного порошка в составах ССС;
- Дополнительное армирование конструкции;
- Возможность шпатлевания стыков за счет тонкой дисперсности.



**Ленгесов Дмитрий Николаевич** –  
руководитель направления отрасли  
производителей сухих строительных смесей

тел.: +7 (846) 269-64-25 (доб. 4234)  
моб.: +7 (927) 002-38-98  
e-mail.: lengesov@samaragips.ru



ЗАО «Самарский Гипсовый Комбинат»  
г. Самара, ул. Береговая, 9А  
www.samaragips.ru

В.В. БЕЛОВ, д-р техн. наук, С.Л. СУББОТИН, д-р техн. наук, П.В. КУЛЯЕВ, инженер (p.kuliaev@yandex.ru)  
Тверской государственной технической университет (170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22)

## Прочностные и деформативные свойства бетонов с карбонатными микрозаполнителями

При проектировании некоторых типов железобетонных конструкций, таких, например, как мембраны и оболочки, критическим является знание картины развития напряженно-деформированного состояния в бетоне при действии сжимающих нагрузок. В данной статье описано изучение деформативных свойств бетонов с тонкодисперсным известняковым компонентом, таких как краткосрочные и длительные ползучесть и усадка в упругой и неупругой областях развития и их сравнение с бездобавочными бетонами. Из прочностных свойств изучаются такие, как напряжения при начале трещинообразования и предел кубиковой прочности на сжатие. Сравнение теоретических расчетов с опытными данными приводится на основе феноменологического подхода к решению подобного рода задач.

**Ключевые слова:** бетон, известняковый микрозаполнитель, деформации ползучести и усадки, мера ползучести, характеристика ползучести.

V.V. BELOV, Doctor of Sciences (Engineering), S. L. SUBBOTIN, Doctor of Sciences (Engineering), P. V. KULYAEV, Engineer (p.kuliaev@yandex.ru)  
Tver State Technical University (22, Afanasyi Nikitin Embankment, Tver, 170026, Russian Federation)

### Strength and Strain Properties of Concrete with Carbonate Microfillers

Knowledge of the stress-strain state distribution in concrete with limestone fines under compression is crucial for the design of certain kinds of reinforced concrete members, such as shells and membranes. The study focuses on strain characteristics of concrete with limestone fines, such as short-term and long-term creep and shrinkage, in elastic and plastic areas of their development, with comparison to ordinary concretes. The article enlightens such stress properties, as crack resistance and cubic strength. The comparison of theoretical figures with test data is drawn on the basis of phenomenological approach to solution of similar tasks.

**Keywords:** concrete, limestone microfillers, creep and shrinkage strains, creep modulus, creep characteristic.

Из всего разнообразия используемых в строительной индустрии конструкций можно выделить облегченные пространственные конструкции, например мембраны и оболочки, большепролетные конструкции, такие как арки и рамы, монолитные железобетонные покрытия больших цехов, стадионов, спортзалов, высотные конструкции в виде мачт и башен и многоэтажные гражданские здания из монолитного бетона. При возведении данных конструкций имеет место наиболее высокий расход товарного бетона, при этом требование улучшения деформативных и прочностных характеристик на единицу массы такого бетона является наиболее жестким. Удовлетворить эти противоречивые требования помогают новые подходы к рецептурам строительных композиций, в частности широкое использование наполнителей и микрозаполнителей [1], в том числе на основе вторичных техногенных и местных сырьевых ресурсов [2].

Одним из таких материалов, используемых в качестве заполнителя и наполнителя тяжелых и мелкозернистых бетонов, является известняк. Известняковый тонкодисперсный компонент используется в качестве замены части вяжущего, тем самым способствуя экономии дорогостоящего цемента, а использование карбонатного заполнителя, обладающего меньшей плотностью в сравнении, например, с гранитным щебнем, ведет к снижению веса конструкции, что в отношении к эффективности использования строительных конструкций является весьма актуальным [3].

Использование известняка в качестве замены части вяжущего и тонкодисперсного наполнителя в бетонах с изучением прочностных свойств освещено во многих работах отечественных [2, 4] и зарубежных [1, 5] авторов. Ряд работ посвящен изучению свойств конкретных конструкций из бетона с карбонатным микрозаполнителем, к прочностным свойствам которых предъявляются повышенные требования. К таким, например, относятся конструкции из преднапряженного железобетона [6]. К работам, освещающим опыты по изучению деформативных свойств бетонов с известняковым микрозаполнителем, в которых отражен довольно узкий

спектр изменяющихся исходных параметров, без вариации водотвердого отношения или процентного содержания известнякового наполнителя в вяжущей части относится [7].

В связи с этим важным представляется исследование бетонов с минеральными добавками в виде известнякового микрозаполнителя с изучением влияния разнообразных факторов на физико-механические свойства с целью прогноза эксплуатационных и надежностных показателей [8, 9]. Такое исследование позволит дать надежную оценку деформативных свойств бетонов с карбонатным микрозаполнителем. Эти свойства характеризуются деформациями ползучести и усадки. На данные деформации существенно влияют многочисленные факторы, главными из которых являются водотвердое отношение, максимальный размер и минералогическая природа [8] заполнителя, состав и тонкость помола вяжущего, влажность, возраст бетона и величина изменения прикладываемой нагрузки. Влияние таких параметров, как структура, состав бетона, процентное содержание пластифицирующих и минеральных добавок и технология введения их в матрицу бетона, изучалось в работах [11, 12]. В [13] отмечается влияние известнякового тонкодисперсного наполнителя на реологические и технологические свойства бетона.

Деформации ползучести очень существенно влияют на работу и устойчивость конструкций с применением бетона, и важно правильно оценивать ту или иную роль тонкодисперсного карбонатного компонента в развитии деформаций так называемой кратковременной и долговременной ползучести. Поскольку не существует физической теории, способной количественно описать ползучесть и изменения физико-механических свойств бетона во времени, помимо вероятностно-стохастических подходов к данной проблеме, используются так называемые феноменологические подходы к исследованию ползучести и усадки, заключающиеся в сопоставлении теоретических данных с экспериментальными [7].

В данной работе, выполненной в Тверском государственном техническом университете, представлены ре-

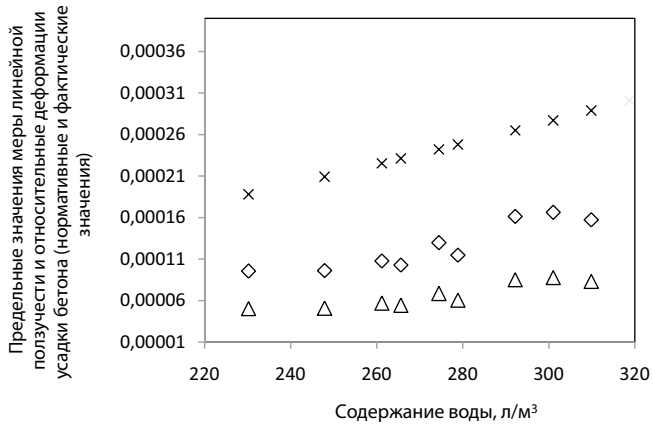


Рис. 1. График зависимости деформативных характеристик бетона  $C_{cr}(28)_n$ ,  $C_{cr}(28)_ф$  и  $\epsilon_{срф}$  от фактического содержания воды в смеси, л/м<sup>3</sup>

зультаты такого подхода, в котором в теоретической части рассчитаны значение начального модуля упругости бетона при нагружении  $E_b$  в возрасте  $t$ , расчетные предельные значения линейной меры ползучести  $C_{cr}(28)_ф$ ; расчетные предельные значения относительной усадки  $\epsilon_{срф}$ , а в экспериментальной – определены фактические деформации для десяти вариантов приготовления мелкозернистой бетонной смеси на основе карбонатного заполнителя – песка с крупностью зерен от 0,16 до 5 мм и фракционным составом, отвечающим максимально плотной упаковке частиц и подобранным согласно оптимальной гранулометрической кривой Функа-Дингера, а также с карбонатным микрозаполнителем – тонкомолотым известняком с удельной поверхностью 550 м<sup>2</sup>/кг по ПСХ-11. Расход воды определялся исходя из равноподвижности смесей, соответствующей расплыву конуса на встряхивающем столике по стандартной методике 120 мм. Экспериментальные составы бетонной смеси приведены в табл. 1.

Предел прочности бетона на сжатие определялся на образцах-кубах 7×7×7 см в возрасте 20 суток. По фактическому количеству воды затворения рассчитывалось нормативное значение меры линейной ползучести бетона по формуле, взятой из «Методических рекомендаций по расчету напряженного состояния железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом ползучести и усадки бетона, № 1987-04-06, ЦНИИС, 2011», далее Рекомендаций, для каждого из десяти опытных составов:

$$C_{cr}(28)_n = K_c \times \frac{W + V}{4 + B}, \quad (1)$$

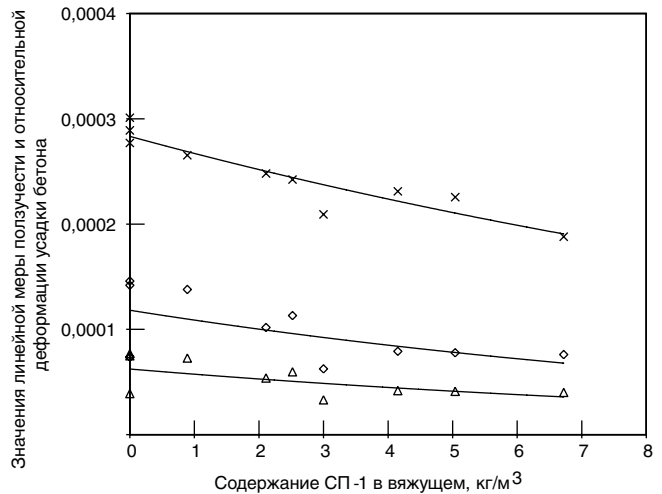


Рис. 2. График зависимости деформативных характеристик бетона  $C_{cr}(28)_n$ ,  $C_{cr}(28)_ф$  и  $\epsilon_{срф}$  от фактического содержания СП-1 в вяжущей части, %

где,  $K_c$  – безразмерный коэффициент, для мелкозернистых и тяжелых бетонов  $K_c = 15,5 \cdot 10^{-6}$ ;  $W$  – удельное (по объему) количество воды затворения в смеси, л/м<sup>3</sup>;  $V$  – удельное по объему количество вовлеченного воздуха в уплотненной бетонной смеси, для бетонов с суперпластифицирующими добавками принимается равным 10 л/м<sup>3</sup>. На рис. 1 показана соответствующая зависимость.

С увеличением фактического содержания воды в смеси (рис.1), соответствующие показатели деформативности бетона, как правило, возрастают, но при увеличении содержания тонкодисперсного известнякового компонента в вяжущей части, эти показатели, особенно в краткосрочный период, имеют тенденцию к выравниванию и снижению. Это объясняется более равномерным распределением гранул цемента, примерно той же фракции, в объеме теста, их обволакиванием частицами известняка, и, следовательно, пролонгацией процесса гидратации. Данное утверждение справедливо для всех партий, независимо от состава и процентного содержания суперпластификатора.

В соответствии с Рекомендациями гарантированное значение кубиковой прочности бетона при сжатии  $R_b(t)$ , соответствующее возрасту бетона  $t$ , с обеспеченностью 0,95, в нормальных условиях твердения определяется по формуле:

Составы бетона на 1 м<sup>3</sup>

Таблица 1

№ состава	Известняковый заполнитель 0,16/40 мм оптимального граулометрического состава, кг	Цемент, кг	Микрозаполнитель – молотый известняк, кг	Суперпластификатор СП-1, кг	Вода, л
1	1528	672	0	0	319
2	1528	336	115	0	301
3	1528	672	0	1,7	261
4	1528	672	0	2,3	230
5	1528	672	0	1	248
6	1528	472	69	0	309
7	1528	472	69	0,7	278
8	1528	553	41	1,4	266
9	1528	336	115	0,3	292
10	1528	336	115	0,9	275

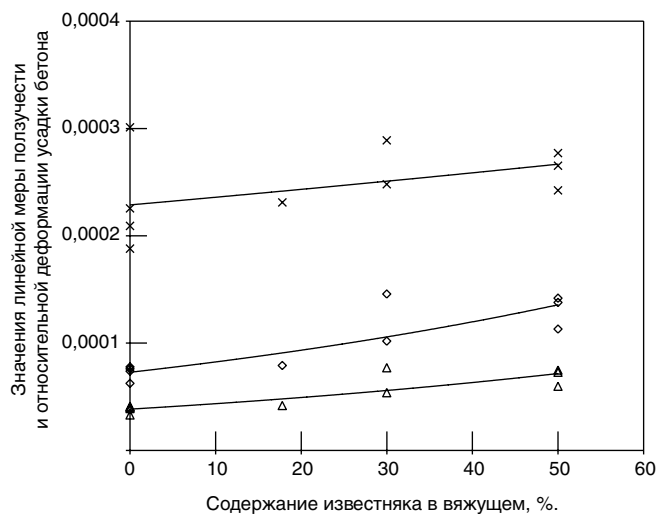


Рис. 3. График зависимости деформативных характеристик бетона  $C_{cr}(28)_n$ ,  $C_{cr}(28)_ф$  и  $\epsilon_{srф}$  от фактического содержания известнякового микронаполнителя в вяжущей части, %

$$R_b(t) = \left[ 1 + \left( \frac{a}{c+B} \right) \left( \frac{t-28}{t+d} \right) \right] \cdot B \quad (2)$$

где  $B$  – проектный класс бетона по прочности на сжатие;  $a, c, u d$  – коэффициенты, принимаемые по табл. 1 Рекомендаций.

Для обычного бетона при  $B=30$  МПа,  $a=23$  МПа,  $c=55$  МПа,  $d=11$  сут.

$$R_b(t) = \left[ 1 + \left( \frac{23}{55+30} \right) \left( \frac{20-28}{20+11} \right) \right] \cdot 30 = 27,9 \text{ МПа}$$

Соответствующее значение нормативного сопротивления бетона осевому сжатию определяем по формуле Рекомендаций.

$$R_{es} = [0,77 - 0,001 R_b(t)] \cdot R_b(t) \quad (3)$$

$$R_{es} = [0,77 - 0,001 \cdot 27,9] \cdot 27,9 = 20,8 \text{ МПа}$$

Значение начального модуля упругости бетона  $E_b$ , МПа, при нагружении в возрасте  $t$ , определяем по формуле:

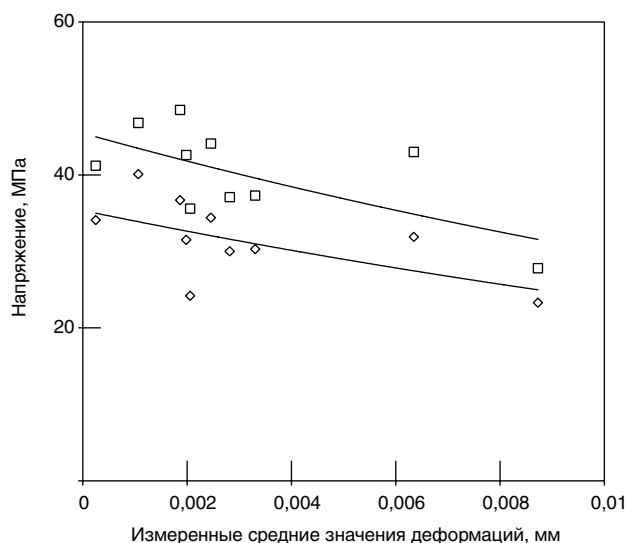


Рис. 4. Зависимость средних значений линейных деформаций от значений напряжения

$$E_b(t) = \frac{400 \cdot S \cdot R_b(t)}{S \cdot P_{paste} + R_b(t)} \cdot Ag \quad (4)$$

где  $S$  – коэффициент, учитывающий влияние вида заполнителя, для известняка  $S=115$  МПа;  $=0,2$  – удельное (по массе) содержание цементного теста в смеси;  $Ag=0,94$  – коэффициент, учитывающий максимальную крупность заполнителя, принимаем по таблице 2 Рекомендаций для диаметра фракции известнякового заполнителя 5 мм.

$$E_b(t) = \frac{400 \cdot 115 \cdot 27,9}{115 \cdot 0,2 + 27,9} \cdot 0,94 = 23701,2 \text{ МПа} = 23,7 \text{ ГПа}$$

Расчетные предельные значения меры линейной ползучести и относительной усадки получаются из формул (табл. 5 Рекомендаций):

$$C_{cr}(28)_ф = C_{cr}(28)_n \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3, \quad (5)$$

$$\epsilon_{srф} = \epsilon_{srн} \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3, \quad (6)$$

Результаты расчетов приведены на рис. 2–3.

Рис. 2 показывает, что с увеличением содержания суперпластификатора СП-1 показатели деформативности имеют тенденцию к снижению, сближаясь по значениям, что наиболее явно выражено для образцов с тонкодисперсным известняковым компонентом, вне зависимости от процентного содержания последнего в смеси. Данный факт объясняет и меньший разрыв между значениями напряжений при начале трещинообразования и значениями кубиковой прочности на сжатие именно для образцов с содержанием минерального тонкодисперсного компонента в вяжущей части, особенно фракции 0,063, наличие которой в вяжущей части ведет к сглаживанию отрицательного влияния на деформативно-прочностные свойства повышения значения водотвердого отношения.

Наблюдается (рис. 3) незначительное повышение предельных деформаций линейной ползучести при изменении общего содержания известняка в вяжущем от 0 до 40% при их выравнивании и понижении в случае наличия в составе вяжущего тонкодисперсной фракции менее 0,063 мм известняка, хотя снижение прочностных показателей более существенно, порядка 40%. Также имеет место тенденция некоторого сближения деформативных показателей с повышением содержания известнякового компонента в смеси, уменьшается разрыв меж-

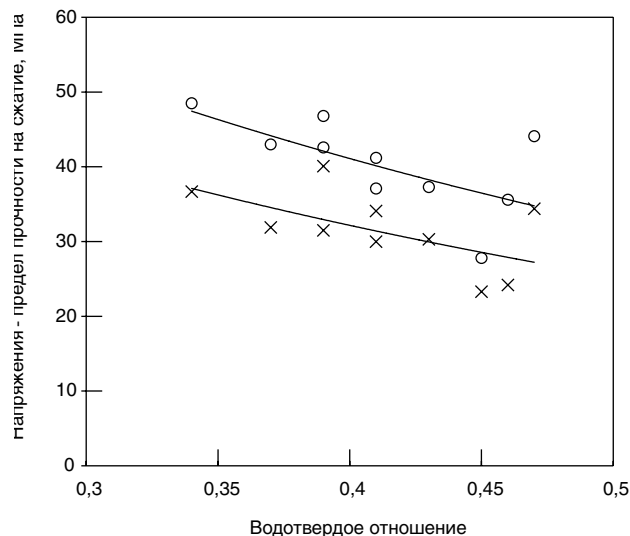
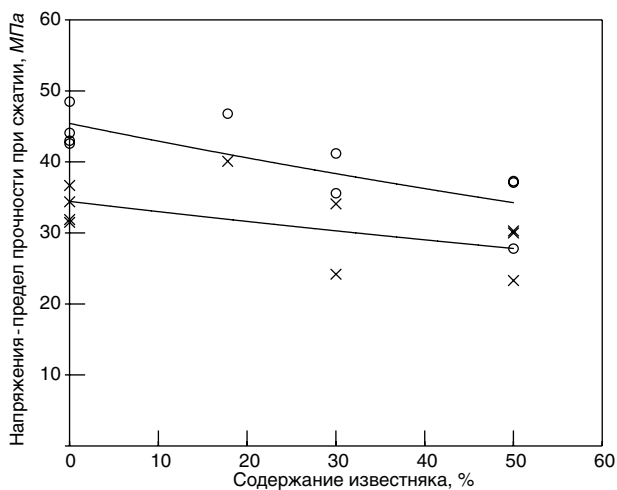


Рис. 5. Зависимость напряжений трещинообразования и предела прочности при сжатии в образцах от водотвердого отношения в момент трещинообразования и разрушения



× Момент трещинообразования, МПа  
o Предел прочности на сжатие, МПа

**Рис. 6.** Зависимость напряжений при начале трещинообразования и предела прочности при сжатии в образцах от содержания известняка в % от твердого компонента вяжущего в момент трещинообразования и разрушения

ду значениями меры линейной ползучести и усадки, что говорит в пользу сдерживания деформаций так называемой внутренней усадки без учета поверхностного влагообмена, что подтверждает идею выравнивания во времени и придания большей равномерности в объеме теста, гидратационного и консолидационного процессов.

В экспериментальной части нагружение образцов осуществлялось пошагово, нагрузка на шаг принималась равной 50 кН. Измерения деформаций проводились с помощью тензометрического моста Уинстона с использованием высокоточного электронного гальванометра с разрешающей способностью  $10^{-7}$ . База тензорезисторов составляла 20 мм. Для компенсации контактных (локальных) напряжений при передаче нагрузки на образец использовалась схема свободной (шарнирной) верхней опоры и неподвижной нижней.

В табл. 2 для некоторых составов бетона приведено сравнение теоретически рассчитанных и экспериментально определенных деформаций предельной ползучести.

Результаты измерений деформаций отражены на рис. 4–6.

Рис. 4 иллюстрирует закон изменения (снижения) относительных деформаций с повышением напряжений. С наличием известнякового тонкодисперсного компонента в бетоне деформации несколько возрастают, но при равных значениях напряжения в образцах сближаются границы трещинообразования и разрушения, что важно при прогнозировании надежности и долговечности конструкций из бетонов с карбонатным микронаполнителем, особенно тонкостенных, с учетом динамики развития деформативного процесса.

Как уже отмечалось, повышение относительного содержания воды в смеси ведет явным образом к снижению прочности образцов. При повышении водотвердого показателя от 0,35 до 0,5% это снижение особенно заметно для образцов без содержания известняковой части в вяжущем (рис. 5). Но особенно показателен феномен влияния на прочностные свойства бетона совместного введения суперпластификатора СП-1 и тон-

**Список литературы**

1. Tarun R. Naik, FethullahCanpolat, Yoon-moon Chun. Limestone powder use in cement and concrete. Report No. CBU-2003-31 REP-525 // Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science. The University Of Wisconsin – Milwaukee. July. 2003.

**Таблица 2**

**Сравнение значений деформаций предельной ползучести, рассчитанных по методике Рекомендаций и по результатам экспериментов**

Состав №	Теоретические значения деформаций предельной ползучести, * $10^{-5}$ (округленно)	Экспериментальные значения деформаций предельной ползучести, * $10^{-5}$ (округленно)
4	4	2
2	7,5	5
8	4,2	3
10	6	1
6	7,7	2,5

кодисперсной фракции известняка менее 0,063 мм, введенной в смесь согласно распределению Вейбулла: чем больше в смеси содержание компонента 0,063, тем в меньшей степени сказывается на деформативно-прочностных свойствах бетонов отрицательное влияние повышенного содержания пластифицирующей добавки.

Наличие карбонатного компонента как во фракции заполнителя, так и в виде наполнителя в сравнении, например, с бетонами на гранитном щебне и с добавками кремнезема несколько снижает прочностные показатели (рис. 6), но сказывается положительно на деформативных характеристиках бетона: мгновенные и длительные неупругие деформации развиваются более пропорционально, причем деформации усадки и ползучести могут изменяться инверсно при существенном колебании модуля упругости композита на стадии нагружения, как с разным составом и пропорциями компонентов, так и на разных стадиях твердения. Кроме того, как уже отмечалось, наличие тонкодисперсной карбонатной составляющей в вяжущей части выравнивает скачкообразность набора прочности в силу сдерживания процесса гидратации и более равномерного распределения зерен цемента в смеси, тем самым существенно улучшая как эксплуатационные и технологические, так и реологические свойства бетонов с карбонатным компонентом. Повышаются значения начального модуля деформаций и ударной вязкости, что повышает износостойкость и долговечность конструкций на основе бетона с карбонатным микрокомпонентом.

Результаты данного исследования позволяют отнести бетон с карбонатным микронаполнителем к группе эффективных высокопрочных бетонов, которые по прочности и деформативности не уступают, а в некоторых аспектах и превосходят бетоны с добавками из микрокремнезема, базальта и гранита. Уменьшение разрыва между напряжениями начала трещинообразования и кубиковой прочности на сжатие обусловлено улучшенными деформативными свойствами бетонов с карбонатным микронаполнителем, что делает их незаменимыми при использовании в тонкостенных и преднапряженных конструкциях больших пролетов и многоэтажном монолитном строительстве.

**Reference**

1. Tarun R. Naik, FethullahCanpolat, Yoon-moon Chun. Limestone powder use in cement and concrete. Report No. CBU-2003-31 REP-525 // Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science. The University Of Wisconsin – Milwaukee. July. 2003.

2. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатуллин А.Р., Харченко И.Я. Карбонатные цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 76–82.
3. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Зырянова В.Н., Никоненко Н.И., Мельников А.В. Повышение свойств композиционных строительных материалов введением минеральных микронаполнителей // *Стройпрофи: Строительные Технологии и Бетоны*. 2012. № 2. С. 26–30.
4. Плугин А.А., Костюк Т.А., Салия М.Г. Бондаренко Д.А. Применение карбонатных добавок в цементных составах для гидроизоляционных и реставрационных работ зданий и сооружений // *Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ*. 2012. С. 224–227.
5. Chaid R., Jauberthiel R. et Boukhaled A. Effet de l'ajout calcairesur la durabilite des betons // *Lebanese Science Journal*. 2010. Vol. 11. No. 1.
6. Amlan K Sengupta, Devdas Menon. Prestressed concrete structures. Indian Institute of technology. 2002.
7. Pieter Desnerck, Geert De Schutter, Luc Taerwe. Stress-strain behavior of self-compacting concretes containing limestone fillers // *Structural Concrete*. 2012. Vol. 13. Issue 2, pp. 95–101.
8. Лесовик В.С., Беленцов Ю.А., Куприна А.А. Использование положений геоникки при проектировании конструкций для работы в условиях динамических и сейсмических нагрузок // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2013. № 2–3. С. 121–126.
9. Лесовик В.С., Агеева М.С., Денисова Ю.В., Иванов А.В. Использование композиционных вяжущих для повышения долговечности бетонной брусчатки // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2011. № 4. С. 52–54.
10. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов. Омск. СибАДИ. 2011. 459 с.
11. Белов В.В., Смирнов М.А. Теоретические основы методики оптимизации гранулометрического состава композиций для изготовления безобжиговых строительных конгломератов // *Вестник отделения строительных наук. РААСН*. 2011. Вып. 15. С. 175–179.
12. Белов В.В., Смирнов М.А. Новые принципы определения состава высококачественного бетона // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2008. Вып. 13. С. 341–346.
13. De Schutter G. Effect of limestone filler as mineral addition in self compacting concrete. 36 Conference on Our World in concrete & Structures. Singapore. October 14–16. 2011.
2. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizzatullin A.R., Kharchenko I.Ya. Carbonate cements of low water-need is a green alternative for cement industry of Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 76–82. (In Russian).
3. Berdov G.I., Ilyina L.V., Zyryanova V.N., Nikonenko N.I., Mel'nikov A.V. Improving the properties of composite building materials by introduction of mineral micro fillers. *Stroiiprofi: Stroitel'nye Tehnologii i Beton*. 2012. No. 2, pp. 26–30. (In Russian).
4. Plugun A.A., Kostyuk T.A., Saliya M.G. Bondarenko D.A. Application of carbonate additives in cement compositions for waterproofing and restoration of buildings and structures. Collection of scientific papers of the institute of civil engineering and architecture MSUCE. 2012, pp. 224–227. (In Russian).
5. Chaid R., Jauberthiel R. et Boukhaled A. Effet de l'ajout calcairesur la durabilite des betons. *Lebanese Science Journal*. 2010. Vol. 11. No. 1.
6. Amlan K Sengupta, Devdas Menon. Prestressed concrete structures. Indian Institute of technology. 2002.
7. Pieter Desnerck, Geert De Schutter, Luc Taerwe. Stress-strain behavior of self-compacting concretes containing limestone fillers. *Structural Concrete*. 2012. Vol. 13. Issue 2, pp. 95–101.
8. Lesovik V. S., Belentsov Yu.A., Kuprina A.A. The use of provisions of geonik when designing structures for work under dynamic and seismic loads. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2013. No. 2–3, pp. 121–126. (In Russian).
9. Lesovik V.S. Ageeva M.S., Denisova Yu.V., Ivanov A.V. The use of composite binding for durability of concrete pavers. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitete im. V.G. Shuhova*. 2011. No.4, pp. 52–54. (In Russian).
10. Lesovik V.S., Chulkova I.L. Upravlenie strukturoobrazovaniem stroitel'nyh kompozitov [Management structure formation building composites]. Omsk. SibADI. 2011. 459 p.
11. Belov, V.V., Smirnov M.A. Theoretical Foundations of optimization techniques size distribution of composites for the manufacture of nonfired construction conglomerates. *Vestnik otdeleniya stroitel'nyh nauk. RAACS*. 2011. Vol. 15, pp 175–179. (In Russian).
12. Belov V.V., Smirnov M.A. New guidelines for determining the composition of high-quality concrete. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*. 2008. Vol. 13, pp. 341–346. (In Russian).
13. De Schutter G. Effect of limestone filler as mineral addition in self compacting concrete. 36 Conference on Our World in concrete & Structures. Singapore. October 14–16. 2011.

## НОВОСТИ

## Новый пресс для силикатчиков

В январе 2015 г. на ЗАО «Силикатчик» (р.п. Силикатный Ульяновской обл.) запущен в эксплуатацию новый пресс одностороннего прессования с усилием 550 т VIKING SG-550. Серия прессов VIKING разработана и поставляется компанией «Инвест-Технология» (Челябинск).

В настоящее время технологические возможности предприятия «Силикатчик» позволяют выпускать на прессе более 87000 шт. утолщенного кирпича в сутки. Участок массоподготовки и автоклавное отделение для запуска нового пресса не модернизировались.

На модели пресса VIKING SG-550 внедрены новые узлы:

– система, автоматически выравнивающая захват автомата-укладчика по уровню поверхности вагонетки во время укладки кирпича.

Такая система позволяет выполнять бережную укладку кирпича-сырца на вагонетки, у которых рабочая поверхность является плоской, но не горизонтальной. Негоризонтальность вагонетки может составлять 15 мм (максимально высокая точка рабочей поверхности вагонетки относительно самой низкой точки рабочей поверхности вагонетки). При этом обеспечивается высокое качество кирпича-сырца;

– муфта ограничения момента на приводе каретки. Предназначена для исключения аварийных ситуаций при попадании посторонних предметов вместе с силикатной массой в загрузочную каретку.

Специалисты завода в Ульяновской области отмечают простоту обучения операторов работе на прессе и получение кирпича с отличными геометрическими характеристиками при отклонении геометрических параметров вагонеток.

По материалам ООО «Инвест-Технология» и ЗАО «Силикатчик»

О.М. СМІРНОВА, канд. техн. наук (smirnovaolgam@rambler.ru)

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9)

## Использование минерального микронаполнителя для повышения активности портландцемента

Представлены исследования по выбору расхода и дисперсности кварцевого микронаполнителя с целью повышения активности портландцемента после низкотемпературной тепловлажностной обработки. Эффективность полученных результатов заключается в повышении активности портландцемента и, соответственно, прочности бетона после тепловлажностной обработки с температурой изотермической выдержки 40°C вместо применяемой температуры 80°C, и снижении расхода портландцемента по сравнению с номинальными составами.

**Ключевые слова:** портландцемент, минеральный микронаполнитель, сборный железобетон, тепловлажностная обработка, температура изотермической выдержки.

O.M. SMIRNOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (smirnovaolgam@rambler.ru)

Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I (9, Moskovsky Avenue, 190031, Saint Petersburg, Russian Federation)

### The Use of Mineral Micro-Filler for Increasing the Activity of Portland-Cement

Research in the choice of consumption and dispersion of the quartz micro-filler with the purpose to increase the activity of Portland-cement after the low temperature steam treatment is presented. The efficiency of results obtained is the increase in the activity of Portland-cement and, consequently, in the strength of concrete after steam treatment with the isothermal concrete curing temperature of 40°C instead of the applied temperature of 80°C and the Portland-cement saving comparing with nominal compositions.

**Keywords:** portland cement, mineral filler, precast reinforced concrete, steaming treatment, temperature of steaming treatment.

Использование низкотемпературной тепловлажностной обработки при производстве сборного железобетона приводит к улучшению физико-механических свойств бетона по сравнению с бетоном, подвергнутым часто применяемой предприятиями ЖБИ тепловлажностной обработке при 80°C [1]. Однако снижение температуры изотермической выдержки может уменьшать прочность бетона после тепловлажностной обработки, что ведет к увеличению продолжительности тепловой обработки и сокращению производительности технологических линий или повышению расхода портландцемента. В связи с этим целесообразно использовать портландцементы, имеющие высокую активность после низкотемпературной тепловлажностной обработки (ТВО).

Проблемы снижения температуры изотермической выдержки бетона при ТВО с целью улучшения технических характеристик бетона сборных конструкций и экономии энергоресурсов стали обсуждаться сравнительно недавно. В связи с этим отечественной промышленностью в настоящее время не производятся портландцементы с учетом такой характеристики, как активность после низкотемпературной ТВО [2]. Однако при увеличении спроса на сборные железобетонные конструкции на основе высококачественного бетона такие портландцементы становятся востребованными, и вопрос их получения требует развития (Смирнова О.М. Высококачественные бетоны для предварительно напряженных железобетонных подрельсовых конструкций // Дисс... канд. техн. наук. 05.23.05. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург. 2013. 170 с.).

В «Рекомендациях по тепловой обработке тяжелого бетона с учетом активности цемента при пропаривании» под редакцией Л.А. Малининой (М.: НИИЖБ ГОССТРОЙ СССР, 1984. 19 с.) показано, что портландцементы одной марки, но разных производителей по-разному реагируют на тепловое воздействие при температуре изотермии 80°C и их расход для получения отпущенной или передаточной прочности бетонов с одина-

ковыми характеристиками по прочности и удобоукладываемости может отличаться в пределах 50 кг/м<sup>3</sup> бетона. Это приводит к перерасходу портландцемента при производстве сборного бетона и железобетона, так как зачастую проектирование составов бетона нацелено на обеспечение отпускной или передаточной прочности, а не нормативной прочности в возрасте 28 сут.

Исходя из необходимости обеспечения отпускной или передаточной прочности бетона после ТВО вопрос достижения высокой ранней прочности бетона сборных конструкций является ключевым. Повышению прочности цементного камня на основе цементов общестроительного назначения на ранней стадии твердения способствуют: снижение водоцементного отношения за счет введения водоредуцирующих добавок [3]; ускорение выделения и роста продуктов гидратации цемента за счет ТВО; введение ускорителей твердения, углеродных нанотрубок [4, 5], тонкодисперсных минеральных наполнителей. В связи с тем, что применение ускорителей твердения нежелательно в производстве сборного предварительно напряженного железобетона, целесообразно исследовать возможность применения с целью повышения ранней прочности тонкодисперсных минеральных добавок.

Выделяют несколько факторов положительного влияния тонкодисперсных минеральных наполнителей на структуру и физико-механические характеристики цементного камня: повышение плотности упаковки частиц вяжущего при размещении микронаполнителя между частицами цемента; пуццолановая активность микронаполнителя; ускорение начальной стадии твердения цементных систем, в которых микронаполнитель может служить центрами кристаллизации; повышение пластифицирующего действия суперпластификаторов в некоторых композициях портландцемент – микронаполнитель; повышение ударной прочности [6].

Таким образом, одним из способов повышения активности портландцемента после низкотемпературной ТВО может быть использование минерального микронаполнителя в оптимальном количестве. В связи с этим



Таблица 1

## Минералогический состав

Обозначение	Цемент	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
ПЦ-1	ПЦ 500Д0-Н ЗАО «Мальцовский портландцемент»	63,1	14,6	6,3	13,5
ПЦ-2	ПЦ 500Д0-Н ЗАО «Осколцемент»	64,1	15,4	7,9	11,2
ПЦ-3	ПЦ 500Д0-Н ЗАО «Осколцемент»	62,1	17,2	6,2	15,5
ПЦ-4	ПЦ 500Д0-Н ЗАО «Пикалевский портландцемент»	66,4	14,6	4,2	10,7
ПЦ-5	ПЦ 500Д0-Н ОАО «Сланцевский цементный завод»	62,1	10,4	6,9	11,3

Таблица 2

## Физические характеристики портландцементов

Шифр цемента	Тонкость помола, остаток на сите 008, %	Нормальная густота, %	Сроки схватывания цементного теста, ч-мин	
			начало	конец
ПЦ-1	3,3	27	2-30	4-20
ПЦ-2	6,2	26,2	2-50	4-50
ПЦ-3	6,8	25,8	2-10	4-10
ПЦ-4	5,1	26,7	2-20	4-00
ПЦ-5	4,3	26,9	2-10	4-10

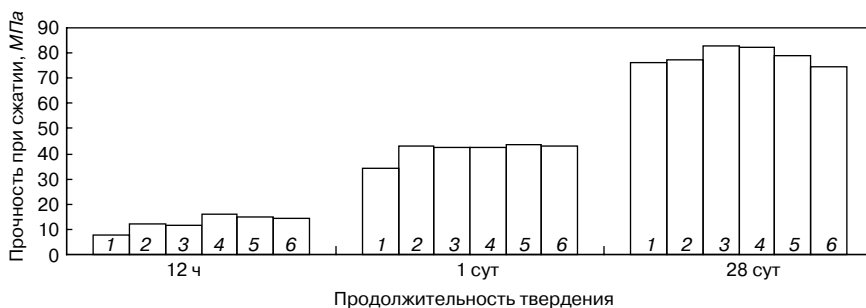


Рис. 1. Влияние расхода микронаполнителя на прочность цементного камня: 1 – без добавок; 2 – кварцевый песок 1%; 3 – кварцевый песок 3%; 4 – кварцевый песок 5%; 5 – кварцевый песок 10%; 6 – кварцевый песок 15%

целью работы являлось исследование влияния расхода и дисперсности кварцевого микронаполнителя на активность портландцемента после ТВО при 40°C.

В работе использованы портландцементы ПЦ500-Д0-Н разных отечественных заводов-производителей. Характеристики портландцементов представлены в табл. 1 и 2.

ниженной температурой изотермической выдержки был выбран кварцевый микронаполнитель. Зачастую молотый кварцевый песок, соответствующий дисперсности портландцемента, вводился взамен его части. Это позволяло экономить портландцемент без существенного снижения прочности бетона. С развитием техники помола появилась возможность получать микронапол-

В работе использован микронаполнитель из молотого природного кварцевого песка с содержанием диоксида кремния SiO<sub>2</sub> более 94% (Лужское месторождение). Для помола песка использовалась планетарная мельница АС 100 фирмы Oy CYCLOTec Ltd (Финляндия), а для отделения тонкой фракции измельченного песка – классификатор центробежно-динамической фирмы «Ламел-777» (Республика Беларусь).

Для определения гранулометрического состава минеральных наполнителей был использован лазерный дифракционный анализатор размера частиц MicroSizer 201. Активность портландцемента определялась по ГОСТ 310.4–81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии». Электронно-микроскопические снимки были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа модели Supra 55VP-3249 фирмы Zeiss.

Активность в возрасте 28 сут у выбранных портландцементов изменялась в пределах 50,8–52,6 МПа. Активность при пропаривании с температурой изотермической выдержки, равной 80°C, находилась в диапазоне 32–40 МПа, т. е. изменялась в пределах 25% (табл. 3).

Коэффициент эффективности портландцемента после пропаривания при 40°C определялся по формуле:

$$K_{\Pi} = R_{\Pi} / R_{\text{н}}, \quad (1)$$

где  $R_{\Pi}$  – активность цемента после пропаривания при 40°C;  $R_{\text{н}}$  – активность цемента при нормальном твердении в возрасте 28 сут.

Для повышения активности портландцемента после ТВО с пониженной температурой изотермической выдержки был выбран кварцевый микронаполнитель. Зачастую молотый кварцевый песок, соответствующий дисперсности портландцемента, вводился взамен его части. Это позволяло экономить портландцемент без существенного снижения прочности бетона. С развитием техники помола появилась возможность получать микронапол-

Таблица 3

## Коэффициенты эффективности портландцементов после ТВО с различной температурой изотермической выдержки

Цемент	Активность цемента в 28 сут, МПа	Активность при 80°C*, МПа	Коэффициент эффективности после пропаривания при 80°C*	Группа активности при пропаривании при 80°C*	Активность при 40°C, МПа	Коэффициент эффективности после пропаривания при 40°C
ПЦ-1	50,8	33,2	0,65	2	28,8	0,57
ПЦ-2	50,9	32	0,63	2	30,1	0,59
ПЦ-3	52,2	38,8	0,74	1	39,5	0,76
ПЦ-4	52,5	40	0,76	1	37,7	0,72
ПЦ-5	52,6	36,1	0,69	1	33,7	0,64

\* Определено по методике, представленной в «Рекомендациях по тепловой обработке тяжелого бетона с учетом активности цемента при пропаривании».

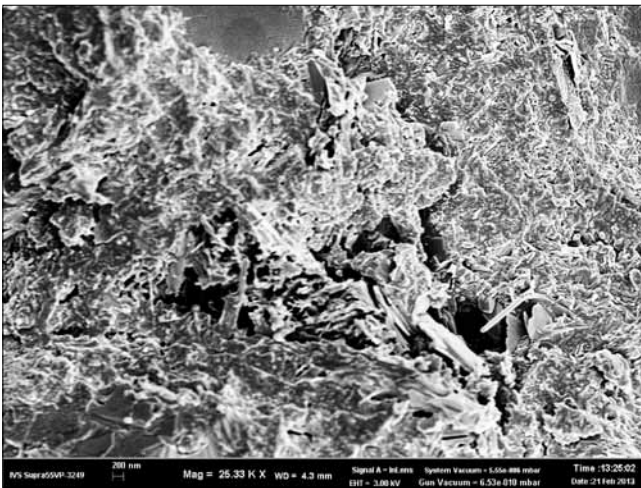


Рис. 2. Структура цементного камня после ТВО (увеличение  $\times 25000$ )

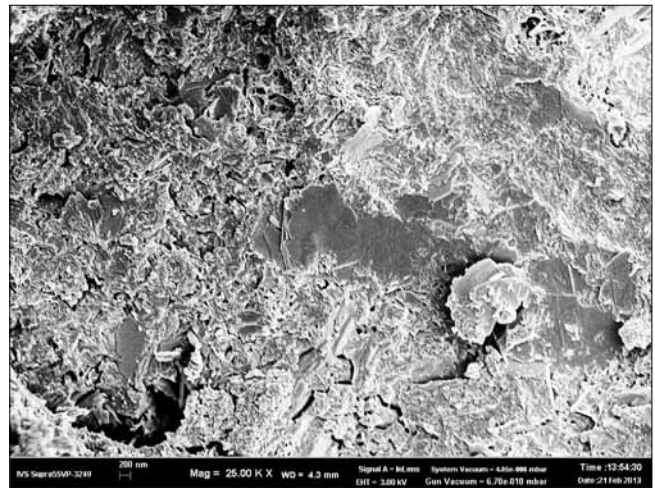


Рис. 3. Структура цементного камня с кварцевым микронаполнителем после ТВО (увеличение  $\times 25000$ )



Рис. 4. Структура цементного камня в возрасте 360 сут (увеличение  $\times 25000$ )

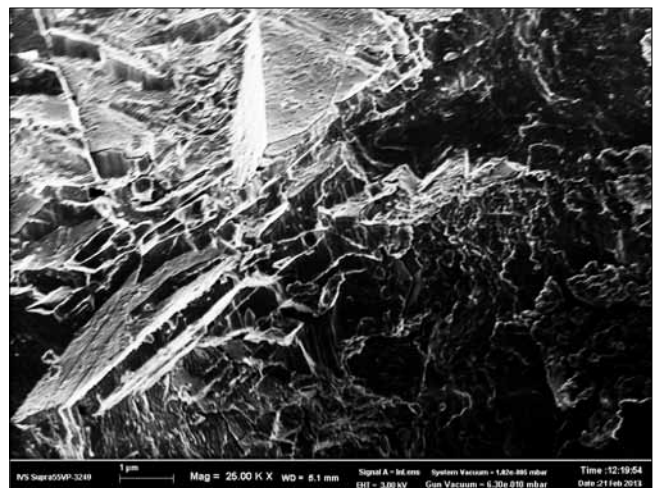


Рис. 5. Структура цементного камня с кварцевым микронаполнителем в возрасте 360 сут (увеличение  $\times 25000$ )

Таблица 4

Гранулометрический состав микронаполнителя

Микронаполнитель	Содержание частиц размером менее, %			
	1 мкм	5 мкм	10 мкм	50 мкм
Молотый кварцевый песок	13	62,2	92,5	100

нителю из горных пород или побочных продуктов промышленности с тонкостью помола значительно большей, чем у портландцемента. Гранулометрический состав микронаполнителя представлен в табл. 4.

При определении водопотребности цементного теста нормальной густоты с микронаполнителем (он вводился взамен части портландцемента ПЦ-1) и без микронаполнителя оказалось, что при введении 5% микронаполнителя от массы портландцемента водопотребность не изменилась, при введении 10 и 15% – увеличилась на 4 и 7% соответственно. Начало схватывания цементного теста сократилось при введении кварцевого микронаполнителя в количестве 5–15% в пределах 30 мин. Конец схватывания цементного теста уменьшился при введении кварцевого наполнителя в количестве 5% на 45 мин, 10–15% – на 60 мин.

Влияние расхода микронаполнителя на прочность цементного камня, изготовленного на ПЦ-1, при

нормально-влажных условиях твердения представлено на рис. 1. Для этого были изготовлены образцы-кубики цементного камня размером  $2 \times 2 \times 2$  см из теста нормальной густоты.

При введении кварцевого микронаполнителя в количестве 5–15% прочность цементного камня в возрасте 12 ч увеличилась в более чем два раза, в суточном возрасте – на 25%. При замене портландцемента микронаполнителем в количестве 5% наблюдалось некоторое повышение прочности в возрасте 28 сут. В связи с этим для дальнейших исследований выбрали расход микронаполнителя 5%.

Результаты исследования влияния кварцевого микронаполнителя (в количестве 5%) на активность и коэффициенты эффективности портландцементов после ТВО при  $40^\circ\text{C}$  представлены в табл. 5, где показано, что замена части портландцемента кварцевым микронаполнителем является эффективным способом повышения активности цементов после ТВО при  $40^\circ\text{C}$ . При этом активность портландцемента в возрасте 28 сут не уменьшилась.

Для подтверждения положительного влияния кварцевого микронаполнителя на свойства цементного камня исследовано структуро- и фазообразование цементного камня с микронаполнителем в разном возрасте.

Для оценки фазообразования цементного камня с добавкой кварцевого микронаполнителя в количестве 5% был проведен рентгенофазовый анализ четырех об-

Таблица 5

## Активность и коэффициенты эффективности портландцементов с кварцевым микронаполнителем после ТВО при 40°C

Цемент	Активность цемента в 28 сут, МПа	Активность цемента с микронаполнителем в 28 сут, МПа	Активность после пропаривания при 40°C, МПа	Коэффициент эффективности после пропаривания при 40°C
ПЦ-1	50,8	51,6	35,1	0,68
ПЦ-2	50,9	52,1	34,6	0,66
ПЦ-3	52,2	53,6	39,8	0,74
ПЦ-4	52,5	54	39,2	0,71
ПЦ-5	52,6	52,7	36,6	0,69

разнов: без добавки и с добавкой в возрасте 12 ч после ТВО при 40°C и образцов, подвергнутых ТВО в возрасте 360 сут. Для образца с кварцевым микронаполнителем увеличивается содержание портландита после ТВО с температурой изотермической выдержки 40°C, при этом снижается содержание алита, что косвенно указывает на повышение степени гидратации портландцемента с кварцевым микронаполнителем после ТВО. Это способствует повышению прочности цементного камня после ТВО. В возрасте 360 сут содержание портландита уменьшается по сравнению с бездобавочным образцом.

Повышение прочности цементного камня при введении кварцевого микронаполнителя может происходить и за счет изменения структуры цементного камня. Введение микронаполнителя изменяет условия кристаллизации и, следовательно, морфологию продуктов гидратации. При сравнении структуры новообразований при электронно-микроскопических исследованиях в образцах цементного камня после ТВО при 40°C и в

возрасте 360 сут установлено, что в образцах с кварцевым микронаполнителем в количестве 5% образуются более плотные по структуре новообразования (рис. 2–5), что повышает количество контактов между новообразованиями и способствует повышению прочности цементного камня.

Таким образом, предложен способ повышения активности портландцемента после низкотемпературной тепловлажностной обработки за счет использования тонкодисперсных минеральных микронаполнителей. Установлено, что эффективным минеральным микронаполнителем, обеспечивающим повышение активности портландцемента после низкотемпературной ТВО в пределах 15%, является кварцевый микронаполнитель с содержанием частиц размером менее 5 мкм более 60%.

Автор выражает благодарность правительству Санкт-Петербурга за финансовую поддержку исследования в виде субсидии молодым ученым – кандидатам наук в 2013 г. (распоряжение № 81 от 21.10.2013 г.).

## Список литературы

1. Серенко А.Ф., Петрова Т.М. Беспарочная технология производства подрельсовых конструкций. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. 136 с.
2. Смирнова О.М. Требования к гранулометрическому составу портландцементов для производства сборного железобетона по малопротертой технологии // *Цемент и его применение*. 2012. № 2. С. 205–207.
3. Jiong Hu, Zhi Ge, Kejin Wang. Influence of cement fineness and water-to-cement ratio on mortar early-age heat of hydration and set times // *Construction and Building Materials*. 2014. V. 50. P. 657–663.
4. Хузин А.Ф., Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З., Габидуллина А.Н., Стоянов О.В. Ускорение твердения цементных композитов, модифицированных добавками с углеродными нанотрубками // *Все материалы: Энциклопедический справочник*. 2013. № 11. С. 32–36.
5. Хузин А.Ф., Габидуллин М.Г., Бадертдинов И.Р., Рахимов Р.З., Абрамов Ф.П., Юмакулов Р.Э., Низембаев А.Ш., Перепелица Е.М. Комплексные добавки на основе углеродных нанотрубок для высокопрочных бетонов ускоренного твердения // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 1. С. 221–226.
6. Коробкова М.В., Рябова А.А., Харитонов А.М. Влияние маложестких дисперсных включений на ударную прочность цементных бетонов // *Естественные и технические науки*. 2014. № 8 (76). С. 154–156.

## References

1. Serenko A.F., Petrova T.M. Besproparochnaya tekhnologiya proizvodstva podrel'sovykh konstrukttsii [Non-steaming technology of sleepers production] M.: Uchebno-metodicheskii tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte. 2012. 136 p. (In Russian).
2. Smirnova O.M. Requirements to granulometric composition of Portland cement for precast reinforced concrete production under low-heat steaming treatment. *Tsement i ego primenenie*. 2012. No. 2, pp. 205–207. (In Russian).
3. Jiong Hu, Zhi Ge, Kejin Wang. Influence of cement fineness and water-to-cement ratio on mortar early-age heat of hydration and set times. *Construction and Building Materials*. 2014. V. 50, pp. 657–663.
4. Khuzin A.F., Gabidullin M.G., Rakhimov R.Z., Gabidullina A.N., Stoyanov O.V. Acceleration of cement composites hardening modified with additives and carbon nanotubes. *Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik*. 2013. No. 11, pp. 32–36. (In Russian).
5. Khuzin A.F., Gabidullin M.G., Badertdinov I.R., Rakhimov R.Z., Abramov F.P., Yumakulov R.E., Nizembaev A.Sh., Perepelitsa E.M. Integrated supplements based on carbon nanotubes for high-strength concretes. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2013. No. 1, pp. 221–226. (In Russian).
6. Korobkova M.V., Ryabova A.A., Kharitonov A.M. Influence low-hard dispersed additives on impact strength of cement concrete. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2014. No. 8 (76), pp. 154–156. (In Russian).

Р.В. ЧИЖОВ<sup>1</sup>, инженер (rastis-lav@yandex.ru), Н.И. КОЖУХОВА<sup>1</sup>, канд. техн. наук, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ<sup>1</sup>, канд. геол.-минер. наук, Д.Н. КОРОТКИХ<sup>2</sup>, канд. техн. наук (korotkih.dmitry@gmail.com) Е.В. ФОМИНА<sup>1</sup>, канд. техн. наук, М.И. КОЖУХОВА<sup>1</sup>, канд. техн. наук (kozuhovamarina@yandex.ru);

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

<sup>2</sup> Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84)

## Фазообразование и свойства алюмосиликатных вяжущих негидратационного типа твердения с использованием перлита\*

Изучены свойства алюмосиликатного вяжущего негидратационного типа твердения с использованием природного перлита. Установлена взаимосвязь влияния дисперсности перлитового сырья и молярного соотношения оксидов в щелочеактивированной вяжущей системе  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на конечные эксплуатационные характеристики получаемых щелочеперлитовых композитов. При низкой степени дисперсности частиц перлита для обеспечения более высоких прочностных показателей камня требуется большее количество щелочного компонента, чем для тонкодисперсного. Выявлено, что введение избыточного количества щелочи в алюмосиликатную систему приводит к замедлению процессов структурообразования в твердеющей щелочеперлитовой матрице и, как следствие, к пониженным прочностным показателям. Изучены фазовые особенности алюмосиликатных композитов на основе перлитового сырья, формируемые под воздействием различных временных и температурных параметров.

**Ключевые слова:** алюмосиликаты, перлит, цеолит, щелочная активация, фазообразование, геополимеры.

R.V. CHIZHOV<sup>1</sup>, Engineer (rastis-lav@yandex.ru), N.I. KOZHUKHOVA<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), I.V. ZHERNOVSKY<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), D.N. KOROTKIH<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (korotkih.dmitry@gmail.com) E.V. FOMINA<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), M.I. KOZHUKHOVA<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (kozuhovamarina@yandex.ru);

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

<sup>2</sup> Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (84, 20-letija Oktjabrja Street, Voronezh, 394006, Russian Federation)

### Phase Formation and Properties of Aluminum-Silicate Binders of Dehydration Type of Hardening with the Use of Perlite\*

Properties of the aluminum-silicate binder of dehydration type of hardening with the use of natural perlite have been studied. The interconnection of the influence of dispersion of perlite raw material and the molar ratio of oxides in the alkaline-activated binding system of  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  on the final performance characteristics of obtained alkaline-perlite composites has been established. When the degree of dispersion of perlite particles is low, to ensure higher strength characteristics of the stone the larger quantity of alkaline component is required than for fine perlite. It is revealed that the introduction of excess amount of alkali into the aluminum-silicate system leads to the retardation of structure formation processes in the hardening alkali-perlite matrix and, as a result, to reduced strength characteristics. Phase peculiarities of aluminum-silicate composites on the basis of perlite raw material, which are formed under impacts of various time and temperature parameters, have been studied.

**Keywords:** aluminum silicates, perlite, zeolite, alkali-activation, phase formation, geopolymers.

Необходимость диверсификации моновариантной ориентированности рынка минеральных вяжущих стимулирует разработки в области использования нетрадиционных вяжущих на основе алюмосиликатного сырья, по крайней мере для производства строительных материалов в регионах его распространения и добычи.

Это, в частности, относится к перлиту – скрытокристаллическому алюмосиликатному минеральному сырью вулканогенно-осадочного происхождения, широко применяемому, в исходном состоянии, в качестве реакционно-активного пуццоланового компонента в цементных системах [1].

Учитывая, что по химическому составу перлит относится к существенно кислым алюмосиликатным породам и имеет скрытокристаллическую структуру, представляется, что он может быть потенциальным сырьем для геополимерных (щелочеактивированных) алюмосиликатных вяжущих.

В качестве исходного сырьевого материала для проверки этого предположения, а также для выяснения

природы новообразований, формирующих прочностные свойства вяжущего, использовался перлит Мухор-Талинского месторождения (Бурятия). Химический состав перлита (мас. %), определенный методом рентгенофлуоресцентного анализа на рентгеновской рабочей станции WorkStation ARL 9900 (все аналитические определения проводились на аппаратной базе Центра Высоких Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова), представлен в табл. 1.

Для решения вопроса о минеральном составе перлита была предпринята попытка проведения рентгенометрической диагностики (качественного РФА) кристаллических минеральных компонентов породы. Следует отметить, что перлит, являясь в основной своей массе скрытокристаллическим минеральным образованием, является нетривиальным объектом для рентгенофазового изучения.

Дифракционный спектр перлита с использованием излучения Со-анода представлен на рис. 1.

Как видно, на представленной рентгенограмме практически отсутствуют значимые по интенсивности

Таблица 1

Соединение	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{TiO}_2+\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{MnO}$	F+Cl	$\Sigma$
Содержание, мас. %	71,52	15,99	4,58	4,26	1,67	0,853	0,379	0,381	0,1003	99,733

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Гос. Задания; гранта РФФИ мол\_рф\_нр № 13-03-90742.

\* Work is executed at financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the framework of the State Task; Grant of RFBR mol\_RF-nr No. 13-03-90742.

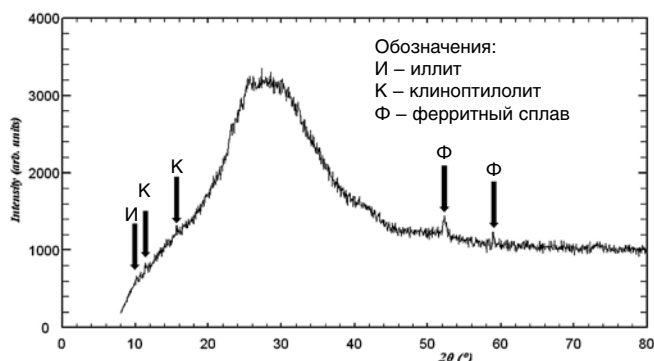


Рис. 1. Рентгенограмма перлита Мухор-Талинского месторождения

отражения, на основании которых можно уверенно диагностировать кристаллические минеральные фазы перлита. На основании зафиксированных отражений удалось диагностировать иллит, клиноптилолит и ферритный сплав, вероятно, техногенного происхождения (возможно, продукт намола мелющими телами при диспергации перлита в планетарной мельнице). Следует отметить, что интенсивности и формы выделенных дифракционных профилей практически совпадают с флуктуациями интенсивности фона рентгенограммы.

Профиль фона рентгенограммы позволяет предположить о наноструктурированности исследуемого материала.

Определенную информацию о породообразующих наноразмерных минеральных компонентах можно получить на основе химического состава породы, пересчет которого на гипотетические нормативные минеральные породообразующие компоненты по алгоритму CIPW при помощи программы PetroExplorer v.2.0 (сайты поддержки геохимического процессора PetroExplorer [www.evkor.net.ru](http://www.evkor.net.ru); [www.petroexr.ox9.ru](http://www.petroexr.ox9.ru); [2]) дал следующие результаты (мас. %): кварц – 28,25; плаггиоклаз – 37,67; ортоклаз – 27,07; корунд – 3,22; гиперстен – 0,94; рутил – 0,16; гематит – 1,67; флюорит – 0,48. На этом основании можно сделать вывод, что в скрытокристаллических алюмосиликатных минералах алюминий находится в тетраэдрической координации (плаггиоклаз и ортоклаз), что позволяет рассматривать перлит как потенциально пригодную породу для получения щелочеактивированных алюмосиликатных (геополимерных) вяжущих.

Для проверки предположения о высокой реакционной способности перлитовой породы в условиях щелочной активации был использован перлит фракции 0,5–2 мм.

В рамках эксперимента с целью определения влияния степени дисперсности перлита на его реакционную активность, а также его размолоспособности была осуществлена механоактивация породы в планетарной мельнице в течение 3 ч с контрольными точками замера

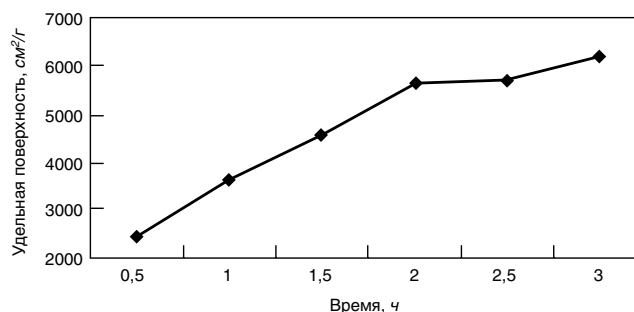


Рис. 2. Кинетика диспергации перлита

удельной поверхности порошка через каждые 30 мин (рис. 2).

Согласно данным о размолоспособности перлита (рис. 2) следует отметить, что наиболее эффективной длительностью его механической активации является временной период до 2 ч (до удельной поверхности 580 м<sup>2</sup>/кг). Дальнейшее измельчение породы происходит менее интенсивно и является экономически нецелесообразным.

Для проведения эксперимента были заформованы образцы-кубики 20×20×20 мм, в которых параметрами варьирования выступили степень дисперсности перлита и содержание щелочного активатора в вяжущей системе, выраженное в виде молярного соотношения основных оксидов Na<sub>2</sub>O и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Na/Al). Экспериментальные составы представлены в табл. 2.

Заформованные образцы сразу же были помещены и выдержаны в сушильном шкафу в течение 24 ч при температуре 80°С. Затем охлаждены, расформованы и выдержаны в естественных условиях (t=22±3°С; относительная влажность воздуха 8–12%) в течение 28 сут с момента формирования, после чего для всех составов были определены показатели прочности при сжатии на гидравлическом прессе. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

На основании анализа приведенных результатов табл. 2 следует, что для активации более крупнодисперсных частиц перлита и получения максимальной прочности камня требуется большее количество щелочного компонента. В то же время при увеличении дисперсности алюмосиликата его реакционная активность возрастает, что ведет за собой снижение необходимого количества щелочного компонента (уменьшения показателя молярного соотношения оксидов Na<sub>2</sub>O и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). При этом введение избыточного количества щелочи в систему приводит к замедлению процессов структурообразования в геополимерной матрице и, как следствие, к пониженным прочностным показателям. Оптимальным является состав на основе перлита с удельной поверхностью 580 см<sup>2</sup>/г при минимальном молярном соотноше-

Таблица 2

№ состава	Время диспергации, ч	Молярное соотношение Na/Al
1	1	1,2
2		1,6
3		2
4	2	1,2
5		1,6
6		2
7	3	1,2
8		1,6
9		2

Таблица 3

№ состава	Предел прочности при сжатии, МПа
1	11,64
2	11,96
3	16,99
4	14,8
5	14,16
6	18,4
7	18,4
8	11,76
9	12,1

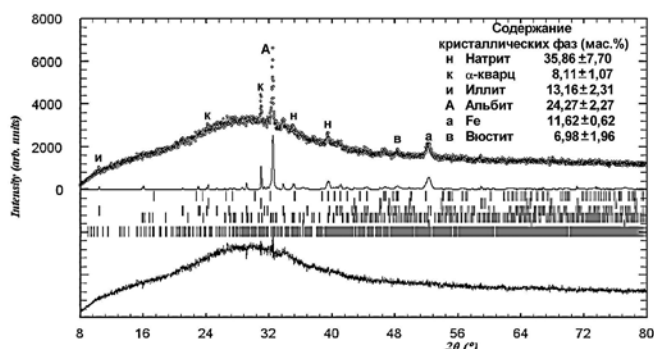


Рис. 3. Количественный РФА перлитового геополимерного вяжущего в возрасте одного года: сверху – точками обозначена экспериментальная дифракционная кривая; сплошной линией – расчетная; внизу – разностная кривая экспериментального и расчетного дифракционного спектра; штрихи – брегговские маркеры отражений для всех фаз

нии оксидов в системе  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=2$  с максимальной прочностью получаемого геополимерного вяжущего 18,4 МПа (состав № 6).

С учетом недостаточной изученности эпигенетического фазообразования в щелочеактивированном перлите была предпринята попытка определения минерального состава кристаллических новообразованных фаз в полученном геополимерном камне с помощью полнопрофильного количественного РФА. Ввиду медленной скорости фазообразования в геополимерных вяжущих использовался образец в возрасте одного года. Проведенная рентгенометрическая диагностика позволила установить присутствие следующих кристаллических минеральных компонентов геополимерного камня: натрит ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) – карбонизовавшаяся непрореагировавшая щелочь; α-кварц; иллит; альбит; вюстит и техногенное железо. РФА-расчеты проводились с применением программы DDM v.1.95e, позволяющей при использовании алгоритма Derivative Difference Minimization не уточнять аппроксимационные параметры сложноструктурированного фона дифракционного спектра [3]. Результат количественного РФА представлен на рис. 3.

К новообразованиям, сформировавшимся из алюмосиликатного геля, образовавшегося в результате щелочного растворения минеральных компонентов перлита, относятся α-кварц и альбит. Это отличает вяжущее на перлите от геополимерных вяжущих на метакаолине и низкокальциевых золах-уноса, в которых кристаллические алюмосиликатные новообразования представлены цеолитными фазами [4]. Следует отметить, что об-

#### Список литературы

1. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 84–87.
2. Кориневский Е.В. PetroExplorer – новая компьютерная программа для хранения и расчета химических анализов минералов и горных пород // *Тезисы докладов VI Международной школы по наукам о Земле им. Л.Л. Перчука*. Одесса, 2010. С. 63–66.
3. Solovyov L.A. Includes Rietveld and Derivative Difference Minimization (DDM) methods // *Journal of Applied Crystallography*. 2004. Vol. 37, pp. 743–749.
4. Criado M., Fernandez-Jimenez A., de la Torre A.G., Aranda M.A.G., Palomo A. An XRD study of the effect of the  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  ratio on the alkali activation of fly ash // *Cement and Concrete Research*. 2007. Vol. 37, pp. 671–679.
5. Петрова В.В. Низкотемпературные вторичные минералы и их роль в литогенезе (силикаты, алюмосиликаты, гидроксиды). М.: ГЕОС, 2005. 240 с.

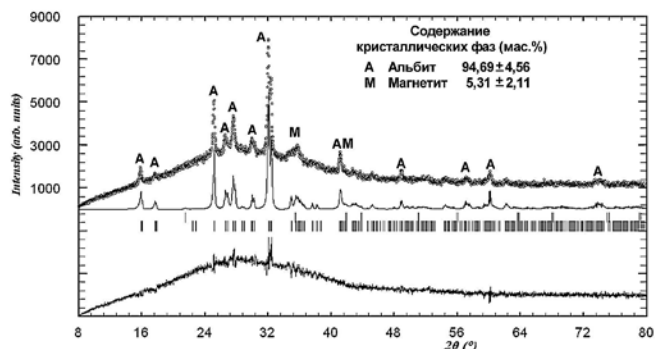


Рис. 4. Количественный РФА перлитового геополимерного вяжущего после шестичасовой термоактивации при  $T=800^\circ\text{C}$

разование безводных каркасных алюмосиликатов, в частности полевых шпатов, при низкой температуре – широко распространенный процесс в реальном минералообразовании [5]. Не исключено, что определенную роль в формировании этих новообразований играют низкоразмерные породообразующие компоненты перлита – кварц и полевые шпаты, которые являются центрами кристаллизации для  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ -геля в процессе твердения вяжущего.

Учитывая малую скорость процессов кристаллизации активированной алюмосиликатной компоненты вяжущего и предполагая, что твердения в продолжительности одного года недостаточно для ее перехода в кристаллическое состояние, был проведен эксперимент по термической активации кристаллизационных процессов. Для этого образец вяжущего был выдержан в течение 6 ч при температуре  $800^\circ\text{C}$ . В результате термической активации декарбонизовался натрит, вюстит окислился до магнетита, кварц растворился в щелочной среде и  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ -гель кристаллизовался в альбит (рис. 4).

Таким образом, геополимерные вяжущие на основе перлитовых пород представлены алюмосиликатными новообразованиями, широко распространенными в реальных минеральных системах. На этом основании можно сделать предварительный вывод об их потенциальной долговечности. Существенно кислый состав исходного перлитового сырья и альбитовых новообразований позволяет предполагать, в частности, высокую кислотно-коррозионную резистентность материалов на основе перлитовых геополимерных вяжущих.

#### References

1. Lesovik V.S., Zhernovoy F.E., Glagolev E.S. Application of natural perlite in blended cements. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 84–87. (In Russian).
2. Korinevsky E.V. PetroExplorer – a new computer program for storage and calculation of chemical analysis for minerals and rocks. *Proceeding of VI International school on Earth sciences named after L.L. Perchuk*. Odessa. 2010, pp. 63–66. (In Russian)
3. Solovyov L.A. Includes Rietveld and Derivative Difference Minimization (DDM) methods. *Journal of Applied Crystallography*. 2004. Vol. 37, pp. 743–749.
4. Criado M., Fernandez-Jimenez A., de la Torre A.G., Aranda M.A.G., Palomo A. An XRD study of the effect of the  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  ratio on the alkali activation of fly ash. *Cement and Concrete Research*. 2007. Vol. 37, pp. 671–679.
5. Petrova V.V. Nizkotemperaturnie vtorichnie mineraly i ih rol v litogeneze [Low-temperature secondary minerals and its role in lithogenesis]. Moscow: GEOS. 2005. 240 p.

УДК 666.942.022.4:66.041.9

Л.И. ХУДЯКОВА, канд. техн. наук (lkhud@binm.bscnet.ru),  
 О.В. ВОЙЛОШНИКОВ, канд. техн. наук, И.Ю. КОТОВА, канд. хим. наук

Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН (670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)

## Влияние механической активации на процесс образования и свойства композиционных вяжущих материалов\*

Рассмотрена возможность повышения качества композиционных вяжущих материалов с добавкой магнезиально-силикатных пород путем механической активации сырьевых смесей. Установлено, что с увеличением времени механоактивации с 1 до 20 мин увеличивается удельная поверхность сырьевой смеси, при которой повышается химическая активность поверхностного слоя, что способствует ускорению твердофазных реакций с образованием силикатов типа диопсида, монтичеллита, мервинита. Определено оптимальное время механоактивации (15 мин), при котором в гидратированной системе отмечено наибольшее количество смешанных гидросиликатов кальция, магния и железа, что обуславливает высокие физико-механические показатели вяжущих композиций. Установлено, что при 15 мин измельчения сырьевой смеси предел прочности при изгибе вяжущих композиций в возрасте 28 сут нормально-влажностного твердения составляет 20,2 МПа, а при сжатии – 66,7 МПа.

**Ключевые слова:** механоактивация, магнезиально-силикатные породы, композиционные вяжущие, дуниты.

L.I. KHUDYAKOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (lkhud@binm.bscnet.ru),  
 O.V. VOILOSHNIKOV, Candidate of Sciences (Engineering), I.Yu. KOTOVA, Candidate of Sciences (Chemistry)  
 Baikal Institute of Nature Use, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
 (6, Sakhyanova Street, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, 670047, Russian Federation)

### Influence of Mechanical Activation on Process of Formation and Properties of Composite Binding Materials\*

The possibility of increasing the quality of composite binders with the addition of magnesia-silicate rocks by means of mechanical activation of raw mixes is considered. It is established that the increase in the time of mechanical activation from one up to twenty minutes leads to the increase in the specific surface of the raw mix that promotes the increase in chemical activity of the surface layer and acceleration of solid-phase reactions with generation of silicates of diopside, monticellite, and mervinite types. The optimal time of mechanical activation (15 minutes), in which the hydrated system has the highest quantity of mixed hydro-silicates of calcium, magnesium and iron that leads to high physical-mechanical properties of binding compositions, has been determined. It is established that after 15 minute grinding of the raw mix the ultimate strength of binding compositions when bending, after 28 days of normal-humidity hardening, is equal to 20.2 MPa, under compression – to 66.7 MPa.

**Keywords:** mechanical activation, magnesia-silicate rocks, composite binders, dunitite.

В последние годы в связи с дефицитом конкурентоспособных отечественных материалов и уменьшением запасов качественного природного сырья важное значение в производстве строительных материалов приобретает использование нетрадиционного для данной отрасли сырья, в частности техногенного. В большинстве случаев применяемые материалы малоактивны. Одним из наиболее распространенных способов повышения их реакционной способности является применение методов механоактивации.

Известно, что интенсивные механические воздействия могут изменять структуру материалов и улучшать их технологические свойства. Многочисленные исследования [1–6] показали, что механическая активация твердых материалов вследствие изменения их кристаллической решетки за счет создания дефектности структуры фаз приводит к образованию активных центров на поверхности частиц и, следовательно, к повышению реакционной способности. Варьируя соотношением компонентов сырьевой смеси и продолжительностью механоактивации, можно целенаправленно управлять процессами структурообразования измельчаемых систем для получения вяжущих материалов высокого качества.

Цель работы – исследование изменений в структуре композиционных материалов после механической активации их сырьевых смесей и выбор оптимальных условий ее проведения для получения вяжущих с высокими физико-механическими показателями.

В качестве сырьевых материалов использовали портландцементный клинкер Тимлюйского цементного завода, гипс Нукутского гипсового карьера и магнезиально-силикатную горную породу (дунит) Северо-Байкальской рудной зоны со следующим содержанием основных компонентов, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 37,4;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,25;  $\text{MgO}$  – 40,81;  $\text{CaO}$  – 0,4;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3,1;  $\text{FeO}$  – 12,6;  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – 0,16.

Магнезиально-силикатное сырье, имея огромные запасы, считается нетрадиционным для производства строительных материалов. В частности, дуниты, состоящие из оливина (до 97%) и хромшпинели, являются упорной и химически инертной породой, которую можно использовать в составе композиционных вяжущих материалов при условии повышения ее реакционной способности.

Механическую активацию проводили в стержневом вибрационном измельчителе типа 75ТДр-М. Для него характерна высокая инерционная энергия ударно-сдвигового воздействия мелющих тел на измельчаемую поверхность, что приводит к увеличению активности и качества композиционных вяжущих материалов.

При изучении физико-химических и структурных взаимодействий дунита с портландцементным клинкером использован комплексный метод, включающий в себя химический, рентгенофазовый анализы. При этом определялся фазовый состав вяжущих композиций до и после процесса гидратации.

\* Работа выполняется по программе ОХНМ РАН № 5.5.2 «Новые виды материалов из отходов производства и потребления».

\* The work is performed under the Program № 5.5.2 «New Types of Materials from Wastes of Production and Consumption» of the Department of Chemistry and Material Sciences of the Russian Academy of Sciences.

Время измельчения, мин	Предел прочности, МПа, в возрасте, сут					
	при изгибе			при сжатии		
	7	14	28	7	14	28
1	2,8	4,5	5,6	12,4	14,6	18,3
5	9,4	14,2	17,5	40,5	49,8	56,5
10	12,8	16,6	19,4	43,5	51,5	62,5
15	13,6	17,7	20,2	49,8	57,6	66,7
20	13	17,2	19,8	46,4	56,8	60,1

Рентгенофазовый анализ проводился на порошковом автоматическом дифрактометре D8 Advance фирмы Brukeraks (Германия) с соответствующим программным обеспечением со скоростью угломера 2°/мин в интервале от 5 до 70°. Режим съемки рентгенограмм для всех проб оставался постоянным. Расшифровка производилась по справочным данным.

Вяжущие композиции готовили смешиванием 70% порландцементного клинкера, 30% магнезиально-силикатной добавки (дунита) и 2% гипса (от массы клинкера и дунита) [7, 8].

Механическую обработку образцов сырьевой смеси проводили в режиме сухого помола в течение различного времени (1, 5, 10, 15 и 20 мин). В результате механоактивации происходят образование новой поверхности, различного рода дефектов в кристаллах, выделение тепла, химические превращения.

Для изучения изменений, происходящих внутри системы в зависимости от времени ее измельчения, был выполнен рентгенофазовый анализ. Установлено, что с увеличением времени измельчения от 1 до 5 мин в системе порландцементный клинкер – дунит кроме основных линий, принадлежащих клинкеру и дуниту, наблюдается образование новых пиков, соответствующих кальциево-магниево-силикатам. Увеличение времени измельчения до 15 мин способствует нарушению структурного порядка зерен шихты, вызванному механическим воздействием на систему, что сопровождается уменьшением размера ее частиц и соответственно увеличением удельной поверхности, аккумулярованием на ней свободной энергии и повышением химической активности поверхностного слоя [9]. Это способствует ускорению твердофазных реакций с образованием силикатов типа диопсида, монтичеллита, мервинита. Дальнейшее увеличение времени измельчения образцов до 20 мин не приводит к заметным изменениям на рентгенограммах.

Изменения свойств образцов в результате механоактивации обуславливают различие гидратационной активности и соответственно физико-механических характеристик цементного камня на их основе.

Гидратация кальциево-силикатных фаз цемента и смешанных вяжущих веществ рассмотрена подробно в [10]. Показано, что в результате гидролиза двух- и трехкальциевых силикатов образуются гидроортосиликаты кальция и гидроксид кальция в свободном состоянии, которые с течением времени, взаимодействуя друг с другом, образуют гидроксогидроортосиликаты и гидроксоортосиликаты кальция.

В нашем случае в растворе, кроме того, находятся силикаты магния и железа, принадлежащие магнезиально-силикатной добавке (дуниту), которые, подвергаясь гидролизу, образуют кислые соли ортокремневой кислоты и гидроксиды магния и железа. В реальных условиях полному протеканию гидролиза мешает высокая концентрация гидроксидов кальция и магния в жидкой фазе, поэтому предпочтительнее образование смешанных кальциево-магниево-гидроси-

ликатов. Совместное присутствие в растворе гидроксидов кальция, магния и железа способствует образованию смешанных их гидроксолей различных составов с различной заселенностью позиций катионами.

Образование гидросиликатов кальция, магния, а также смешанных гидросиликатов кальция, магния и железа различного типа строения подтверждены результатами рентгенофазового анализа. Определено, что измельчение сырьевой смеси в течение 1 мин с последующей гидратацией образцов в основном способствует появлению новых линий, соответствующих гидросиликатам кальция. Образования гидросиликатов магния практически не происходит, так как дунит является относительно инертной породой, и данного времени для его активации недостаточно. С увеличением времени измельчения до 15 мин, т. е. с увеличением удельной поверхности компонентов шихты повышается дефектность структуры дунита, что приводит к повышению его реакционной способности. В результате на рентгенограммах появляются новые пики, принадлежащие к гидросиликатам магния, а также к смешанным гидросиликатам кальция, магния и железа. Реакционная способность системы при времени измельчения 20 мин, несмотря на возросшую удельную поверхность, практически не изменяется, а прочностные показатели вяжущих композиций даже снижаются. Следовательно, изменения физико-химических свойств системы порландцементный клинкер – дунит обуславливают различие гидратационной активности и соответственно прочностных показателей цементного камня на их основе (таблица).

Как показывают данные, с увеличением времени механоактивации шихты от 1 до 15 мин физико-механические показатели вяжущих композиций возрастают. Наибольшие значения достигаются в образцах при времени измельчения 15 мин. При 20 мин наблюдается незначительное снижение прочностных характеристик, что, вероятно, связано с процессом агломерации порошков.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено:

- с увеличением времени механоактивации увеличивается удельная поверхность компонентов системы порландцементный клинкер – дунит, что способствует повышению дефектности структуры шихты и, как следствие, ее реакционной способности;
- варьируя продолжительностью механоактивации, выбрано оптимальное время измельчения, при котором в гидратированной системе отмечено присутствие наибольшего количества смешанных гидросиликатов кальция, магния и железа, что обуславливает лучшие физико-механические показатели вяжущих композиций;
- использование магнезиально-силикатного сырья в виде дунитов, являющихся отходами горнодобывающей промышленности, способствует не только получению новых видов композиционных вяжущих материалов с высокими прочностными показателями, но и улучшению экологической обстановки в стране.



## Список литературы

1. Федоркин С.И., Макарова Е.С. Механохимическая активация вторичного сырья – эффективное направление улучшения свойств строительных материалов на его основе // *Строительство и техногенная безопасность*. 2011. Вып. 36. С. 67–72.
2. Жерновский И.В., Строкова В.В., Бондаренко А.И., Кожухова Н.И., Соболев К.Г. Структурные преобразования кварцевого сырья при механоактивации // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 56–58.
3. Тихомирова И.Н., Макаров А.В. Механизм фазообразования и твердения механоактивированных известково-кварцевых смесей при тепловлажностной обработке // *Строительные материалы*. 2013. № 1. С. 44–49.
4. Гуревич Б.И., Калинин А.М., Калинин Е.В., Тюкавкина В.В. Влияние механоактивации нефелинового концентрата на его вяжущие свойства в составе смешанных цементов // *Журнал прикладной химии*. 2013. Т. 86. Вып. 7. С. 1030–1035.
5. Песчанская В.В., Макарова А.С., Голуб И.В. Влияние механической активации на процессы твердения и свойства огнеупорного бетона // *Технологический аудит и резервы производства*. 2013. № 1/2 (9). С. 29–33.
6. Косач А.Ф., Рашупкина М.А., Гутарева Н.А., Обадьянов А.В. Влияние удельной поверхности частиц речного песка на физико-механические свойства мелкозернистого бетона // *Вестник Югорского государственного университета*. 2012. Вып. 2 (25). С. 34–36.
7. Худякова Л.И., Войлошников О.В., Котова И.Ю. Отходы горнодобывающих предприятий как сырье для получения строительных материалов // *Вестник ДВО РАН*. 2010. № 1. С. 81–84.
8. Худякова Л.И., Тимофеева С.С. Разработка технологии утилизации вмещающих пород месторождений щелочно-ультраосновных формаций на примере дунитов Июко-Довыренского массива // *Вестник ИрГТУ*. 2012. № 4 (63). С. 74–77.
9. Герасимова Л.Г., Маслова М.В., Щукина Е.С. Роль механоактивации при получении минерального пигмента-наполнителя из титанита // *Журнал прикладной химии*. 2010. Т. 83. № 12. С. 1953–1959.
10. Козлова В.К., Ильевский Ю.А., Карпова Ю.В. Продукты гидратации кальциево-силикатных фаз цемента и смешанных вяжущих веществ. Барнаул: Издательство АлтГТУ, 2005. 183 с.

## References

1. Fedorkin S.I., Makarova E.S. Mechanochemical activation of secondary raw materials - effective direction of improving the properties of building materials based on it. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2011. Vol. 36, pp. 67–72. (In Russian).
2. Zhernovsky I.V., Strokov V.V., Bondarenko A.I., Kozhukhova N.I., Sobolev K.G. Structural transformations of silica raw material in the course of mechanical activation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10, pp. 56–58. (In Russian).
3. Tikhomirova I.N., Makarov A.V. Mechanism of phase formation and hardening of mechanically activated lime-quartz mixes in the course of heat-humidity treatment. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 1, pp. 44–49. (In Russian).
4. Gurevich B.I., Kalinkin A.M., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. The influence of mechanical activation of nepheline concentrate on its binding properties in mixed cements. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2013. Vol. 86. Issue. 7, pp. 1030–1035. (In Russian).
5. Peschanskaya V.V., Makarova A.S., Golub I.V. Effect of mechanical activation on the curing process and the properties of refractory concrete. *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva*. 2013. No. 1/2 (9), pp. 29–33. (In Russian).
6. Kosach A.F., Rashchupkina M.A., Gutareva N.A., Obadyanov A.V. The influence of the specific surface area of the particles of river sand on the physico-mechanical properties of fine-grained concrete. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. Vol. 2 (25), pp. 34–36. (In Russian).
7. Khudyakova L.I., Voiloshnikov O.V., Kotova I.Y. Mine waste as raw material for building materials. *Vestnik DVO RAN*. 2010. No. 1, pp. 81–84. (In Russian).
8. Khudyakova L.I., Timofeeva S.S. Development of technology for utilization of the host rocks of alkaline-ultramafic formations by the example of dunitite Yoko-Dovyren array. *Vestnik IrGTU*. 2012. No. 4 (63), pp. 74–77. (In Russian).
9. Gerasimova L.G., Maslova M.V., Shchukina E.S. The role of mechanical activation in the preparation of mineral pigment-filler titanite. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2010. Vol. 83. No. 12, pp. 1953–1959. (In Russian).
10. Kozlova V.K., Ilievsky Yu.A., Karpova Yu.V. Produkty gidratatsii kal'tsievo-silikatnykh faz cementa i smeshannykh viazhushchikh veshchestv [Hydration products of calcium-silicate phases of cement and mixed binders]. Barnaul: AltGTU Publishing. 2005. 183 p.

## НОВОСТИ КОМПАНИЙ

## Оборудование компании ВСЕЛУГ успешно работает в ГК «ПЕНЕТРОН Россия»

ГК «ПЕНЕТРОН Россия», созданная в 1994 г., в настоящее время производит и поставляет материалы нового поколения для строительства, восстановления и гидроизоляции строительных конструкций. В 2014 г. на производственной базе ГК «ПЕНЕТРОН Россия» запущена новая производственная линия по выпуску ССС в Екатеринбурге.

В качестве проектировщика производства и поставщика технологического оборудования была выбрана машиностроительная компания ВСЕЛУГ. Новая производственная линия мощностью 15 т/ч ССС включает оборудование для дозирования и смешивания, включая интенсивный смеситель ВСЕЛУГ ТорнадоТМ и фасовку продукции с возможностью использования пластиковых ведер (емкостью 25, 8 и 4 кг), клапанных мешков (25 кг) и биг бэгов (1000 кг).

Задача получения смесей специального назначения в сочетании с высочайшими требованиями к организации

производства и качеству продукции была главенствующей при проектировании технологии. Например, в линии подготовки цемента предусмотрено оборудование для удаления крупных и инородных включений.

Машиностроительная компания ВСЕЛУГ уже более 21 года специализируется на разработке, производстве, поставке и пуске в эксплуатацию оборудования и технологических комплексов для работы с сыпучими продуктами. Компания располагает собственными конструкторским, технологическим и АСУТП отделами, службой сервиса и наладки и производством (Фокинский машиностроительный завод ВСЕЛУГ), на котором с 2009 по 2012 гг. был заменен весь станочный парк советского периода на европейский и североамериканский.

По материалам МК ВСЕЛУГ

XX МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

# ВОЛГАСТРОЙЭКСПО

21-24  
АПРЕЛЯ

2015  
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@exprokazan.ru  
www.volgastroeyexpo.ru, www.exprokazan.ru

12+

## 28-30 апреля

г. Барнаул,  
Дворец зрелищ и спорта, уличная площадка

20-я Межрегиональная  
специализированная выставка

# Строительство Благоустройство Интерьер'2015

Одно из главных специализированных  
событий в СФО для строительной индустрии,  
сферы ЖКХ и других смежных рынков.

Организаторы выставки:  
- ЗАО «Алтайская ярмарка»;  
- ООО «Современные выставочные технологии».

+7 (3852) 65-88-44, altfair@altfair.ru

[www.stroyka.altfair.ru](http://www.stroyka.altfair.ru)

Организатор:

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

научно-технический журнал

При поддержке:

**EQUIPceramic**

**Verdés**

Генеральный спонсор:

**LSR** ЛСР  
Стеновые

27–28 МАЯ 2015

КАЗАНЬ,  
РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН,  
РОССИЯ  
ГК «КАЗАНСКАЯ РИВЬЕРА»

ON MAY 27–28, 2015

KAZAN,  
REPUBLIC OF TATARSTAN,  
RUSSIA  
HOTEL «KAZANSKAYA RIVYERA»



THE SCIENTIFICALLY-PRACTICAL CONFERENCE  
«DEVELOPMENT OF THE CERAMIC INDUSTRY OF RUSSIA»

**KERAMTEX**



Партнеры МИАП КЕРАМТЭКС:



**27.05.2015**

Посещение нового современного предприятия – ООО «Мамадышский кирпичный завод»  
VISIT TO THE NEW MODERN ENTERPRISE – MAMADYSHSKY BRICK-PLANT



**28.05.2015**

Пленарное заседание / Plenary session  
Гала-ужин с вручением профессиональных наград в ресторане «Панорама»  
CERAMIC AWARDS DINNER AT RESTAURANT «PANORAMA»

Руководитель проекта – Юмашева Елена Ивановна  
Менеджер проекта – Лескова Елена Львовна

Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 9, стр. 3  
Тел./факс: +7 (499) 976-22-08, 976-20-36, моб. +7 (910) 437-03-98

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

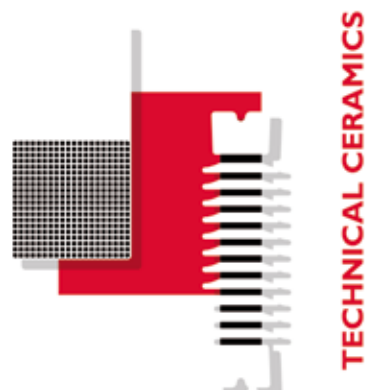
[mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru)

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

## Немецкая компания ЛИНГЛ (LINGL) на выставке МосБилд-2015 — одной из важнейших выставок года



Грубая керамика



Техническая керамика



Санитарная керамика



Огнеупоры

После обширной реструктуризации, проведенной в прошлом году, фирма ЛИНГЛ возлагает большие надежды на выставку МосБилд-2015.

Впервые на выставке компания ЛИНГЛ представит расширенный ассортимент своей продукции. Немецкое предприятие традиционно придерживается своей стратегии по представлению высококачественной производственной техники для различных сфер керамической промышленности.

Наряду с машинами и линиями для промышленности грубой керамики компания ЛИНГЛ представит инновационные решения для производителей санитарной керамики, энергосберегающую технику для высокотемпературных печей огнеупорной промышленности и различные специальные решения для всех сфер технической керамики.

По словам г-на Карла Лиделя – руководителя отдела сбыта и обработки проектов компании ЛИНГЛ, благодаря новым сферам деятельности фирма представлена более дифференцированно, что поможет лучше адаптироваться к реалиям керамического рынка. Первые успешно выполненные в этих сферах контракты указывают на то, что компания на верном пути.

Несмотря на непростую экономическую ситуацию, российский рынок был и остается для фирмы ЛИНГЛ рынком огромного значения. Компания будет и в дальнейшем активно работать в России, расширяя свое присутствие.

Фирма ЛИНГЛ будет очень рада приветствовать своих заказчиков и потенциальных клиентов на выставке МосБилд-2015 с 14 по 17 апреля в Москве.

Фирма ЛИНГЛ в ходе выставки МосБилд-2015 представит расширенный ассортимент своей продукции.

### По всем вопросам

Ханс Лингл Анлагенбау унд Ферфаренстехник ГмбХ & Ко. КГ  
Нордштрассе, 2, 86381 Крумбах, Германия

### Моника Кемпфле

Тел. +49 (0)82 82/825-245 Факс +49 (0)82 82/825-510  
E-Mail: [m.kempfle@lingl.com](mailto:m.kempfle@lingl.com) [www.lingl.com](http://www.lingl.com)

**Hans Lingl Anlagenbau und Verfahrenstechnik GmbH & Co. KG**

Postfach/P.O.Box 1262 • D-86381 Krumbach | Nordstraße 2 • D-86381 Krumbach  
Telefon +49 (0)8282 825-0 | Fax +49 (0)8282 825-510

Mail: [lingl@lingl.com](mailto:lingl@lingl.com)  
[www.lingl.com](http://www.lingl.com)



# LINGL – ПАРТНЕР ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



HEAVY CLAY

Грубая керамика



TECHNICAL CERAMICS

Техническая керамика



SANITARY WARE

Санитарная керамика



REFRACTORY

Огнеупоры

Сервис

LINGL предлагает различные решения для всех стадий разработки проекта керамического производства: Наши инженеринговые услуги, включающие в себя исследования сырья и разработку технологии, а также индивидуальную оптимизацию оборудования и перспективные концепции производства, помогают нашим клиентам во всем мире получить конкурентные преимущества.

Сервисное обслуживание является для фирмы ЛИНГЛ важным и основным моментом. Силами нашего сервисного филиала "ООО Лингл Сервис" в г. Санкт-Петербурге мы оказываем оптимальную поддержку нашим клиентам.

Это включает в себя как снабжение запасными и изнашиваемыми деталями и разработку мер по оптимизации и модернизации производства, так и техническое обслуживание, ремонт, проведение обучений и тренингов.

Качество, компетенция и надежность способствуют сохранению длительных партнерских отношений – для сохранения этих ценностей мы работаем для Вас уже более 75 лет!

LINGL – качество „Сделано в Германии“



MADE IN GERMANY

Представительство фирмы „LINGL“ в России и странах СНГ 196 247, Россия, г. Санкт Петербург - Ленинский проспект, дом 160 офис 302 тел/факс +7 812 703 4199 - моб. тел. +7 911 812 2237 - mail: lingl.russia@gmail.com

Посетите наш стенд на

MosBuild 14-17 апреля 2015

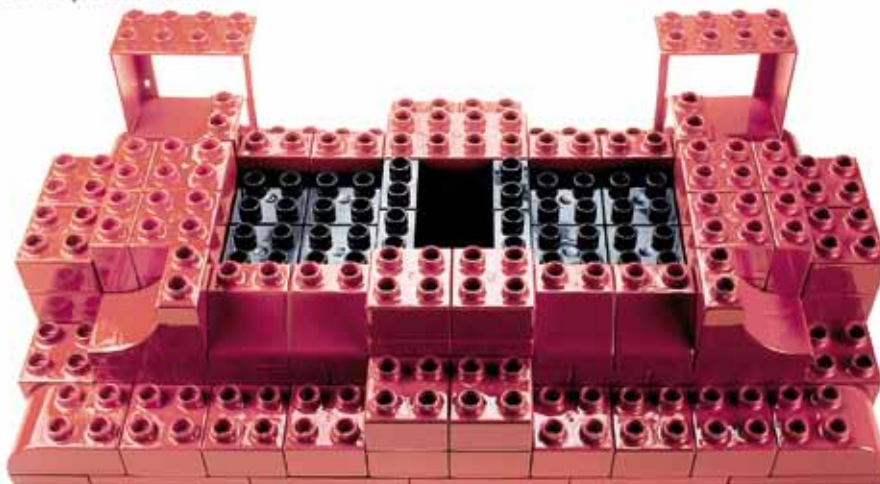
зал 1, пав. 5, стенд K123

Представительство ЛИНГЛ в России:  
Глеб Юшкев - gleb.yushkev@lingl.ru  
Тел. +7 812 309 5611 - Моб. +7 911 812 2237

www.lingl.com

# ДЕЛАЙ ПРОСТО, НАСКОЛЬКО ВОЗМОЖНО, НО НЕ ПРОЩЕ ЭТОГО.

Альберт Эйнштейн



Дистрибутор для России  
**Salvena**  
1116 +7 (495) 550 50 11, +7 (495) 550 50 12  
www.salvena.it

Visit us  
**MosBuild**  
BUILDING & ARCHITECTURE  
Строительство и Архитектура  
Pavilion 51 14 - 17 April 2015



**PORTE**  
MOLDES PARA EXTRUSIÓN CERÁMICA

Мы применяем технологии и инновации + развитие к мундштукам, в которых простота сопровождает возможность освободить, заменить и монтировать с лёгкостью каждую деталь, она может быть установлена только на своём месте, без ошибок.

Наши продукты считаются самыми рентабельными на рынке, благодаря низкой стоимости их обслуживания, меньших остановок в процессе производства и быстрому и лёгкому запуску.



# Мы всегда там, где это необходимо!

После трех десятилетий опыта и проектов в более чем 40 странах мира, мы продолжаем динамично развиваться!



**18** **Завершенных  
Проектов  
2014-2015**

- Россия:  
 • Кипрево 1 - Винербергер • Куганакский кирпичный завод  
 • Киинель Черкасский Кирпичный Завод • Железногорский Кирпичный Завод
- Алжир: • Sarl Edhaia • Sarl Boumerdes • Sarl El Barakate II • Sarl Ettu • Grande Briqueterie des Oasis  
 Курдистан: • Halabja Group | Мексика: • Laminados De Barro | Турция: • Kilsan Tugla • Basak  
 Швейцария: • ZZ Wancor, Wienerberger Group | Румыния: • Cemacon | Судан: • Al Zawaya Group



Доверьтесь надежному партнеру!

**MosBuild**  До встречи на выставке строительной  
Выставке MosBuild 2015, 14-17 апреля  
Номер стенда K221, Павильон 5-1

**SABO** S.A.  
brick & tile

SABO S.A. 34002 Василико - Халкис - Эвбея - Греция, Тел.: +30 22210 51805-9, Факс: +30 22210 54073  
 SABO S.A. в России: Москва, Ленинский проспект 146, Аструс Отель, 10 этаж, Тел.: +7-917-763-95-69

e-mail: sb\_sales@sabo.gr  
[www.sabo.gr](http://www.sabo.gr)



## Стерлитамакский кирпичный завод

В начале марта 2015 г. компания SABO S.A. успешно завершила монтаж, программирование и ввод в эксплуатацию полностью автоматической роботизированной линии разгрузки печных вагонеток и упаковки обожженных изделий на Стерлитамакском кирпичном заводе (Республика Башкортостан). Новая линия разгрузки способна работать со стандартными форматами кирпича в соответствии с российским ГОСТ 530–2012.

По требованиям клиента линия может работать с двумя разными типами поддонов, а также с пакетами различного вида.

Первый робот посредством захвата осуществляет разгрузку печных вагонеток, обеспечивая точный съём обожженного кирпича и размещение его на программном столе. Программный стол для программирования кирпичей и подготовки слоев обожженного кирпича специально спроектирован для создания различных типов слоев, который также оснащен устройством кантования для переворачивания кирпичей в соответствии с требуемым видом конечной упаковки.

Для управления перемещением пустых и загруженных готовыми изделиями поддонов на заводе установлено два цепных конвейера.

Второй робот загружает на поддоны запрограммированные слои кирпича; а также способен принимать поддоны с конвейера пустых поддонов и размещать их на конвейере загруженных поддонов.

Робот готовит окончательный поддон с необходимым количеством кирпича, и после этого окончательный пакет движется на конеч-

ный цепной конвейер. Для обвязки поддонов предусмотрено оборудование горизонтальной и вертикальной обвязки для придания жесткости пакету и обеспечения безопасного складирования и транспортировки готовой продукции.

Гибкость и универсальность линии разгрузки и упаковки обеспечивает создание конечной упаковки для поддонов с размерами 1000×1000 мм и 750×1000 мм, что дает возможность работать с различными видами пакетов.

Компания SABO S.A. также провела обучение персонала заказчика, и линия работает в полностью автоматическом режиме в присутствии только одного оператора.

Проект был успешно завершен в соответствии с первоначальным графиком и отвечает всем требованиям качества, безопасности и надежности и стандартам производительности.

Команда SABO S.A. с более чем 30-летним опытом работы и уверенным и стабильным присутствием в Российской Федерации всегда готова предоставить производителям кирпича решения и оборудование в соответствии с российскими и мировыми стандартами.



Офис компании SABO S.A. в Москве  
Москва, Ленинский проспект, 146, Аструс Отель  
(Центральный дом туриста), 10-й этаж  
Тел. +79177639569

SABO S.A.  
34002 Vassiliko - Chalkida - Evia - Greece  
Tel.: +30 22210 51805-9, Fax: +30 22210 54073  
E-mail: sb\_sales@sabo.gr www.sabo.gr

## Испанская фирма «Экипсерамик» (Equipceramic, S.A.) – партнер КЕРАМТЭК-2015 подписала контракт с известной компанией из Саудовской Аравии

«Yamata Company for red bricks» («Компания Ямама для красного кирпича») находится в г. Эр-Рияд (Королевство Саудовская Аравия). Ее первый керамический завод был построен в 1970-х гг. В настоящее время компания владеет пятью фабриками, которые производят широкую гамму керамических блоков для несущих стен и межкомнатных перегородок, лицевой и пустотелый кирпич, мостовой камень и черепицу.

Благодаря высоким стандартам качества своей продукции «Yamata Company for red bricks» стала одним из лидирующих предприятий в области строительной керамики в странах ССАГПЗ (GCC) – Совета сотрудничества арабских государств Персидского залива и Среднего Востока и доверила «Экипсерамик» строительство нового производства в районе Нисах (Nisah).

За несколько месяцев до подписания контракта группа инженеров «Ямама» и «Экипсерамик» провела тщательный технический анализ, в котором предусмотрела все детали реализации проекта. Творческий и всеобъемлющий подход к проведению данного анализа позволил создать детальный проект завода, который отвечает всем требованиям клиента в области технологического прогресса.

### Основные данные проекта

- **Производительность:** 700 т изделий/день.
- **Гамма продуктов** включает керамические блоки для несущих стен и межкомнатных перегородок, сводовые перекрытия, лицевой кирпич и мостовой камень.
- **Заводская площадь:** 18 тыс. м<sup>2</sup>.
- **Пуск завода** – начало 2016 года.
- **Технические характеристики:**
  - Двойная линия резки.
  - Роботы на линиях садки, разгрузки вагонеток и пакетирования.
  - Сушилка с гипервентиляцией высокой энергетической эффективности и с оптимальным циклом сушки.



Подписание контракта (слева направо): г-н Эмад Аль Замиль, генеральный директор «Ямама»; Франсиско Паин, генеральный директор «Экипсерамик»; г-н Абдула Аль Замиль, президент «Ямама», и г-н Жоан Карлос Сердан, руководитель экспортного отдела «Экипсерамик»

- Туннельная печь с высокой термической изоляцией.
- Новейшее программное обеспечение, которое гарантирует непрерывный контроль производственного процесса и возможность его планирования.
- Оборудование по глиноподготовке и формованию фирмы «Бонджоанни».

### Упрочение позиций «Экипсерамик»

Новый завод фирмы «Ямама» укрепит позиции «Экипсерамик» на Среднем Востоке, где она уже располагает такими важными объектами, как «Клаус» в г. Хомс (Сирия), реализация которого была завершена в 2009 г., и «North Crescent» в г. Эрбил (Ирак) мощностью в 1200 т изделий в день (запуск – февраль 2015 г.).

Данные проекты упрочат позиции компании и поднимут ее авторитет в регионе.

<http://www.equipceramic.com/>



## Итальянская компания «ЧИСМАК» (CISMAC):

постоянное развитие и технологическое усовершенствование



Доказательством постоянного развития и верности компании своему ДНК, а также понятию «Made in CISMAC», является недавнее расширение технических и производственных отделов фирмы, которые занимаются проектированием и изготовлением уникальных и эксклюзивных линий резки экструдированных изделий. Такие линии в настоящее время являются самыми эволюционными и высокотехнологичными ориентирами на рынке оборудования для кирпичных заводов.

Сегодня ЧИСМАК предлагает многострунный автомат резки Starcut. Это высокопроизводительная машина, которая одновременно обеспечивает качественный уровень отделки изделий.

Автомат Starcut гарантирует производительность до 15 тыс. шт./ч как полнотелого, так и пустотелого кирпича и максимальное качество продукта благодаря использованию

таких решений, как: очистка, автоматическое регулирование напряжения и контроля разрыва струны, автоматическая смазка всех движущихся частей, нанесение фаски со всех (4+4) сторон, использование моторизованных роликов и быстрая смена формата. Это дает возможность комбинировать и достигать беспрецедентного качественного производства. Кроме того, быстрое изменение формата, отсутствие вибрации, точность резки, механическая эффективность и низкие эксплуатационные расходы делают эту установку особой гордостью специалистов компании ЧИСМАК и новой точкой отсчета.

Компания ЧИСМАК разрабатывает и осуществляет проекты, изготавливает линии для транспортировки и подготовки продукции к загрузке в роботизированных отделах, а также системы погрузки/разгрузки обычного типа в зависимости от конкретных потребностей и запросов клиентов.



**Вальцы  
«Оптим»**

(ключевые преимущества)

- Новая автоматическая система выставления зазора между бандажами, обеспечивающая требуемый зазор с точностью ±0,01 мм.
- Более высокое усилие поджатия валков
- Уменьшенные допуски используемых подшипников
- Новые элементы контроля и управления
- Прочная и устойчивая рама, менее подверженная деформациям и вибрации
- Бандажи высокой твердости шириной от 600 до 1400 мм
- Облегченный доступ для обслуживания и замены изнашивающихся компонентов
- Минимальные эксплуатационные расходы



Тальерес Фелипе ВЕРДЕС, С.А.  
russia@verdes.com / Тел. +7 495 544 77 92, +7 916 554 64 88

www.verdes.ru



Два сильных партнера в  
технологии керамической  
промышленности!



Вакуумные агрегаты Futura II  
в комплекте с головкой пресса и мундштуком

HÄNDLE предлагает полную программу вакуумных агрегатов, которая покрывает широкую область применения, от панелей до крупноформатных кирпичей и подобных продуктов. Она имеет сквозное модульное строение и состоит из экструдеров и вакуумных смесителей различных размеров. При конструировании экструдеров Futura II фирмы HÄNDLE последовательно претворялись в жизнь новейшие познания в области машин и технологий экструзионной техники – тем самым этот ряд продукции предлагает ориентированное на пользу клиента соотношение благоприятной цены / производительности. Поставляются с

диаметром цилиндра от 200 до 750 мм, допустимым давлением пресса от 20 до 50 бар и объемным расходом от 1,9 до 60 м<sup>3</sup>/ч. Теперь программу оборудования HÄNDLE дополняет высококачественная продукция фирмы ZMB BRAUN - ведущего мирового производителя мундштуков, обладающего широким спектром технических решений для керамической промышленности. Мы уверены, что объединение опыта двух сильных технологических партнеров принесет нашим заказчикам пользу, дополнительные удобства и возможности.



Министерство строительства, архитектуры и ЖКХ  
Республики Татарстан

Центральный научно-исследовательский и проектный институт  
жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища)

Объединенная редакция научно-технических журналов  
«Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®



## V Международная научно-практическая конференция «Развитие крупнопанельного домостроения в России»

# InterConPan-2015

International Conference of Large-panel Construction

30 июня – 3 июля 2015 г.

Казань

### Тематика конференции:

- Состояние базы крупнопанельного домостроения в РФ
- Модернизация предприятий КИД
- Оборудование и технологии
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Проблемы тепловлажностной обработки изделий и конструкций
- Архитектурно-планировочные решения
- Качество и энергоэффективность полносборных зданий
- Расчет и конструирование узлов сборных элементов
- Новые решения фасадов
- Применение архитектурного бетона
- Проблемы армирования ЖБК и КИД
- Опыт строительства крупнопанельного жилья

### Программа конференции включает:

Пленарное заседание

Секции:

«Архитектура и особенности проектных решений  
крупнопанельных зданий»

«Гибкая технология предприятий ДСК и КИД»

**Круглый стол «Девелоперы о проблемах  
крупнопанельного домостроения»**

Посещение

Казанский ДСК

Жилой Комплекс «Светлая Долина»

ООО «Домкор Индустрия»

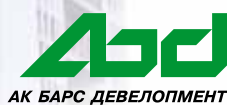
и объекты строительства в г. Набережные Челны (3 июля)

Для гостей Казани:

30 июня – экскурсия в Казанский Кремль

1 июля – экскурсия на остров-град Свияжск

Спонсоры конференции:



Партнеры конференции:



К проведению конференции готовятся тематические номера журналов «Жилищное строительство» №5-2015 г. и «Строительные материалы»® №5-2015 г., в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 15.04.2015 г.

### Организационный комитет:

Телефон/факс: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08

E-mail: kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3  
редакция журнала «Жилищное строительство»

УДК 66.041.44:691.51

А.В. НЕСТЕРОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, генеральный директор (anest126@mail.ru);  
Д.З. БАТЫЖЕВ<sup>2</sup>, генеральный директор

<sup>1</sup> ООО «КИАНИТ» (196105, г. Санкт-Петербург, пр-т Юрия Гагарина, 1)

<sup>2</sup> ОАО «Угловский известковый комбинат» (174361, Новгородская обл., Окуловский р-н, п. Угловка, ул. Спортивная, 2)

## Новая жизнь шахтных печей

Приведен опыт модернизации печей конструкции ГИПРОСТРОМ, построенных в 70-х гг. XX в. на ОАО «Угловский известковый комбинат». Технические решения разработаны совместно специалистами ООО «КИАНИТ» и Угловского известкового комбината. Техническое перевооружение шахтных печей, выполненное в 2013–2014 гг., позволило комбинату выпускать известь I и II сортов с активностью 83–90% по ГОСТ 9179–77. Кроме того, появилась возможность выпускать медленногающаяся известь для производителей автоклавного газобетона.

**Ключевые слова:** известь, известняк, шахтная противоточная печь, консольная фурменная горелка, центральная горелка

A.V. NESTEROV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), General Director (anest126@mail.ru); D.Z. BATYZHEV<sup>2</sup>, General Director

<sup>1</sup> ООО «КИАНИТ» (1, Yuriya Gagarina Avenue, 196105 Saint Petersburg, Russian Federation)

<sup>2</sup> ОАО «Uglovsky Izvestkovy Kombinat» (2, Sportivnaya Street, Uglovka, Okulovsky District, Novgorodskaya Oblast, Russian Federation)

### A New Life of Shaft Kilns

The experience in reconstruction of kilns designed by GIPROSTROM and built in the 70-ies of XX century at ОАО «Uglovsky Izvestkovy Kombinat» is presented. Technical solutions of the modernization have been developed jointly by ООО «КИАНИТ» and Uglovsky Izvestkovy Kombinat. The reconstruction makes it possible to produce the lime of the first and second grades with activity of 83–90% according to GOST 9179–77. In addition, it is possible to produce the slow-slaking lime for manufacturers of autoclaved concrete.

**Keywords:** lime, limestone, shaft counterflow kiln, console tuyere burner, central burner.

Шахтные печи конструкции ГИПРОСТРОМ, построенные в СССР в 1970–1980 гг., хорошо зарекомендовали себя и на протяжении многих десятилетий стабильно выпускают комовую известь II и III сортов. Основным показателем, характеризующим качество и глубину обжига известняка, является степень его декарбонизации и остаточное содержание  $\text{CO}_2$  в извести. Для извести III сорта степень декарбонизации известняка составляет 80–85%, что соответствует активности полученной извести 70–75% и остаточному содержанию  $\text{CO}_2$  6–10%.

Однако в настоящее время требования к качеству извести повысились. Многие зарубежные производители шахтных печей предлагают экономичные шахтные печи, позволяющие получить известь с остаточным содержанием  $\text{CO}_2$  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 известьобжигательных печей.

Компанией «КИАНИТ» совместно с техническими специалистами ОАО «Угловский известковый комбинат» разработаны современные технические решения, которые позволяют существенно улучшить конструкцию существующих шахтных печей и поднять качество извести до современного уровня.

Противоточная шахтная печь (рис. 1) представляет собой поющую шахту высотой 25–30 м с загрузочным устройством сверху, разгрузочным устройством снизу и системой горелок.

В шахтной печи конструкции ГИПРОСТРОМ используются центральная горелка и консольные горелки с защитными фурмами, которые выступают в глубь шахты на глубину 150–450 мм.

Основная задача при конструировании и эксплуатации шахтных печей – обеспечить равномерное движение кусков известняка в шахте печи и равномерное движение горячих дымовых газов в межкусковом пространстве шахты. Следствием этого является равномерное распределение температуры по сечению печи.

Однако техническое решение этой задачи имеет ряд сложностей.

Для создания хорошей проницаемости слоя кускового известняка (шихты) используют узкую фракцию известнякового щебня – отношение максимального размера к минимальному должно быть 2:1. В этом случае доля пустот (порозность) близка к 39%, что обеспечивает хорошую газопроницаемость слоя. Тем не менее механические примеси (песок, глина) и растрескавшиеся в процессе обжига куски известняка могут существенно уменьшить порозность и, следовательно, газопроницаемость слоя.

Поэтому к качеству подготовки сырья предъявляются особые требования. Существует несколько способов подготовки сырья:

- тщательное грохочение;
- промывка щебня оборотной водой;
- сушка щебня в обеспыливающей сушилке.

Первый способ наиболее распространен, однако он не позволяет очистить щебень от налипших на поверхности известняка примесей глины и песка, особенно в весенне-осенний период. Второй способ требует большого количества оборотной воды и утилизации стоков. Наиболее эффективна очистка известнякового щебня в обеспыливающей сушилке (рис. 2). В этом случае сырье в печь поступает высушенным и очищенным от глинистых примесей и песка, что существенно повышает экономичность обжига и качество извести.

Кроме качества сырья и совершенной конструкции печи большое значение имеет уровень автоматизации печи, позволяющий строго выдерживать заданный режим работы и вовремя реагировать на аварийные ситуации.

Разработанные технические решения были положены в основу модернизации шахтных печей, построенных на Угловском известковом комбинате в 70-х гг. XX в.

В табл. 1 приведены основные технические решения, которые позволили существенно повысить качество извести и увеличить производительность печей.

Как видно из табл. 1, только за счет экономии газа при обжиге извести ежегодно экономится до 3 млн р.

Таблица 1

<b>Мероприятия, направленные на повышение качества извести</b>	
Состав работ	Результат
Установка консольных фурменных горелок с выносом горения внутрь печи на 100–450 мм	Позволяет равномерно распределить дымовые газы по сечению слоя
Установка центральной горелки, оснащенной датчиками температуры, системой автоматической защиты	Позволяет равномерно распределить дымовые газы по внутреннему сечению слоя
Стабилизация подачи газа и известняка в печь	Обеспечивает стабильный режим обжига в печи
Особый алгоритм загрузки и выгрузки известняка	Обеспечивает стабильный режим обжига в печи
Увеличение высоты печи	Увеличивает высоту зоны подогрева и зоны обжига
Установка высоконапорного дымососа (напор до 7 кПа)	Позволяет растянуть зону обжига и добиться равномерного распределения температуры в ней
Изменение конструкции загрузочного устройства	Снижает подсос воздуха через верхний загрузочный клапан
Установка дымоотводящего короба новой конструкции	Улучшает газодинамику в печи
Модернизация бункера охлаждения извести	Позволяет уменьшить подсос холодного воздуха в печь и охладить известь
Модернизация разгрузочного устройства	Позволяет отрегулировать равномерную разгрузку извести
Установка датчиков температуры внутри футеровки печи	Позволяет получать информацию о распределении температуры в зоне обжига печи
<b>Мероприятия, направленные на экономию тепла</b>	
Состав работ, результат	Экономия газа, м <sup>3</sup> /т (тыс. р/г.)*
Изготовление многослойной футеровки снижает потери тепла через кожух в 2 раза	5,4 (390)
Автоматизация подачи газа и известняка в печь снижает подсосы через загрузочный клапан, снижает расход газа и уменьшает нагрузку на дымосос	5,6 (400)
Увеличение высоты печи понижает температуру отходящих газов, увеличивает протяженность зоны подогрева и обжига	14,4 (1800)
Модернизация бункера охлаждения извести позволяет охладить выгружаемую известь и нагреть воздух, поступающий под разгрузочный стол печи	3,5 (250)
*Цены 2013 г. без учета НДС	

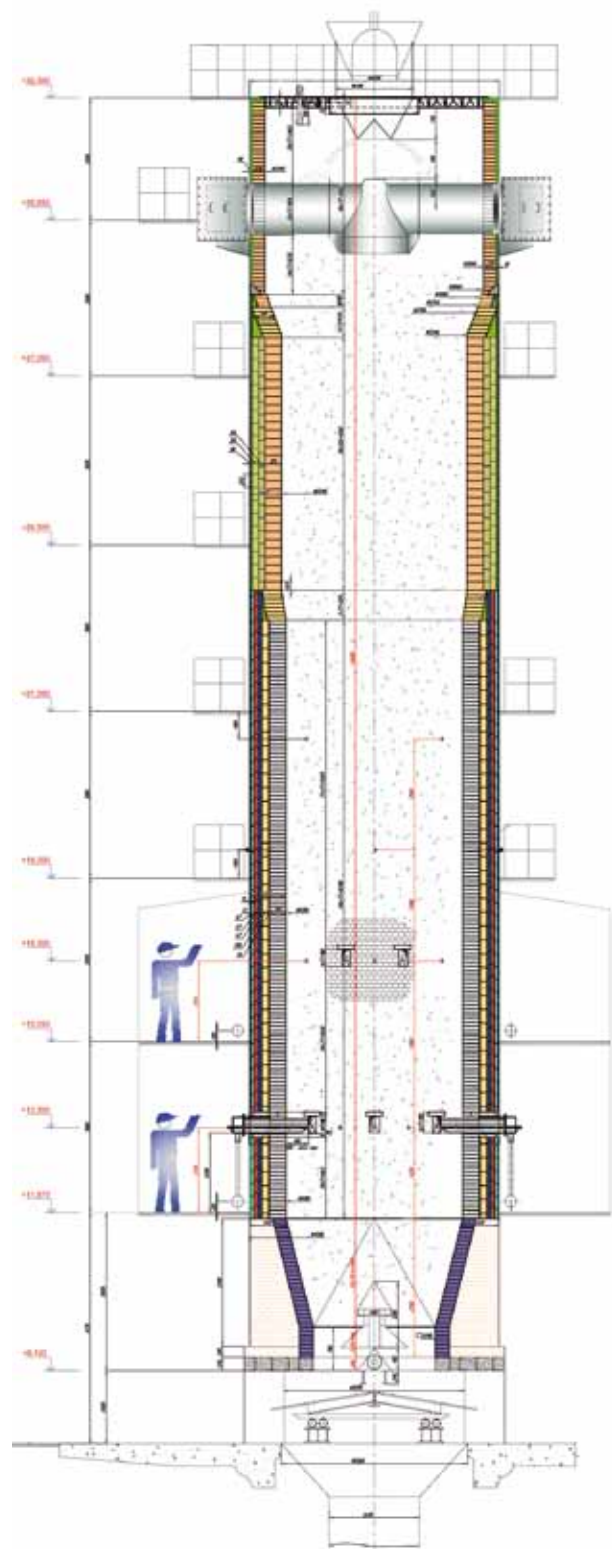


Рис. 1. Противоточная шахтная печь

При выполнении технического перевооружения печей важно контролировать качество монтажа узлов и механизмов печи. Так, при кладке футеровки следует постоянно контролировать ее вертикальность, поскольку зачастую сам кожух шахты печи имеет отклонения по вертикали. Особое внимание следует уделить сечению разгрузочных проемов и симметричности установки механизма разгрузки извести. Особое внимание следует уделить ликвидации подсосов, особен-



Рис. 2. Обеспыливающая сушилка для известняка

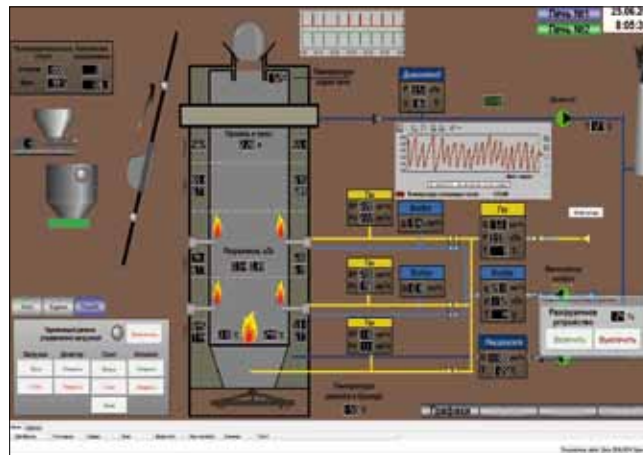


Рис. 3. Схема автоматизации процесса

Таблица 2

Характеристики	ШП до реконструкции	ШП после реконструкции	ШП «Феркалк» (Италия)
Производительность, т/сут	100	140	180
Удельный расход газа, м <sup>3</sup> /т	160	137	132
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	30	25	25
Активность извести, %	70–75	80–84	80–86
Остаточное содержание CO <sub>2</sub> , %	10	4,5	3,5
Степень декарбонизации, %	85	95	97
Время гашения, мин	2–3	4–5	4–5
Стоимость* реконструкции существующей печи, млн р		30	
Стоимость* новой печи, млн р		80	150

\*Цены 2013 г. без учета НДС

но через кожух и верх печи, которые разбавляют дымовые газы и ухудшают обжиг извести.

Следующим этапом после выполнения монтажных работ идут пусконаладочные работы, где отрабатываются все режимы, устанавливается оптимальный режим и составляется режимная карта. Каждая печь ведет себя по-особенному, несмотря на идентичность конструкции. Неправильное распределение газа по горелкам, низкий или высокий удельный расход газа и другие параметры могут быть причиной неправильной работы печи и, как следствие, получения извести низкого качества.

На Угловском известковом комбинате выполнена модернизация четырех известковых печей. При этом получены результаты, которые мало чем отличаются от результатов работы новых современных шахтных печей. В табл. 2 даны средние характеристики работы шахтной печи до и после реконструкции в сравнении с работой итальянской шахтной печи «Феркалк», построенной в 2008 г. Преимуществами реконструированных печей являются простота обслуживания, отсутствие охлаждающего масла и, конечно, низкая стоимость.

Грамотная эксплуатация и обслуживание шахтных печей – важная составляющая в производственном процессе. Любая остановка печи более чем на 30 мин приводит к снижению качества продукции, поэтому

обучение, экономическое стимулирование персонала являются важными составляющими успешного производства.

Печь после реконструкции имеет высокий уровень автоматизации, который позволяет оперативно реагировать на любые изменения, происходящие при обжиге. При отклонениях от режима автоматика выдает предупреждения или отключает газ. На рис. 3 показана схема автоматизации процесса, выведенная на компьютер, которая отслеживает все параметры работы печи, регистрирует все аварийные ситуации и отклонения от режима.

Таким образом, модернизация шахтных печей, выполненная по техническим предложениям компании «КИАНИТ», позволила комбинату выйти на новый качественный уровень производства извести. Если на старых печах выпускалась известь низкой активности по техническим условиям, то после модернизации печей продукция соответствует ГОСТ 9179–77 для извести I и II сортов с активностью 83–90%. Кроме того, появилась возможность выпускать медленногасящую известь для производителей автоклавного газобетона.

На основании проведенных испытаний и улучшения конструкции некоторых узлов шахтных печей нами был разработан типовой проект шахтной печи для обжига извести производительностью 120–140 т в сутки.

ООО «КИАНИТ»

Реклама

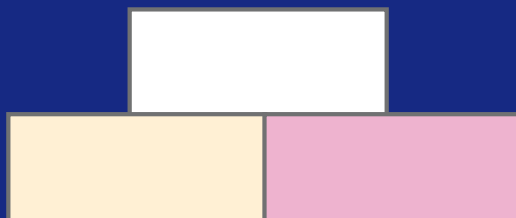
Тел./факс: (812) 947-04-58

E-mail: anest126@mail.ru

www.kianit.ru

www.processes-apparates.ru

# СИЛИКАТЭКС



## IX Международная научно-практическая конференция



**21–22 октября 2015 г.**

**Воронеж**



*В программе конференции посещение  
ЗАО «Воронежский комбинат строительных материалов»*



Организатор конференции – журнал «Строительные материалы»®

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ®**

### Оргкомитет:

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

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

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

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

УДК 666.965:621.979

А.В. СУЛИМА-ГРУДЗИНСКИЙ, главный механик службы управления проектами (sulima@ao-gns.ru)  
 ООО «УК «Главновосибирскстрой» (630041, г. Новосибирск, ул. 2-я Станционная, 52а)

## Некоторые актуальные вопросы в области оборудования для производства силикатных изделий

Описана область современной техники регулирования объемного гидропривода, дана хронология развития концепции энергоэффективных гидроприводов прессового оборудования для производства силикатного кирпича, представлены инженеры, которые стояли у истоков ее формирования. Оценены перспективы отечественного машиностроительного комплекса в области производства основного технологического оборудования для силикатной промышленности.

**Ключевые слова:** силикатный кирпич, гидравлические прессы, гидроприводы, частотно-регулируемый привод

A.V. SULIMA-GRUDZINSKY, Chief Mechanic, Project Management Service (sulima@ao-gns.ru), ООО "UK 'Glavnovosibirskstroy" (52a, 2nd Stantsionnaya Street, 630041, Novosibirsk, Russian Federation)

### Some Actual Problems in the Field of Equipment for Silicate Products Manufacture

The sphere of modern technique for regulation of a volumetric hydraulic drive, development of the conception of power-efficient hydraulic drives of press equipment for manufacturing the silicate brick are described; engineers who stand at the origins of this sphere formation are presented. Prospects of the domestic machine-building complex in the field of manufacturing the basic technological equipment for silicate industry are assessed.

**Keywords:** silicate brick, hydraulic presses, hydraulic drives, variable frequency drive.

Идея написания статьи возникла в октябре 2014 г. на VIII Международной конференции СИЛИКАТэк «Развитие производства силикатного кирпича в России». Основная задача — показать нереализованный потенциал отечественного машиностроительного комплекса в области производства ключевого оборудования для предприятий силикатной промышленности. Ряд достижений в этой сфере был представлен генеральным директором ООО «Инвест-Технология» И.А. Галеевым, в том числе в части энергоэффективных гидроприводов прессового оборудования. Однако в ходе презентации не был обозначен вклад в развитие данного направления техники лидеров отечественного машиностроительного комплекса, а также ведущих мировых компаний, производящих промышленную гидравлику. К сожалению, эта тема практически не имеет должного освещения как в периодике, так и в специализированной литературе.

В рамках настоящей статьи описана область современной техники регулирования объемного гидропривода, показано развитие концепции энергоэффективных гидроприводов прессового оборудования и представлены инженеры, которые стояли у истоков ее формирования. А также оценены перспективы отечественного машиностроительного комплекса в области производства основного технологического оборудования для силикатной промышленности.

#### Современный рынок прессового оборудования для производства силикатных изделий

Процессу прессования в технологии производства силикатных изделий отводится особое место [1, 2], так как он в значительной мере влияет на качество готового продукта. От конструкции прессов зависят несколько факторов, обуславливающих прочность и точность геометрических размеров сырца и кирпича:

- точность и стабильность объемного дозирования смеси;
- максимальное удельное давление прессования и возможность его автоматического регулирования;
- характер и длительность процесса формования;
- возможность релаксации напряжений в сырце и

выпуска заземленного воздуха из него перед выталкиванием из форм.

С точки зрения автоматизации процесса формования предпочтительно использование комплексов на базе оборудования с гидравлическим прессующим механизмом, поскольку они дают возможность в достаточных пределах варьировать характер и время прессования, длительность сжатия смеси, в широких пределах изменять удельное давление прессования, а также позволяют добиться практически любого характера изменения движения прессующего штампа. В силу своей конструкции гидравлические прессы имеют наибольшую суммарную площадь одновременно формируемых изделий. Все это обуславливает максимальную технологическую гибкость.

Наиболее целесообразно использовать гидравлические прессы с неподвижным (относительно оси прессующего штампа) столом, так как они позволяют задавать практически любой закон перемещения прессующего штампа и имеют достаточную мощность для одновременного прессования большого числа кирпичей [3].

В настоящее время на российском рынке оборудования для производства силикатных изделий представлены гидравлические прессы следующих производителей:

- Ласко Умформтехник ГмБХ, Германия;
- Маза ГмБХ (бренд «Маза-Дорстенер»), Германия;
- ВКБ Системс ГмБХ, Германия;
- Хаянь Групп, Китай;
- Драгон энд Стронг Машинери Ко., Лтд., Китай;
- ДЕИИ Хевай Индустриал, Китай;
- ООО «Инвест-Технология», РФ;
- ОАО «Тяжмехпресс», РФ;
- ОАО «Тяжстанкогидропресс», РФ;
- Митцуиши Фукай Айрон Воркс Ко., Лтд., Япония.

За последние пять лет на территорию Таможенного союза было поставлено около 50 единиц прессового оборудования для силикатной отрасли. Диаграмма распределения объема поставок между производителями показана на рис. 1.

Следует отметить, что тенденции внедрения на рынок в России среднеформатных силикатных изделий (блоков), требуют оснащения предприятий оборудова-

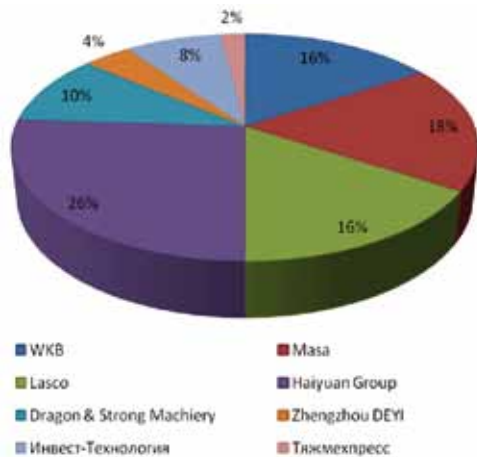


Рис. 1. Поставки прессового оборудования для силикатной отрасли на территории Таможенного союза с 2010 г.

нием, использующим принцип двустороннего уплотнения при высоте формуемых изделий 250 мм и более.

Подробное рассмотрение особенностей оборудования, как и проблематики его выбора выходит за рамки данной статьи.

### Текущие тенденции развития техники и перспективы применения новых технологий объемного регулирования в конструкции прессов для силикатной промышленности

В основу построения гидросиловых систем управления прессов для силикатной промышленности заложены типовые принципы регулирования. В практике гидропривода известно несколько способов регулирования расхода — объемный, дроссельный (последовательный, параллельный, дроссельно-дифференциальный) и ступенчатый.

Наибольшее распространение в машиностроении получили объемный и дроссельный способы, применяемые как в отдельности, так и совместно. Их сравнение по двум важнейшим критериям — КПД и нагрузочным характеристикам показывает, что несомненными преимуществами обладает гидропривод с объемным управлением [4]. Его целесообразно применять для систем большой мощности с длительными режимами работы (какой является система прессования силикатного кирпича) при необходимости оптимизации энергетических показателей.

Сущность объемного способа управления скоростью исполнительного механизма состоит в том, что расход жидкости, подаваемый в рабочую полость гидроцилиндра, изменяется за счет изменения расходной характеристики регулируемого насоса, питающего систему.

Резервы снижения энергетических потерь в гидроприводах объемного и объемно-дроссельного регулирования в последние годы были практически исчерпаны. Решение этой задачи осуществлялось в первую очередь за счет компенсаторов давления и регулируемых гидромашин. Современные аксиально-поршневые насосы имеют до тридцати различных механизмов управления, обеспечивающих оптимизацию их работы, главным образом с целью энергосбережения [5].

Экономическая эффективность производства силикатных изделий во многом зависит от оптимизации затрат. Для общего сокращения энергопотребления в силикатной промышленности необходимо использовать потенциал энергосбережения на всех этапах производственного процесса. В структуре потребления первичной энергии присутствует в том числе электроэнергия. В среднем 45 % ее затрачивается на осуществление процесса прессования и штабелирования (H. Rüger. Increase in the energy efficiency of sand-lime block presses Hydraulic servo direct drive // Up Grade. Journal (KS) for customers,

partners and employees. Lasco Umformtechnik GmbH. 13th Year, issue No. 13, March 2013. P. 4–5.). Это достаточное основание для поиска новых энергоэффективных решений в конструкции прессового оборудования.

К началу XXI в. регулирование частоты вращения асинхронных электродвигателей и серводвигателей в станочном приводе применяется уже повсеместно. Однако в гидросиловых системах на тот момент, как и в настоящее время, для реализации функций управления технологическими параметрами прессового оборудования применялось преимущественно дроссельное регулирование, в том числе с использованием пропорциональной и сервогидравлики. Наибольшее распространение в конструкции прессового оборудования для производства силикатных изделий получили решения, реализованные по объемно-дроссельному принципу на базе регулируемых насосов (с гидравлическими регуляторами объемного расхода) и пропорциональной гидравлики.

В 2004 г. группой ведущих специалистов «Тяжстанкогидропресс» были начаты опытно-конструкторские работы в области решения задачи объемного регулирования за счет изменения частоты вращения электродвигателя насосного агрегата. В их числе были: начальник отдела систем управления В.В. Миргородский, главный конструктор К.П. Морозов, начальник бюро В.А. Кислов, главный специалист по электрооборудованию прессов М.Ю. Калекин.

Информации по действующим системам такого типа не было ни в патентной литературе, ни в других доступных технических изданиях. Хотя сейчас появились данные о том, что с 1990 г. компания «Bosch Rexroth» занималась изучением возможности применения частотного регулирования в объемном гидроприводе. Однако на тот момент все элементы системы в отдельности были общеизвестны и доступны, но совокупность ее существенных признаков не была известна из уровня техники — полезная модель была признана новой.

Патент на полезную модель [6] с началом срока действия 29.12.2005 г. описывает устройство для регулирования скорости прессования гидравлического пресса, содержащего задатчик и датчик скорости прессования, подключенные к вычислительному устройству; электродвигатель, связанный с насосом, который соединен с рабочим цилиндром пресса. Согласно описанию в полезной модели используется электродвигатель с изменяемой скоростью вращения, который соединен с вычислительным устройством через преобразователь. Блок-схема устройства представлена на рис. 2.

Хотя запатентованная полезная модель не предусматривала ограничения по типу двигателей и преобразователей, для прессов модели ДГ0542Н усилием 16000 кН был реализован привод на базе серийно выпускаемых трехфазных четырехполюсных асинхронных электродвигателей (при использовании независимого охлаждения) и преобразователей частоты типа «Altivar» фирмы «Schneider electric». Это позволило при минимальных затратах обеспечить высокую гибкость и стабильность технологических параметров, отказаться от пневмогидравлических аккумуляторов и пропорциональной техники, значительно упростить трубопроводы, уменьшить нагрев масла [7].

Для частотно-регулируемого привода (ЧРП) необходимо было использовать насосы с высоким значением объемного КПД. По поводу возможности регулирования путем изменения частоты вращения производительности аксиально-поршневых насосов серии A4VSO был сделан запрос в компанию «Bosch Rexroth» и получен положительный ответ.

Глубина регулирования частоты вращения привода во всем диапазоне значений рабочего давления была



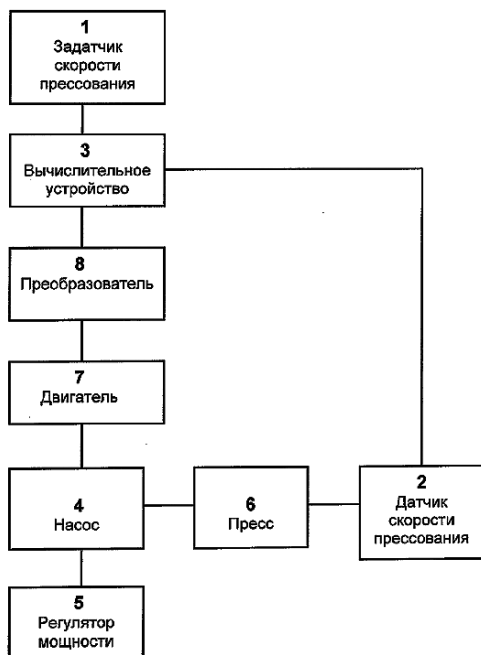


Рис. 2. Блок-схема устройства для регулирования скорости прессования гидравлического пресса

установлена 1:5 (относительно номинала  $1500 \text{ мин}^{-1}$ ). При этом на холостых ходах и во время межоперационных пауз минимальная частота вращения могла иметь и более низкие значения. В эксплуатации эта система продемонстрировала высокую надежность и простоту обслуживания. Она полностью удовлетворяла требованиям, предъявляемым к машинам данного типа. В 2005 г. начался серийный выпуск прессов третьего поколения для производства огнеупорных изделий модели ДГ0542Н (усилием 16000 кН). К 2008 г. выпущено семь машин данной модели, которые успешно работают в цехах ОАО «Комбинат Магnezит» (г. Сатка Челябинской обл.).

Наряду с передовыми решениями в области объемного регулирования инженеры завода «Тяжстанко-гидропресс» вели работу по оптимизации гидравлических сопротивлений для минимизации потерь мощности на их преодоление. Целесообразность данного подхода наглядно можно продемонстрировать, определив величину потерь для распределителей золотникового и клапанного типов одного типоразмера при установившемся потоке рабочей жидкости на уровне 600 л/мин. Исходные данные возможно определить из кривых зависимости перепада давления от расхода через направляющий аппарат, приведенных в каталогах производителя (Каталог оборудования R-RS 24751/08.08. Bosch Rexroth AG, 2008; Каталог оборудования R-RS 21 010/11.98 Bosch Rexroth AG, 1998), (рис. 3).

Потеря мощности пропорциональна падению давления:

$$DW = Q \cdot Dp / 600, \text{ где}$$

DW – потеря мощности при дросселировании, кВт;

Q – расход рабочей жидкости, л/мин;

Dp – перепад давления на распределителе, бар

На золотниковом распределителе Ду25 потеря мощности составит:

$$DW_1 = 600 \cdot 7,5 / 600 = 7,5 \text{ кВт.}$$

Соответственно потеря мощности на клапане Ду25 составит:

$$DW_2 = 600 \cdot 5,5 / 600 = 5,5 \text{ кВт.}$$

Таким образом,  $DW_1 > DW_2$  на 36 %.

На основании подобного анализа для распределения значительных объемов рабочей жидкости были приме-

Characteristic curves: Type 4WEH 25... (measured at  $v = 41 \text{ mm}^2/\text{s}$  and  $\theta = 50^\circ\text{C}$ )

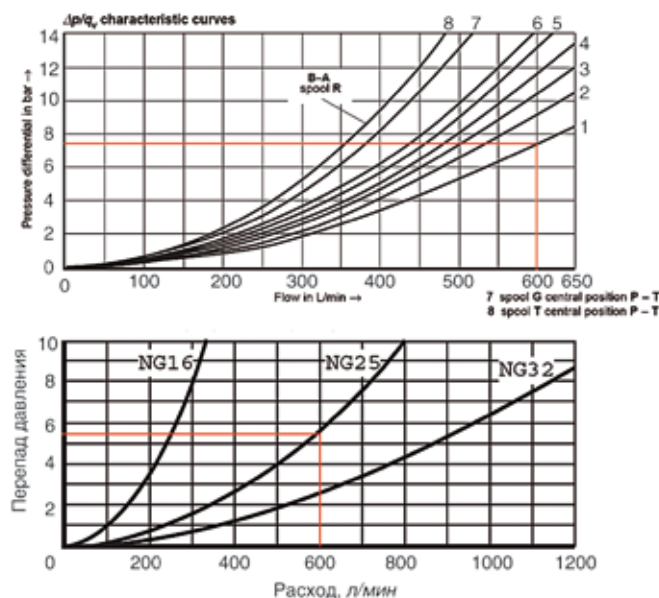


Рис. 3. Кривые зависимости перепада давления от расхода через распределители золотникового и клапанного типов

нены встраиваемые двухходовые клапаны. При этом также обеспечилась компактность компоновочного решения гидравлической части и минимизация потерь ввиду отсутствия длинных магистральных трубопроводов. Компактность и повышенная монтажная готовность (рис. 4) обеспечены модульной компоновкой системы на базе гидромодулей производства «Bosch Rexroth» типоразмера 50 мм (Каталог оборудования Pressenmodule Typ P // Data sheet RD63 147/01.94. Bosch Rexroth AG, 1994).

Исходной базовой моделью представленной выше модификации пресса является машина для производства изделий из полусухих огнеупорных масс Д0542Н (рис. 5), которая была разработана в 1994 г. по заказу ОАО «Комбинат Магnezит».

На этой же базе в 2000 г. по заказу ЗАО «АФИНА» (Челябинск) – первого в России завода эффективного зольного кирпича – был построен пресс для производства силикатных изделий модели ДВ0542Н. Следует отметить, что «Тяжстанкогидропресс» поставлял только пресс, а комплектацию периферийным оборудованием заказчик осуществлял самостоятельно.

После получения положительных результатов эксплуатации пресса ДГ0542Н частотно-регулируемый



Рис. 4. Смонтированные модули управления прессом ДГ0542Н



Рис. 5. Общий вид прессы ДГ0542Н

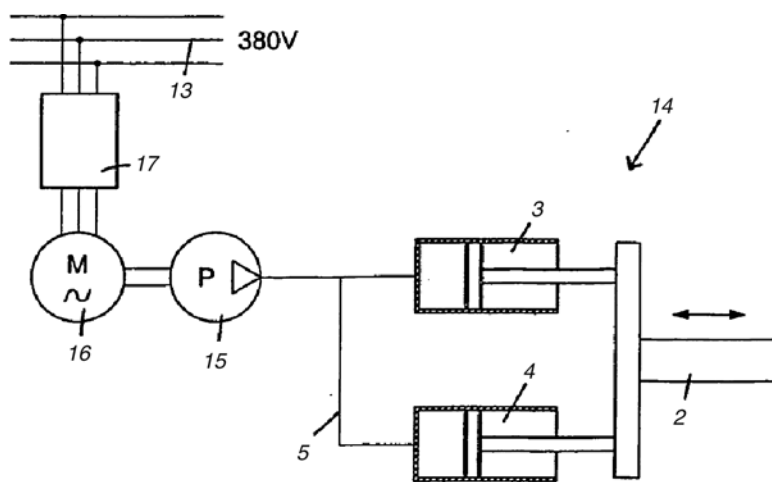


Рис. 6. Принципиальная схема системы фирмы «Presezzi Extrusion»

привод был предложен и к поставке в составе прессы для силикатного производства. Эти машины предполагалось комплектовать периферийным оборудованием фирмы «Инвест-Технология». Поэтому в 2006 г. представителями завода «Тяжстанкогидропресс» для потенциального заказчика была проведена презентация концепции оборудования и систем, в том числе и частотно-регулируемого гидропривода. В силу ряда обстоятельств поставка прессы так и не была реализована.

Следующий шаг в истории развития гидросистем с ЧРП был сделан в июне 2007 г. Итальянская компания Presezzi Extrusion S.p.A. применила частотное регулирование в объемном гидроприводе экструзионного прессы для производства алюминиевого профиля. На рис. 6 представлена принципиальная схема из патента, выданного европейским патентным ведомством [8].

Описательной частью данного патента предусмотрена возможность регулирования посредством преобразователя 17 электродвигателей постоянного тока или асинхронных серводвигателей 16. По факту на оборудовании были установлены четырехполюсные трехфазные асинхронные электродвигатели с малым моментом инерции ротора, в квадратном корпусе с независимым вентилятором охлаждения.

При сравнении схем на рис. 2 и 6 становится очевидной идентичность конфигураций систем управления с той лишь разницей, что во втором случае сделан акцент на установку электродвигателя с малым моментом инерции ротора, что объясняется спецификой работы привода на оборудовании данного типа при стабилизации скорости экструзии. Однако применение серводвигателя ведет к некоторому увеличению стоимости. В том числе по этой причине целесообразность его установки должна анализироваться всякий раз при разработке энергоэффективного гидропривода для различных групп и типов кузнечно-прессового оборудования. Такой анализ должен базироваться на требованиях по точности в установленных режимах, к устойчивости и качеству переходных процессов, а также к динамике систем [9].

В четвертом квартале 2008 г. компанией «Bosch Rexroth» был реализован проект по установке частотно-регулируемого привода с серводвигателем на машине литья под давлением и после шести недель обширных испытаний получены отличные результаты – экономия энергии не менее 50 % при КПД

сервосистемы на уровне 98 % (Om Prakash Singh (Sales – Electric Drives & Controls Bosch Rexroth India Ltd). SVP Technology - Injection Moulding Machine [Электронный ресурс]. Purchase April 2010. Режим доступа [http://indianpurchase.com/admin/articles\\_pdf/1308051237-IW%20-%20E%20&%20E%20-%20TECHNICAL%20ARTICLE%20-4.pdf](http://indianpurchase.com/admin/articles_pdf/1308051237-IW%20-%20E%20&%20E%20-%20TECHNICAL%20ARTICLE%20-4.pdf). Дата обращения 15.11.2014). Первая такая машина литья под давлением запущена в китайском г. Нингбо (Injection Molding Machine in Ningbo, China).

В последующие годы ряд ведущих компаний с небольшим интервалом во времени выпустили на рынок комплектные приводные решения для построения энергоэффективных систем. В их числе японская фирма «Yuken Kogyo Co., Ltd.», в конце 2009 г. представившая ЧРП с серводвигателем серии ASR (AC Servo Motor Driven Pumps Catalogue. Data sheet, First Edition. Tokyo, Japan: Yuken Kogyo Co., ltd., December, 2009) (рис. 7).

На первом этапе японские специалисты столкнулись с проблемой нестабильной работы насоса при минимальных частотах вращения, близких к нулю; после этого был установлен порог частоты вращения на уровне  $300 \text{ мин}^{-1}$  [5] (1:5 относительно номинала  $1500 \text{ мин}^{-1}$ ).

Квинтэссенцией развития идеи ЧРП стала линейка комплектных приводов с системой регулирования «Sytronix» компании «Bosch Rexroth» (Sytronix – variable-speed pump drives. Data sheet RE08043. Bosch Rexroth AG, 03.2014), вышедшая на рынок как серийная продукция в 2011 г. Это решение представляет собой модульную систему, состоящую из насоса, контроллера, электродвигателя, а также программного обеспечения в зависимости

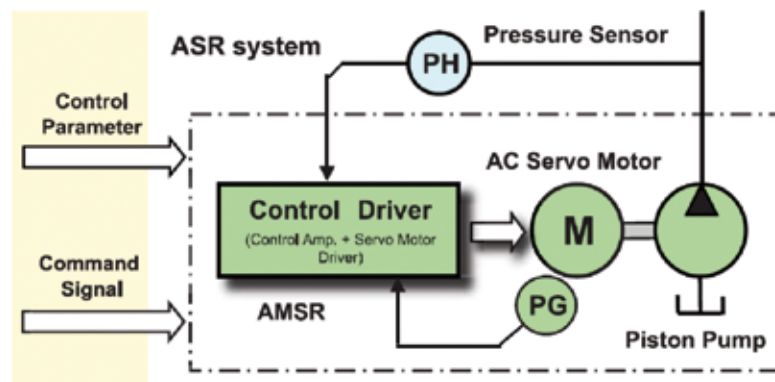


Рис. 7. Принципиальная схема системы управления на базе привода серии ASR от «Yuken Kogyo Co., Ltd.»



Рис. 8. Семейство комплектных приводов Bosch Rexroth «Sytronix»

сти от характеристик рабочего цикла и конфигурации оборудования (рис. 8). В линейке представлены три класса приводов:

– привода с базовой динамикой при мощностях до 90 кВт «Sytronix FcP» с частотным регулированием производительности насоса постоянной производительности на базе асинхронного двигателя (рис. 9);

– привода с высокой динамикой при мощностях до 80 кВт «Sytronix SvP» с регулированием производительности насоса постоянной производительности на базе серводвигателя;

– привода высокой мощности до 315 кВт (по запросу до 630 кВт) с высокой динамикой «Sytronix DFE» с частотным регулированием насоса переменной производительности.

Возможна комплектация модульных систем шестеренными насосами внутреннего зацепления типов PGF-2X, PGH-2X, PGH-3X и PGM-4X, а также аксиально-поршневыми насосами серии A10 и A4. Отдельно следует отметить характеристики насосов се-

рии A10FZO/G и A10VZO/G, специально разработанных для систем с частотным регулированием. Благодаря своей конструкции они обеспечивают высокую эффективность поддержания рабочего давления при низких скоростях от 0 до 200 мин<sup>-1</sup> (Variable-Speed Drive with Fixed Displacement Unit A10FZO/G Variable Displacement Unit A10VZO/G. Data sheet RE 91485. Bosch Rexroth AG, 06.2011).

Такое разнообразие делает возможным выбор решения для реализации энергоэффективного привода (как для нового оборудования, так и при модернизации) во многих областях: прессы различных групп и типов, машины для обработки древесины, бумаги, пластмасс, машины для литья под давлением, металлорежущие станки, оборудование для металлургии.

С помощью ЧРП можно контролировать скорость, предельное значение крутящего момента, давление, ускорение (торможение), удельные гидравлические характеристики, направление вращения насоса (направление подачи рабочей жидкости) (Готфрид Хендрик. Частотно-регулируемые приводы для насосов Bosch Rexroth. О Presse [Электронный ресурс] / Материалы технической конференции компании «Bosch Rexroth» 9–10 октября 2012, Екатеринбург. Режим доступа [http://www.boschrexroth.ru/country\\_units/europe/russia/ru/company/Messen/messespecials/2012/conference\\_ekaterinburg/](http://www.boschrexroth.ru/country_units/europe/russia/ru/company/Messen/messespecials/2012/conference_ekaterinburg/). Дата обращения 10.11.2014).

По данным производителя, экономия электроэнергии в сравнении с классическим приводом может достигать от 30 до 80 %. Кроме того, снижается эмиссия шума до 20 дБА.

Аналогичные комплектные системы для приводов как с базовой, так и с высокой динамикой сейчас производит компания «Parker Hannifin Corporation» (Drive Controlled Pump. Energy-Efficient Hydraulic System Solutions. Catalogue HY11-3352/UK. Parker Hannifin Corporation. 19.11.2014) (рис. 10).

Эволюция идеи частотно-регулируемого гидрпривода привела к появлению наиболее совершенных компоновочных решений с максимальной энергоэффективностью на базе «Sytronix SvP» (рис. 11). В таких системах с возможностью рекуперации энергии для перемещения рабочей жидкости в различных направлениях на каждое направление потока устанавливается отдельный автономный привод. Функция рекуперации осуществляется в момент, когда частотно-регулируемый насос работает как гидромотор, а серводвигатель находится в режиме генерации, например во время слива рабочей жидкости, вытесняемой из цилиндров при движении, а также при разгрузке системы от давления после прессования. Регенерируемая энергия поступает

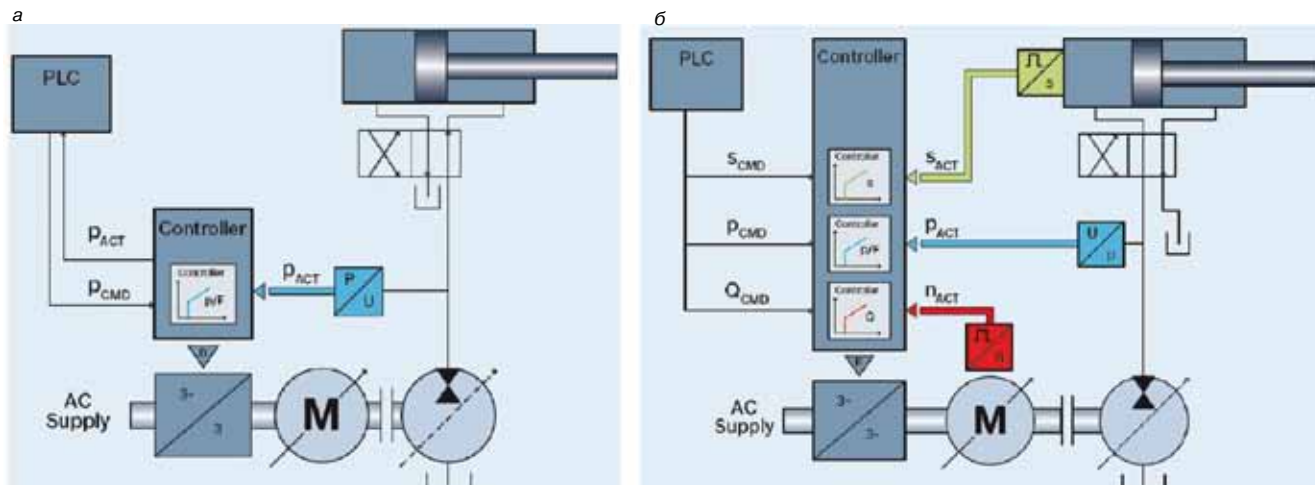


Рис. 9. Принципиальные схемы систем приводов Bosch Rexroth: а – на базе «Sytronix FcP»; б – на базе «Sytronix SvP»

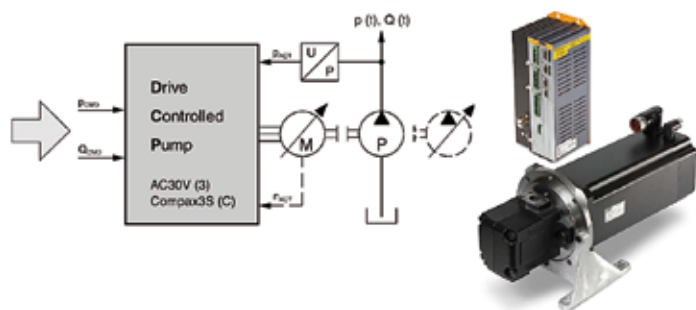


Рис. 10. Система управления серии DCP от «Parker Hannifin Corporation»



Рис. 12. Общий вид прямого сервопривода гидравлического пресса фирмы «Ласко»

обратно в сеть, может аккумулироваться в промежуточном контуре и/или использоваться другими приводами системы.

Особенностью такой компоновки является отсутствие необходимости в применении распределительной гидроаппаратуры (прямой привод), за исключением той, что отвечает за специальные опции. К недостаткам в настоящее время можно отнести повышенную стоимость, поэтому решения о ее реализации должно приниматься на основании CAPEX-OPEX анализа.

Анализируя представленные выше системы, несложно заметить, что при всем разнообразии предложений, компоновочные решения не выходят за рамки концепции, описанной блок-схемой на рис. 2.

Интенсивное развитие приводной техники в последние годы сделало общедоступной идею ЧРП, которая, начиная с 2011 г. перешла в разряд наилучших доступных технологий в области энергосбережения при производстве и модернизации объемных гидроприводов промышленного оборудования. Возможность выбора комплектных систем в значительной мере упростила задачу по подбору и стыковке элементов частотно-регулируемых приводов при их проектировании, производстве и конфигурировании.

К моменту написания статьи не обнаружено данных о действующем прессовом оборудовании иностранного производства для силикатной отрасли с использованием ЧРП. Однако компания «Ласко» в 2011 г. начала устанавливать гидравлические прямые сервоприводы на прессах для штамповки металла с усилием до 15000 кН (Servo direct drive for sand-lime block presses // Up Grade. Journal (KS) for customers, partners and employees. Lasco Umformtechnik GmbH. 13th Year, Issue No. 13, March 2013), а с 2013 г. предлагает эту концепцию привода, в том числе и при поставке прессов для производства силикатных изделий серии KSP, PSP и KSE (H. Rüger. Increase in the energy efficiency of sand-lime block presses Hydraulic servo direct drive // Up Grade. Journal (KS) for customers, partners and employees. Lasco

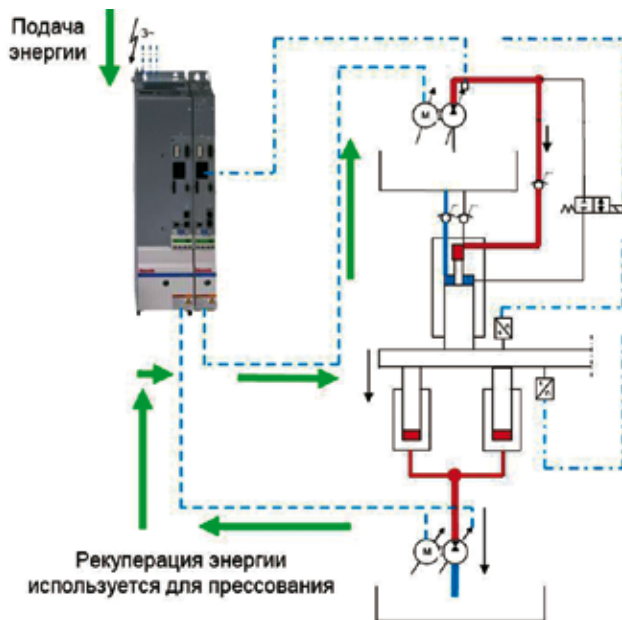


Рис. 11. Принципиальная схема системы управления на базе «Sytronix SvP» с возможностью рекуперации энергии

Umformtechnik GmbH. 13th Year, issue №. 13, March 2013) (рис. 12).

Основной вектор развития промышленной гидравлики – энергоэффективность. Наиболее перспективной в этой области техники представляется концепция автономного сервопривода, и первые шаги в этом направлении уже сделаны. Фирмой «Voith Turbo» разработаны автономные приводы с усилием до 500 кН и скоростью до 1 м/с. Автономные приводы компании «Bosch Rexroth» в зависимости от типоразмера могут развивать усилие на штоке до 6200 кН, а точность позиционирования при этом достигается  $\pm 1$  мкм. Гидравлическая энергия в таких системах обеспечивается насосом с частотным регулированием [10].

Рассматривая перспективы применения описанных новых технологий объемного регулирования в конструкции прессов для силикатной промышленности, помимо прямой экономии электроэнергии в общей структуре затрат следует учитывать простоту устройства, а соответственно и обслуживания системы управления на базе ЧРП. В условиях дефицита в отрасли высококвалифицированного ремонтного персонала, способного реализовать эффективное сервисное сопровождение гидравлических систем с пропорциональной техникой, сложности поддержания высокого уровня культуры производства, а также увеличения стоимости и сроков поставки комплектующих зарубежного производства современные приводные решения должны рассматриваться и как эффективный инструмент сокращения эксплуатационных расходов.

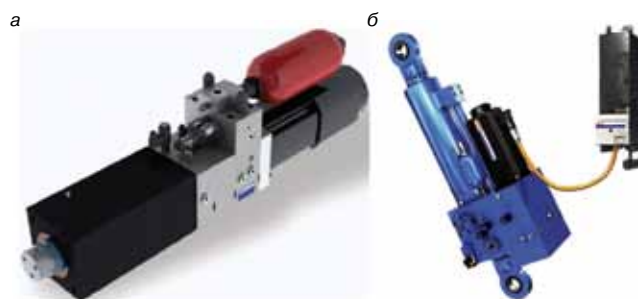


Рис. 13. Автономные приводы: а – Voith Turbo; б – Bosch Rexroth

**Анализ текущего состояния  
отечественного машиностроительного комплекса  
в области производства основного технологического  
оборудования для силикатной промышленности**

Производство гидравлических прессов — область техники на стыке ряда фундаментальных технических дисциплин, требующая специальных знаний в части методологии проектирования и технологии изготовления базовых элементов конструкций и систем. Огромное значение в этой сфере имеет конструкторско-технологическая школа, которая определяет качество подготовки производства, а также общие принципы и подходы, гарантирующие выпуск оборудования с оптимальными показателями при строгом соответствии существующим нормативным документам и передовому опыту.

В России на выпуск кузнечно-прессового оборудования с номинальными усилиями свыше 5000 кН был профилирован ряд предприятий: Уральский завод тяжелого машиностроения (УЗТМ), Коломенский завод тяжелых станков (КЗТС), Новосибирский «Тяжстанко-гидропресс» (НЗТСГ), Воронежский «Тяжмехпресс» (ТМП), Рязанский «Тяжпрессмаш» (ТКПО). Эти заводы осуществляли выпуск прессов различного назначения с начала XX века (60–100 лет).

Сейчас в отечественном машиностроительном комплексе существует масса проблем, однако часть указанных предприятий сумела сохранить профильную специализацию, под которую изначально рассчитаны их технологические базы. В текущей экономической ситуации большинство из них вынуждены выживать в условиях отсутствия заказов на профильную продукцию, осваивая нетипичные для себя изделия, которые производятся зачастую при повышенных издержках в силу неоптимальной загрузки производственных мощностей и инфраструктуры. Сложно прогнозировать, на сколько еще хватит запаса прочности этих заводов. Но при таком положении вещей неизбежна утеря принципиальных основ — конструкторской школы и базовых технологий.

Проблема таких предприятий отчасти заключается в недостаточной гибкости в условиях рынка, что связано со сложностью выделения перспективных направлений для их своевременной проработки, поскольку утеряна связь производитель—заказчик. Прежде эта связь реализовывалась посредством постановки задач профильными министерствами на основе потребностей различных отраслей. Положение усложняется тем обстоятельством, что номенклатура выпускаемого оборудования, при всем многообразии достаточно специфична. Обеспечить стабильный спрос для одного направления на практике не удается, а на развитие всех недостаточно ресурсов. Поэтому проектные работы, в том числе опытно-конструкторские, инициируются лишь при наличии конкретного заказа. В то же время базовые проекты не могут удовлетворить требований заказчика. Ряд указанных причин делает их предложения неконкурентными, в том числе по срокам, в сравнении с готовыми комплексными решениями зарубежных компаний.

В этом смысле подход мелких инжиниринговых фирм представляется более гибким, но в силу несоблюдения ими базовых основ и они не могут предложить качественное конкурентоспособное решение. Главный их недостаток — возникновение большого числа рисков, а риск-бюджет при этом формируется за счет заказчика. Попытаемся коротко рассмотреть причины возникновения таких рисков.

**Риски, связанные с отсутствием методологии проектирования**

В качестве прототипа для разработки оборудования, как правило, принимается наиболее близкая по показате-

лям назначения базовая модель. Профильными предприятиями для этих целей выбирается существующая и наиболее проработанная конструкция. Если рассматривать прессы для производства силикатных изделий, то базовые модели имеются у трех российских предприятий: ДВ0542Н и ДГ0542Н — у «Тяжстанкогидропресс», АКД0537 и АКД0539 — у «Тяжмехпресс», ДА0242 — у «Тяжпрессмаш». Причем в референц-листах первых двух заводов уже имеются машины, которые работают на предприятиях по производству силикатных изделий (рис. 14).

При реализации проекта с нуля (в отсутствие подходящего прототипа) должна быть построена головная модель, которую необходимо подвергнуть целому ряду испытаний по заранее разработанной программе. Все выявленные при этом недостатки конструкции устраняются, и поставка оборудования заказчику осуществляется лишь при условии успешного прохождения комплекса испытаний.

Анализ показывает, что в отсутствие базового проекта, инжиниринговые фирмы принимают за основу наиболее удачные конструктивные решения действующих машин. ([Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.it2004.ru/Prod/Press/KonkurentnyePrem.html>. Дата обращения 25.10.2014). Отчасти такой подход можно считать прогрессивным, поскольку он исключает фактор «инерции мышления». Это обстоятельство объясняет, например, высокую концентрацию наилучших отраслевых решений в конструкции прессов серии VIKING фирмы «Инвест-Технология», дополненных оригинальными решениями [11].

При отсутствии методологии в части проведения заводских испытаний, например силовых, они могут быть проведены не в полном объеме либо не проведены вообще, что обуславливает возникновение риска поставки заказчику головного образца с низкими показателями надежности. Скорее всего разработчик устранит неисправность по гарантии, но срыв сроков будет при этом обеспечен. В случае проблем с базовыми деталями (станина, цилиндры) простои окажутся значительными. Вероятность возникновения таких проблем связана со структурой технологических процессов, определяемых на стадии конструкторско-технологической подготовки производства. За многие десятилетия на специализированных предприятиях подобные взаимосвязи четко установлены, а степень риска возникновения дефектов базовых деталей определяется уровнем конструкторской и технологической дисциплины.

Отсутствие соответствующей методологии проектирования связано с риском создания систем, имеющих показатели назначения за пределами оптимума.

Показательным примером являются, прессы серии VIKING, конструкцией которых предусмотрена система фильтрации рабочей жидкости с тонкостью 3 мкм [11]. Однако следует понимать, что выбор класса чистоты рабочей жидкости определяет наиболее чувствительный к загрязнению элемент системы с наименьшими зазорами в сопряжении, поскольку наибольшую опасность представляют частицы, размеры которых соизмеримы с этими зазорами. Согласно п. 5.2.10.6 ГОСТ Р 52543—2006 «Гидроприводы объемные. Требования безопасности», ЕН 982:1996 «Безопасность оборудования. Требования безопасности к гидравлическим и пневматическим системам и их компонентам. Гидравлика» тонкость фильтрации должна быть обоснована. Для поршневых насосов и клапанов с пропорциональным управлением абсолютная тонкость фильтрации рекомендуется порядка 10 мкм, этот же показатель системы фильтрации на уровне 5 мкм рекомендуется для сервоклапанов и сервоцилиндров (П. Дрекслер, Х. Фаатц и др. Проектирование и сооружение гидроустановок. Учебный курс по гидравлике Т. 3. Лор-на-Майне: Маннесманн Рексрот Гмбх. 1988. 376 с.). Завышение

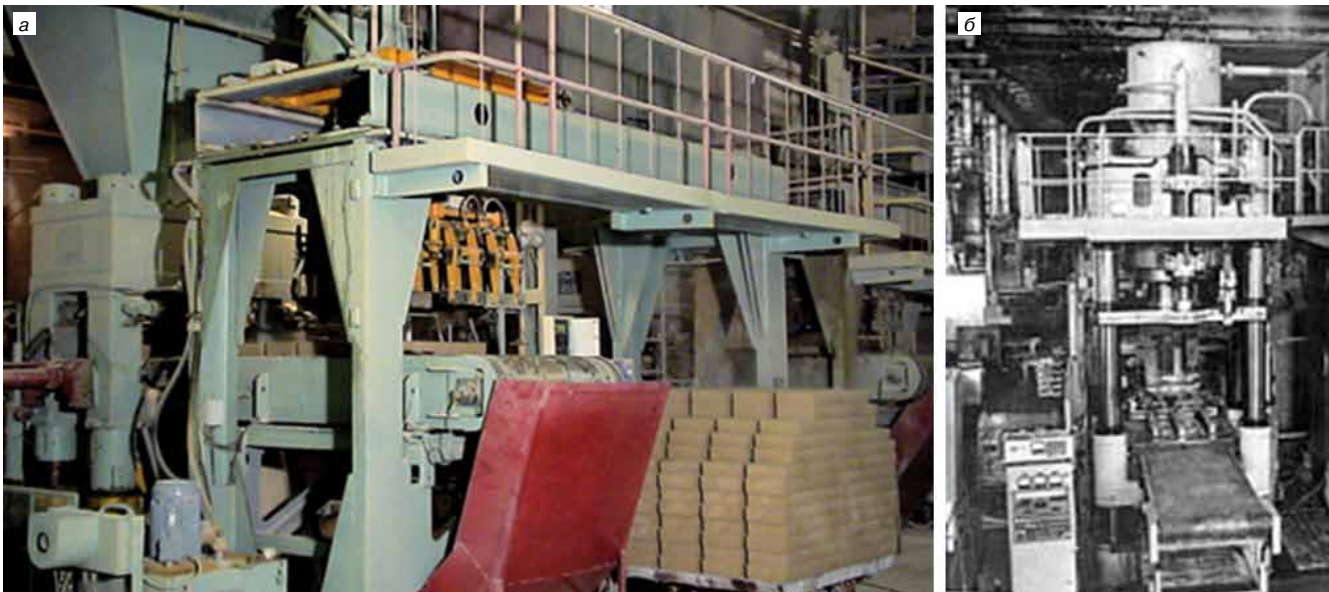


Рис. 14. Базовые модели прессов: а – АКД0537; б – ДА0242

требований к системе фильтрации ведет к необоснованному увеличению стоимости ее комплектации и обслуживания. Кроме того, при назначении тонкости фильтрации системы от 10 мкм и ниже следует учитывать, что это также ведет к увеличению стоимости, связанной с необходимостью применения рабочих жидкостей с улучшенными показателями фильтруемости.

**Риски, связанные с отсутствием нормоконтроля на стадии конструкторской подготовки производства**

Одна из задач при конструкторской подготовке производства – соблюдение установленных норм и требований, и в первую очередь в области охраны труда, определенных стандартами системы ССБТ. Это казалось очевидным, однако во время конференции СИЛИКАТэкс-2014 был озвучен вопрос в адрес одного из докладчиков о наличии документа, подтверждающего соответствие предлагаемого оборудования требованиям технического регламента, который был весьма прохладно воспринят аудиторией (несмотря на ответ об отсутствии такого документа). В связи с чем хотелось бы уделить этому моменту некоторое внимание.

Любое промышленное оборудование является объектом повышенной опасности, поэтому его проектирование, производство и реализация должны осуществляться в рамках единого правового поля в сфере охраны труда, которое определено нормативно-правовыми актами, установленными законодательством. В настоящее время это технические регламенты, разработанные в соответствии с Федеральным законом от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Оборудование для промышленности строительных материалов на основании п. 32 перечня объектов технического регулирования подлежит подтверждению соответствия требованиям технического регламента Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» (аналог Директивы Европейского парламента и Совета Европейского союза 2006/42 ЕС (98/37 ЕС) «О машинах и механизмах») в форме декларирования соответствия.

Согласно п.1 ст. 3 технического регламента Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования», на единой таможенной территории Таможенного союза не допускаются к выпуску в обращение машины и оборудование, соответствие которых требованиям технического регламента не подтверждено.

Одним из критериев оценки обеспечения соответствия требованиям регламента является соблюдение на добровольной основе стандартов, установленных перечнем, утвержденным решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 823. Процедура подтверждения соответствия достаточно проста, если подготовка конструкторской и эксплуатационной документации, а также изготовление оборудования велись с соблюдением всех действующих норм.

При ознакомлении с конструкцией пресса одностороннего прессования VIKING SG-750 ряд специалистов, в том числе зарубежных, отметили нарушения п.п. 1.1.12, 1.3.8, 1.4.13 ГОСТ 12.2.017–93 «Оборудование кузнечно-прессовое. Общие требования безопасности», которые предусматривают наличие защитных ограждений и блокировочных устройств для них. На предыдущих машинах данной модели на насосные агрегаты были установлены и опломбированы кожухи, закрывающие доступ для осмотра и обслуживания мест присоединения гидролиний к насосу для защиты ноу-хау. При этом не было возможности самостоятельного устранения обслуживающим персоналом образовавшейся утечки рабочей жидкости, поскольку срыв пломбы вел к потере гарантии от производителя. Это является нарушением п.п. 5.1.3, 5.1.30 ГОСТ Р 52543–2006, ЕН 982:1996. Кроме того, по информации производителя, по состоянию на 2013 г. в состав эксплуатационной документации не включалась принципиальная гидравлическая схема (опять же для защиты ноу-хау), наличие которой регламентируется п. 5.9. ГОСТ 26583–85 «Система технического обслуживания и ремонта технологического оборудования машиностроительных предприятий. Металлорежущее, кузнечно-прессовое, литейное и деревообрабатывающее оборудование. Порядок разработки и правила составления руководства по эксплуатации и ремонтных документов».

Эти несоответствия были установлены лишь при первичном ознакомлении с оборудованием, что свидетельствует о низком качестве нормоконтроля при конструкторской подготовке производства оборудования. А отсутствие документа о подтверждении требований технического регламента является нарушением действующего законодательства.

Остается только надеяться, что заказчик, приобретая такое оборудование, достаточно информирован и объективно оценивает риски, возникающие при его эксплуатации.

Технологическая характеристика прессов различных типов для производства силикатных изделий

ПОКАЗАТЕЛИ	Характеристика стола	Передача давления	Наибольшее усилие, развиваемое прессом, МН	Характер приложения усилия	Наибольшая суммарная площадь нетто формуемых изделий, дм <sup>2</sup>	Наибольшая высота формуемых изделий, мм	Длительность цикла, с	Тип регулирования в системе управления технологическими параметрами
<b>LASCO</b>	Неподвижный	Гидравлическая	9	Одностороннее	38,6/49,7	138/250	11–14	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики (по заказу объемное, на базе ЧРП)
			6,3/6,5/ 8/9	Двустороннее	52,7/---/ ---/--- -/-	250/500/ 500/625		
			6,9	Одностороннее	57,7	250		
<b>MASA</b>	Неподвижный	Гидравлическая	6,9	Одностороннее	80,8	300	9–14	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики
			10,4	Двустороннее	84,9	675		
			3,8/6,5/6,5	Одностороннее	24,2/48,3/48,3	250		
<b>WKB</b>	Неподвижный	Гидравлическая	6,5	Двустороннее	48,3	250	10–13	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики
			11	Двустороннее	44			
<b>Наiyuan Group</b>	Подвижный по оси пресс-штемпеля	Гидравлическая	6/8	Двустороннее	43,2/51,8	120	15–16	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики
<b>Dragon &amp; Strong</b>	Неподвижный	Гидравлическая	7,5	Одностороннее	52	250	9–11	Объемное, на базе ЧРП
<b>Zhengzhou DEYI</b>	Неподвижный	Гидравлическая	4,6/8	Одностороннее	21/42	138	12	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики
<b>Инвест-Технология</b>	Неподвижный	Гидравлическая	13,2	Одностороннее	96	165	10–11	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики
<b>Тяжстанко гидропресс</b>	Подвижный по оси пресс-штемпеля	Гидравлическая	4,6/8	Одностороннее	21/42	138	12	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики
<b>Тяжмехпресс</b>	Неподвижный	Гидравлическая	13,2	Одностороннее	96	165	10–11	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики
<b>Mitsubishi Fukai</b>	Неподвижный	Гидравлическая	13,2	Одностороннее	96	165	10–11	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики
<b>12SOP-CKO</b>	Неподвижный	Гидравлическая	13,2	Одностороннее	96	165	10–11	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики
<b>6DOP-CKO</b>	Неподвижный	Гидравлическая	13,2	Одностороннее	96	165	10–11	Дроссельное, на базе пропорциональной гидравлики

В итоге положение дел сводится к тому, что в настоящее время на рынке оборудования для производства силикатных изделий наилучшие комплексные решения с точки зрения минимизации различных рисков, представлены зарубежными производителями. Даже несмотря на то, что по ряду технических параметров отечественное оборудование превосходит импортные аналоги.

События последних месяцев выявили дополнительные (валютные) риски, связанные с импортом оборудования. Сильнее всего данное обстоятельство окажет влияние на новые инвестиционные проекты в силикатной отрасли. В то же время перспективы отечественного машиностроительного комплекса в области производства основного технологического оборудования для силикатной промышленности при сохранении существующего вектора развития представляются весьма сомнительными.

С одной стороны, выпавшие с рынка специализированные заводы (рис. 1), накопившие за свою историю огромный опыт, который не имеют возможности реализовать, с каждым годом у них остается на это все меньше шансов. С другой — инжиниринговые фирмы, которые нашли способы реализации проектов с показателями на уровне лучших существующих отраслевых решений, но при отсутствии соответствующего опыта вынуждены терять время на проработку уже решенных технических и технологических задач. Ожидаемого на первый взгляд

взаимодействия между ними не происходит. В интересах отрасли — наладить эту связь.

В настоящее время на уровне государства не существует механизма, который позволил бы изменить ситуацию. Поэтому необходимо искать решение в плоскости действия некоммерческих партнерств. Наиболее перспективным в существующих условиях представляется вариант взаимовыгодного трехстороннего сотрудничества инжиниринговых компаний, машиностроительных предприятий, нацеленных на выпуск соответствующих типов оборудования, и предприятий силикатной отрасли (конечных потребителей). Подобная структура взаимодействия может быть выстроена, например, на базе Ассоциации Производителей Силикатных Изделий (АПСИ), целью которой является реализация задач технологической реконструкции и модернизации предприятий отрасли [12]. Тем более что задача разрешения текущей ситуации коррелирует с планами по использованию организационной структуры ассоциации в качестве рабочей площадки для бизнес-проектов, развивающих силикатную отрасль, в том числе в плане развития делового партнерства с предприятиями смежных отраслей. Такое взаимодействие позволит добиться наилучших результатов в краткосрочной перспективе при минимальных рисках дискредитации отечественного производителя и девальвации технического и технологического потенциала, накопленного за более чем полувековой период.

**Список литературы**

1. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. М.: Стройиздат. 1982. 384 с.
2. Зейфман М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов. М.: Стройиздат, 1990. 184 с.
3. Ветров Е.В. Автоматизация процесса формования силикатного кирпича на базе микроконтроллерных устройств управления прессовым оборудованием. Дисс... канд. техн. наук. Белгород. 2007. 167 с.
4. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы. М: Машиностроение. 1982. 423 с.
5. Свешников В.К. Энергосбережение в современных гидроприводах // РИТМ. 2011. № 6. С. 34–38.
6. Патент на полезную модель РФ 53217. Устройство для регулирования скорости прессования гидравлического пресса / Миргородский В.В., Морозов К.П., Кислов В.А., Калекин М.Ю. Заявл. 29.12.2005. Оpubл. 10.05.2006.
7. Калекин М.Ю., Сулима-Грудзинский А.В. Новые технические решения в конструкции современных прессов для производства огнеупорных изделий // *Новые огнеупоры*. 2007. № 5. С. 32–34.
8. European patent specification EP 2000226. Improved press for extruding non-ferrous metal section members / Presezzi, Valerio; Proprietor: Presezzi Extrusion S.p.A. Priority 06.06.2007. Publication 10.12.2008.
9. Бабаков Н.А., Воронов А.А., Воронова А.А. и др. Теория автоматического управления. М.: Высшая школа. 1986. 367 с.
10. Свешников В.К. Инновационная гидравлика // РИТМ. 2014. № 4. С. 70–76.
11. Галеев И.А. Гидравлические прессы VIKING SG-710 для изготовления силикатного кирпича и блоков // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 34–35.
12. Сомов Н.В. Проблемы развития российской силикатной промышленности // *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 47–49.

**References**

1. Khavkin L.M. Tekhnologiya silikatnogo kirpicha [Technology of a silicate brick]. Moscow: Stroizdat. 1982. 384 p.
2. Zeifman M.I. Izgotovlenie silikatnogo kirpicha i silikatnykh yacheistyx materialov [Production of a silicate brick and silicate cellular materials]. Moscow: Stroizdat. 1990. 184 p.
3. Vetrov E.V. Automation of process of formation of a silicate brick on the basis of microcontroller control units the press equipment. Cand. Diss. (Engineering). Belgorod. 2007. 167 p. (In Russian).
4. Bashta T.M., Rudnev S.S., Nekrasov B.B., etc. Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody [Hydraulics, hydrocars and hydraulic actuators]. Moscow: Mashinostroenie. 1982. 423 p.
5. Sveshnikov V.K. Energy saving in modern hydraulic actuators. *RITM*. 2011. No. 6, pp. 34-38 (In Russian).
6. Patent for useful model RF 53217. *Ustroistvo dlya regulirovaniya skorosti pressovaniya gidravlicheskogo pressa* [The device for regulation of speed of pressing of a hydraulic press]. Mirgorodskii V.V., Morozov K.P., Kislov V.A., Kalekin M.Yu. Declared 29.12.2005. Published 10.05.2006. (In Russian).
7. Kalekin M.Yu., Sulima-Grudzinskii A.V. New technical solutions in a design of modern press for production of fire-resistant products. *Novye ogneupory*. 2007. No. 5, pp. 32-34.
8. European patent specification EP 2000226. *Improved press for extruding non-ferrous metal section members* / Presezzi, Valerio; Proprietor: Presezzi Extrusion S.p.A. Priority 06.06.2007. Publication 10.12.2008.
9. Babakov N.A., Voronov A.A., Voronova A.A., etc. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya* [Theory of automatic control]. Moscow: Vysshaya shkola. 1986. 367 p.
10. Sveshnikov V.K. Innovative hydraulics *RITM*. 2014. No. 4, pp. 70–76. (In Russian).
11. Galeev I.A. Hydraulic the press of VIKING SG-710 for production of a silicate brick and blocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 34-35. (In Russian).
12. Somov N.V. Problems of development of the Russian silicate industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 3, pp. 47–49. (In Russian).



УДК 621.926.77

В.А. БОБИН<sup>1</sup>, д-р техн. наук (bobin\_va@mail.ru), А.В. БОБИНА<sup>2</sup>, инженер (annabobini@mail.ru)<sup>1</sup> Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4),<sup>2</sup> Московский горный институт Национального исследовательского технологического университета МИСиС (119991, г. Москва, Ленинский просп., 4)

## Гироскопическая мельница – новая энергоэффективная техника для безударного разрушения твердых материалов

Описана конструкция и принцип работы гироскопической мельницы – новой, не имеющей аналогов энергоэффективной техники для безударного разрушения твердых материалов. Представлены результаты лабораторных исследований экспериментального образца гироскопической мельницы с центральной загрузкой горной породы через полый вал. Показано, что для всех видов исследованных горных пород, имеющих крепость по шкале Протодяконова в диапазоне до 8 единиц, эффективность работы гироскопической мельницы составила более 306 кг/ч/кВт, а удельная эффективность – 62 кг/ч/кВт/т массы установки, что в 23 раза и на три порядка больше соответствующих величин традиционных дисковых истребителей.

**Ключевые слова:** безударное разрушение материалов, гироскопическая мельница, дисковые истребители, технологические параметры измельчения, энергоэффективность

V.A. BOBIN<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), A.V. BOBINA<sup>2</sup>, Engineer (annabobini@mail.ru)<sup>1</sup> Institute of Complex Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences (4, Kryukovski Tupik, Moscow, 111020, Russian Federation)<sup>2</sup> Moscow mining institute of National University of Science and Technology MISIS (4, Leninskiy Avenue, 119049, Moscow)

### Gyroscopic mill – new power effective equipment for unaccented destruction of solid materials

The design and principle of operation of a gyroscopic mill, a new, not having analogues, power efficient equipment for non-impact destruction of solid materials, are described. Results of the laboratory testing of the experimental sample of the gyroscopic mill with the central loading of rock through the hollow shaft are presented. It is shown that for all types of tested rock with hardness in the range of 8 units according to the scale of professor M.M. Protodiakonov, the efficiency of the gyroscopic mill operation is over 306 kg/h/kw and specific efficiency is 62 kg/h./kw/t of the unit's mass that 23 times and three orders of magnitude larger than the corresponding values of the traditional disk grinder.

**Keywords:** non-impact destruction of solid materials, gyroscopic mill

Задача создания горных машин, позволяющих существенно сократить энерго- и металлзатраты на разрушение твердых материалов, является важнейшей для строительной индустрии и горнодобывающей промышленности.

Существующие мельницы и дисковые истребители не позволяют изменять усилия истирания горных пород в зависимости от их гранулометрического состава и прочностных свойств, что требует расширения номенклатуры машин, повышения их массогабаритных показателей и увеличения энергопотребления на измельчение единицы массы исходного материала.

Значительного повышения энергоэффективности измельчения твердых материалов можно достичь только на основе нового физического принципа создания усилий разрушения горных пород, который использован в терочных мельницах с рабочим органом, управляемым гироскопом, получивших название гироскопических мельниц (ГМ), которые наряду с дисковыми истребителями используются для переработки хрупких материалов различной прочности и твердости.

Десятилетний опыт научных и конструкторских разработок [1–4] в этом новом направлении показал, что существующие ГМ имеют значительные резервы для модернизации в направлении существенного уменьшения габаритов и массы, а также повышения эффективности работы.

В этой связи для теории и практики горных машин актуальным представляется дальнейшее развитие исследований по разработке нового гироскопического метода истирания твердых строительных материалов и различных горных пород [5–7].

Целью настоящей работы стало экспериментальное обоснование параметров рабочего процесса безударного разрушения твердых материалов в гироскопических мельницах для повышения их производительности.

Наиболее современной из гироскопических горных машин является ГМ с загрузкой через полый вал вращения горизонтальной площадки [8] (рис. 1).

Принцип действия ГМ заключается в том, что при вращении силовым двигателем 9 горизонтальной рабочей площадки 23 с установленными на ней шестью двухступенными гироскопами, на которых закреплены через рычаги 24 валки (рабочие органы) 26, возникает гироскопический момент, одновременно с гироскопами поворачивающий и прижимающий к породе 28 закрепленные на рычагах валки 26. Измельчаемая горная порода попадает под валки через усеченный конус центрального загрузочного устройства 1 и полый вал вращения 4 и равномерно распределяется на рабочем столе 29 с помощью центрального рассекателя 27. Вращающиеся валки, прижатые гироскопическим моментом к породе, обеспечивают ее истирание, в результате чего она через перфорированные отверстия рабочего стола сначала попадает в разгрузочный усеченный конус 33 и далее в бункер 34.

Схема сил и моментов, реализующих рабочий процесс разрушения горной породы в ГМ, приведена на рис. 2.

$$M_{ГМ} = J_M \times \omega(\text{омега}) \times \Omega(\text{омега}) \times \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $J_M = m_M \times R_M^2 / 2$  – момент инерции маховика 20;  $m_M$  и  $R_M$  – соответственно масса и радиус маховика 20;  $\alpha$  – угол между векторами  $\omega$  и  $\Omega$ .

При этом непосредственно на каждый из шести валков 26 действует вертикальная гироскопическая сила:

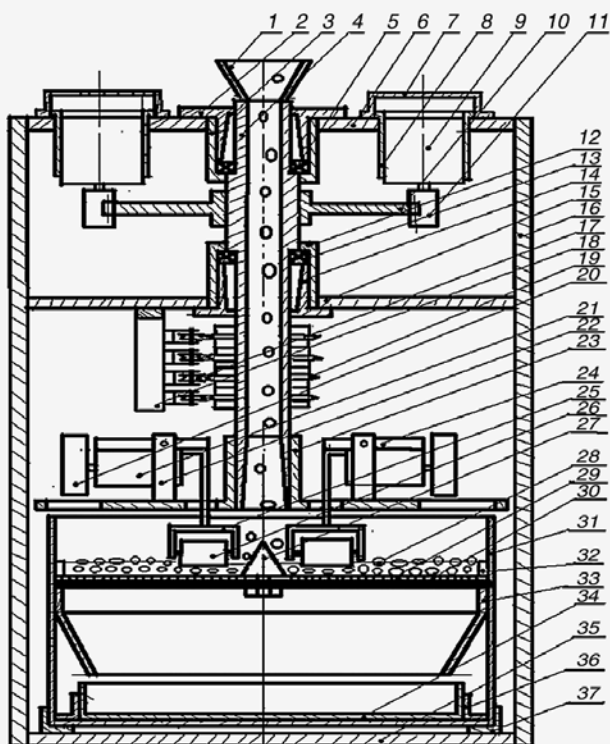
$$F_{ГМ} = M_{ГМ} / l_1 = J_M \times \omega \times \Omega \times \sin \alpha / l_1, \quad (2)$$

где  $l_1$  – расстояние от шарнира 25 до центра валка 26. Направление этой силы определяется знаком тригонометрической функции.

При этом значение силы истирания, генерируемой каждым из шести валков, вычисляется согласно формуле (3):

$$F_{истр} = K \times F_{ГМ} = K \times J_M \times \omega \times \Omega \times \sin \alpha / l_1, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент трения.



**Рис. 1.** ГМ с загрузкой горной породы через полый вал горизонтальной площадки: 1 – загрузочный конус; 2 – крышка узла подшипника; 3 – держатель подшипника; 4 – полый вал вращения; 5 – упорный подшипник; 6 – верхняя конструктивная площадка; 7 – защитная крышка силового электродвигателя; 8 – втулка силового электродвигателя; 9 – силовой электродвигатель; 10 – ведомая шестерня редуктора; 11 – ведущая шестерня редуктора; 12 – держатель нижнего подшипника; 13 – упорный подшипник; 14 – крышка нижнего подшипника; 15 – средняя конструктивная площадка; 16 – стойка; 17 – подвижные электрические контакты; 18 – держатель электрических контактов; 19 – неподвижные контакты; 20 – маховик гироскопа; 21 – электродвигатель гироскопа; 22 – стойка гироскопа; 23 – горизонтальная рабочая площадка; 24 – рычаг; 25 – держатель валка (рабочий орган); 26 – валок (6 шт., образующих три симметричные пары; показаны два валка, чтобы не загромождать рисунок); 27 – рассекающий горной породы; 28 – горная порода; 29 – сетка рабочего стола; 30 – основание рабочего стола; 31 – корпус рабочего стола; 32 – фиксирующее кольцо; 33 – разгрузочный конус; 34 – бункер; 35 – нижняя конструктивная площадка; 36 – направляющая бункера; 37 – направляющая корпуса рабочего стола

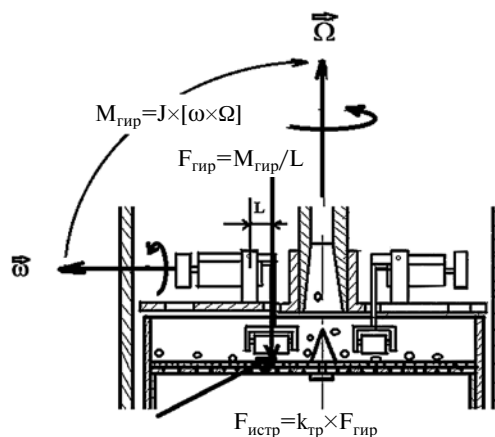
Как показывает соотношение (3), сила истирания твердых материалов является функцией шести параметров, три из которых (масса маховиков, их радиус и расстояние от центра валка до шарнира) являются конструктивными, а коэффициент трения, угловые скорости вращения маховиков и горизонтальной площадки являются технологическими.

Лабораторные экспериментальные исследования по проверке работоспособности образца ГМ проводились в ООО «НПП Профиль-Т» по специальной программе.

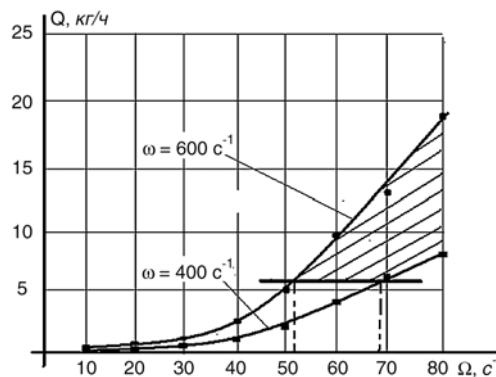
Установленные на ГМ электродвигатели позволяют изменять величину  $\omega$  в диапазоне от 10 до 600 с<sup>-1</sup>, а величину  $\Omega$  в диапазоне от 1 до 80 с<sup>-1</sup>. Момент инерции каждого маховика гироскопов составляет  $J=4 \times 10^{-5}$  кгм<sup>2</sup>, а момент гироскопических сил, создаваемых каждым гироскопом, может изменяться в диапазоне от  $4 \times 10^{-4}$  до 0,32 Нм. Общая площадь, перекрываемая шестью рабочими органами, составляет  $S = 0,0314$  м<sup>2</sup>.

Испытания экспериментального образца ГМ проводились на специальном стенде для образцов горных пород с различной крепостью по шкале Протодяко-нова (табл. 1).

Проверка работоспособности экспериментального образца ГМ, реализующей измельчение горной породы в слое минеральных частиц, включает достижение технических характеристик, а именно: эффективности работы ГМ не хуже 60 кг/ч/кВт и удельной эффективности 12 кг/ч/кВт/кг массы установки.



**Рис. 2.** Схема сил и моментов, реализующих рабочий процесс истирания твердых материалов в ГМ



**Рис. 3.** Зависимость производительности ГМ по галениту от угловой скорости маховиков гироскопов и горизонтальной площадки

Эксперименты по определению производительности ГМ проводили сериями по три эксперимента в каждой, при этом величину угловой скорости вращения рабочей площадки  $\Omega$  изменяли от 10 до 80 с<sup>-1</sup> с шагом 10 с<sup>-1</sup>, тогда как угловую скорость маховиков  $\omega$  задавали фиксированную, 400 и 600 с<sup>-1</sup>, чему соответствовало напряжение на двигателях маховиков 12,03 В и 15 В.

Загружались исходные горные породы фракции 2–7 мм, а производительность мельницы ( $Q$ , т/ч) оценивалась по фракции менее 0,1 мм, собираемой в бункере ГМ. Масса ГМ 5 кг. Продолжительность каждого эксперимента составляла 300 с.

Средние значения определяемых экспериментальных величин для галенита представлены на рис. 3. Аналогичные экспериментальные данные получены и для остальных горных пород. При этом вычислялись эффективность работы ГМ ( $\Theta$ ) и удельная эффективность  $\Theta_{уд}$ , отнесенная на единицу массы исследуемой ГМ, по следующим формулам:

$$\Theta = Q/N, \tag{4}$$

где  $N$  – уровень потребления электроэнергии ГМ (кВт);

$$\Theta_{уд} = \Theta/m = Q/N/m. \tag{5}$$

При проведении экспериментов точность определения эффективности работы ГМ составляла  $\pm 2$  кг/ч/кВт; удельной эффективности –  $\pm 1$  кг/ч/кВт/кг; исходной крупности измельчаемой горной породы –  $\pm 0,03$  мм; конечной крупности породы –  $\pm 0,01$  мм.

Эта зависимость показывает, что достижение характеристики производительности работы ГИ не хуже

6 кг/ч реализуется при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$ , если  $\Omega>68 \text{ с}^{-1}$ . При увеличении угловой скорости вращения маховиков гироскопов до  $600 \text{ с}^{-1}$  значение угловой скорости вращения горизонтальной площадки снижается до  $53 \text{ с}^{-1}$ , достигая при этом требуемой производительности работы ГМ.

На рис. 4 и 5 представлены соответственно зависимости эффективности и удельной эффективности работы ГМ по галениту от угловых скоростей маховиков гироскопов и горизонтальной площадки.

Представленные на рис. 4 и 5 экспериментальные данные показывают, что эффективность работы ГИ не хуже  $60 \text{ кг/ч/кВт}$  и удельная эффективность  $12 \text{ кг/ч/кВт/кг}$  массы установки достигаются при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$ , если  $\Omega>58 \text{ с}^{-1}$ .

В свою очередь, увеличение угловой скорости вращения маховиков гироскопов до  $600 \text{ с}^{-1}$  позволяет снизить значение угловой скорости вращения горизонтальной площадки до  $48 \text{ с}^{-1}$ , достигая при этом требуемой эффективности и удельной эффективности работы ГМ.

Таким образом, экспериментально определены области технологических параметров работы ГМ, при которых ее заявленные технические характеристики достижимы.

Аналогичные эксперименты были проведены для остальных горных пород (табл. 1). На рис. 6, 7 представлены результаты для угля и кварца. Эти горные породы являются наиболее характерными, так как их крепость различается почти в три раза, что отражается на достигаемых значениях производительности и удельной эффективности работы ГМ.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что значения эффективности и удельной эффективности работы ГМ определяются главным образом угловой скоростью маховиков гироскопов и горизонтальной площадки. Для наименее крепкой породы – угля заданные технические характеристики достигаются уже при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>52 \text{ с}^{-1}$ , а при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  угловая скорость вращения горизонтальной площадки может быть снижена до  $\Omega=44 \text{ с}^{-1}$ .

Для наиболее крепкой породы – кварца – аналогичные технические характеристики могут быть достигнуты только при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>66 \text{ с}^{-1}$ . Для остальных пород эти величины имеют следующие значения: цеолит (при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>54 \text{ с}^{-1}$ ; при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>48 \text{ с}^{-1}$ ), шунгит (при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>76 \text{ с}^{-1}$ , при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>55 \text{ с}^{-1}$ ), железистые кварциты (при  $\omega=400 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>78 \text{ с}^{-1}$ ; при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>57 \text{ с}^{-1}$ ), карбонатно-силикатная руда (при  $\omega=600 \text{ с}^{-1}$  и  $\Omega>62 \text{ с}^{-1}$ ).

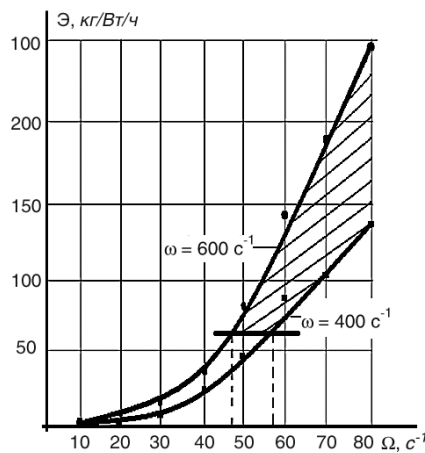


Рис. 4. Зависимость величины эффективности работы ГМ по галениту от угловой скорости маховиков гироскопов и горизонтальной площадки

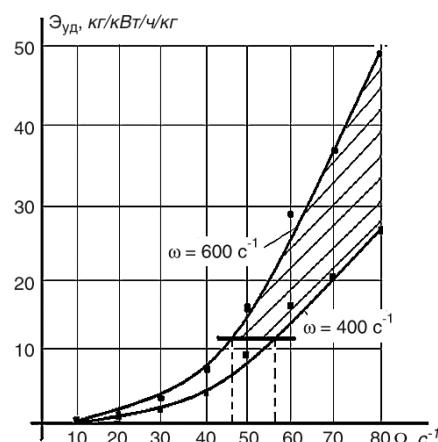


Рис. 5. Зависимость величины удельной эффективности работы ГМ по галениту от угловой скорости маховиков гироскопов и горизонтальной площадки

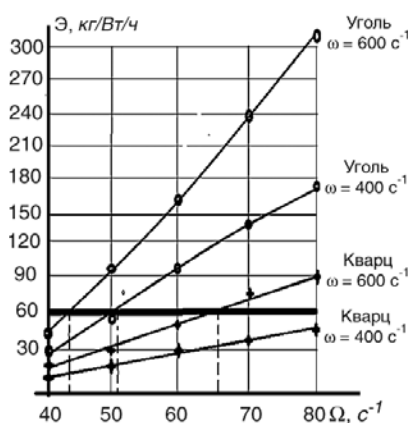


Рис. 6. Зависимость величины эффективности работы ГМ по углю и кварцу от угловой скорости маховиков гироскопов и горизонтальной площадки

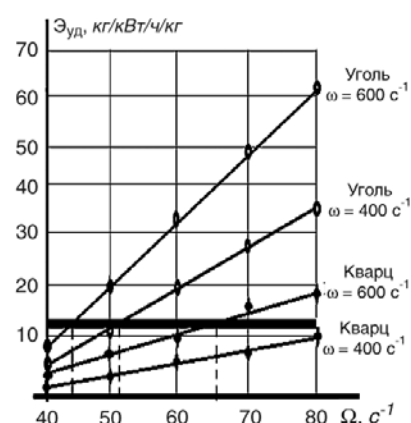


Рис. 7. Зависимость величины удельной эффективности работы ГМ по углю и кварцу от угловой скорости маховиков гироскопов и горизонтальной площадки

Таблица 1

Горная порода	Уголь	Галенит	Цеолит	Шунгит	Железистые кварциты	Карбонаты	Кварц
Крепкость	2	2–3	3	5	5–6	6	7–8

Таблица 2

Параметры	ИД-130	ИД-175	ИД-250	ЛДИ-65	ГМ
Исходная крупность породы, мм	до 3	до 10	до 10	до 2	до 10
Конечная крупность породы, мм	0,044	0,05	0,08	0,05	0,06
Q, кг/ч	8	20	40	1	23
N, кВт	1,1	1,5	5,5	0,37	0,075
m, кг	55	80	160	17	5
Э=Q/N, кг/ч/кВт	7,3	13,3	7,3	2,7	306
Эуд=Э/m, кг/ч/кВт/кг	0,13	0,17	0,045	0,16	62

Технические характеристики ГМ в сравнении с такими же показателями для дисковых измельчителей, выполняющих аналогичные функции, приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 подтверждают работоспособность ГМ, энергоэффективность которой в 23 раза, а удельная энергоэффективность в 1300 раз больше, чем у дисковых истирателей аналогичного назначения.

Таким образом, представленные результаты лабораторных исследований экспериментального образца гироскопической мельницы с центральной загрузкой горной породы через полый вал показывают, что эта новая техника является энергоэффективным устройством для безударного разрушения твердых материалов и горных пород.



**Список литературы**

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Основы горного дела. М.: Недра, 2010. 264 с.
2. Чантурия В.А. и др. Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. М.: ИПКОН РАН, 2006. 352 с.
3. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Добрынин И.А. Определение гранулометрического состава по фотопланограммам с использованием компьютерной программы // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. Отдельный выпуск, 2007. № 8. С. 169–173.
4. Казаков С.В., Вайсберг Л.А., Лавров Б.П. Анализ одной из перспективных схем виброударной дробилки // *Обогащение руд*. 2006. № 3. С. 41–43.
5. Бобин В.А., Воронюк А.С., Ланюк А.Н. Идея использования гироскопической силы как физической основы новых энерго- и материалосберегающих технологий и механизмов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2005. № 3. С. 290–293.
6. Покаместов А.В., Бобина А.В. Новый физический принцип создания и регулирования усилиями истирания за счет гироскопического эффекта // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012. № 3. С. 29–31.
7. Бобин В.А., Чернегов Ю.А. Гироскопическая мельница. Технологический прорыв в горном деле // *Технологии мира*. 2010. № 6 (24). С. 25–27.
8. Бобин В.А., Покаместов А.В., Бобина А.В., Ланюк А.Н. Гироскопический измельчитель с центральной загрузкой породы. Патент РФ № 2429912. 2011. Бюл. № 27.

**References**

1. Trubetskoy K.N., Galchenko Y.P. Basics of mining. Moscow: Nedra, 2010, 264 p. (In Russian).
2. Chanturia V.A. and other. Nanochastitsy v protsessakh razrusheniya i vskriiya geomaterialov [Nanoparticles in the processes of disintegration and opening of geomaterials] Moscow: IPKON RAS, 2006. 352 p. (In Russian).
3. Viktorov S.D., Kazakov N.N., Shlyapin A.C., Dobrynin I.A. Determination of particle size distribution on foto-programma using a computer program. *GIAB*, Seharate issue. 2007. No. 8. pp. 169–173. (In Russian).
4. Kazakov S.V., Weisberg L.A., Lavrov B.P. Analysis one of the promising schemes of vibro-impact crusher. *Obogaschenie rud*. 2006, No. 3, pp. 41–43. (In Russian).
5. Bobin V.A., Voronyuk A.S., Lanyuk A.N. The idea of using gyroscopic forces as the physical basis of new energy - material-efficient technologies and mechanisms. *GIAB*. 2005. No. 3, pp. 290–293. (In Russian).
6. Pokamestov A.V., Bobina A.V. Century a New physical principle of the creation and regulation efforts abrasion due to the gyroscopic effect. *GIAB*, 2012, No. 3, pp. 29–31. (In Russian).
7. Bobin C.A., Chernegov Y.A. Gyroscopic mill. A technological breakthrough in mining. *Technologii mira*. 2010. No. 6(24), pp. 25–27. (In Russian).
8. Bobin V.A., Pakamestov A.V., Bobina A.V., Lanyuk A.N. Gyroscopic shredder with Central loading of the breed. RF patent No. 2429912. 2011. Bull. No. 27. (In Russian).

**Издательство «Инфра-Инженерия» представляет новые книги**



**Защита зданий, сооружений и конструкций от огня и шума**  
Автор - Л.П. Зарубина, канд. техн. наук

В книге обобщен и систематизирован многолетний опыт работы ведущих научных, проектных и производственных организаций, занимающихся проблемами борьбы с огнем и шумом. Рассмотрена пассивная и активная огнезащита. Приведены средства и способы огнезащиты, огнезащитные покрытия для металлоконструкций, железобетонных конструкций, воздуховодов, деревянных конструкций, кабельных сетей. Даны системы противопожарной и противодымной защиты, пожарной сигнализации, автоматического пожаротушения. Рассмотрены вопросы звукоизоляции производственных, жилых и офисных помещений. Приведены современные материалы для звукоизоляции, шумоизоляции и шумопоглощения.

Книга предназначена для широкого круга инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией зданий и сооружений, может служить учебно-методическим пособием для студентов высших учебных заведений, аспирантов, слушателей институтов повышения квалификации строительного, машиностроительного и технологического профилей.

**Оформить заказ на книгу можно на сайте [www.infra-e.ru](http://www.infra-e.ru), тел.: +7-911-512-48-48, skype: infra\_e**



**Защита зданий, сооружений, конструкций и оборудования от коррозии. Биологическая защита**

Автор - Л.П. Зарубина, канд. техн. наук

В книге обобщен и систематизирован многолетний опыт работы ведущих научных, проектных и производственных организаций, занимающихся проблемами борьбы с коррозией и биологическим повреждением. Приведены классификация и характеристика защитных покрытий. Рассмотрены вопросы подготовки поверхностей к защите от коррозии различными способами. Предложены решения по защите конструкций от биологической коррозии. Приведена классификация способов и средств биозащиты древесины. Даны примеры биоцидных антисептических составов, лакокрасочных материалов.

Книга предназначена для широкого круга инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией зданий и сооружений.

**Оформить заказ на книгу можно на сайте [www.infra-e.ru](http://www.infra-e.ru), тел.: +7-911-512-48-48, skype: infra\_e**

УДК 691.322 004.421

В.В. БЕЛОВ, д-р техн. наук, И.В. ОБРАЗЦОВ, инженер (sunspire@list.ru)

Тверской государственной технической университет (170026, Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22)

## Использование виртуальных тренажеров для работников заводских лабораторий

Разработка, внедрение и совершенствование информационных технологий (виртуальных лабораторий, компьютерных лабораторных тренажеров, мастерских) в XXI в. – веке глобализации и компьютеризации перестали быть технологиями завтрашнего дня, они внесут вклад в формирование информационного общества в нашей стране. Освещены вопросы, связанные с функциональным устройством программ, принципами их разработки, а также эффективным применением виртуальных лабораторий в техническом образовании. Показан пример виртуального лабораторного практикума по строительному материаловедению – комплексу программ, имитирующих лабораторные испытания строительных материалов.

**Ключевые слова:** виртуальная лаборатория, физический процесс, имитационно-численное моделирование, визуализация.

V.V. BELOV, Doctor of Sciences (Engineering), I.V. OBRAZTSOV, Engineer (sunspire@list.ru)  
Tver State Technical University (22, Afanasiya Nikitina Embankment, 170026, Tver, Russian Federation)

### The Use of Virtual Simulators for Employees of Industrial Laboratories

Development, introduction and enhancement of information technologies (virtual laboratories, computer laboratory simulators, workshops), in the XXI century, the century of globalization and computerization, have ceased to be the technologies of tomorrow and will contribute to the formation of the information society in our country. Issues connected with functional units of programs, principles of their development as well as efficient using virtual laboratories in the technical education are covered. An example of virtual laboratory practical training in the construction material science – the complex of programs imitating laboratory tests of building materials – is presented.

**Keywords:** virtual laboratory, physical process, imitation-numerical simulation, visualization.

В настоящее время в научных исследованиях и образовании, в производственной и других сферах деятельности человека определяющее значение имеют информационно-вычислительные системы [1]. Развитие информатики и применение компьютеров в научных исследованиях ставят в настоящее время вопрос о пересмотре основных концепций представления научных знаний даже в уже глубоко разработанных и весьма формализованных областях и выдвигают на первый план задачу структурирования этих знаний (Колесниченко Е.Г. Структура естественнонаучного знания с точки зрения создания автоматизированных научных систем. М., 1997. 40 с.). Разработка мультимедийных учебно-научных лабораторий и их использование в инженерном образовании являются перспективным направлением в обучении современным высоким технологиям, подготовке высококвалифицированных научных кадров и отраслевых специалистов, а также в повышении квалификации инженерно-технических работников и сотрудников предприятий промышленного сектора.

Электронные образовательные ресурсы на основе современной компьютерной трехмерной симуляции физических процессов и явлений реализуются в форме мультимедийных учебно-научных лабораторий или виртуальных тренажеров. Новизна технологии виртуальных тренажеров аргументируется использованием современных средств компьютерного моделирования и активным внедрением информационных технологий в сферу образования как нового трансдисциплинарного направления [2,3]. Сформулируем основные причины использования технологии виртуальных тренажеров:

- существующие лабораторные стенды и мастерские недостаточно оснащены современными приборами, устройствами и аппаратами;

- лабораторные стенды в учебных мастерских введены в действие после списания с производства, не отвечают современным требованиям и морально устаре-

ли, что может исказить результаты опытов и служить потенциальным источником опасности для обучаемых;

- лабораторные работы и стенды требуют ежегодного усовершенствования, которое приводит к дополнительным финансовым затратам;

- в таких областях, как, например, строительное материаловедение или физическая химия, кроме оборудования требуются также расходные материалы – сырье, реактивы и др., стоимость которых достаточно высока. Разумеется, компьютерное оборудование и программное обеспечение также стоят недешево, однако универсальность компьютерной техники и ее широкая распространенность компенсируют этот недостаток;

- современные компьютерные технологии позволяют наблюдать процессы, трудно различимые в реальных условиях без применения дополнительной техники, например из-за малых размеров наблюдаемых частиц;
- виртуальные тренажеры дают возможность моделирования процессов, протекание которых принципиально невозможно в лабораторных условиях;

- виртуальные тренажеры дают возможность проникновения в тонкости процессов и наблюдения происходящего в другом масштабе времени, что актуально для процессов, протекающих за доли секунды или, напротив, длящихся в течение нескольких лет;

- безопасность является немаловажным плюсом использования виртуальных лабораторий в случаях, где идет работа, например с высокими напряжениями или химическими веществами;

- из-за инерционности работы или процессов на некоторых лабораторных установках за отведенное для них время трудно проводить повторный анализ или проверку;

- приобретение слушателями достаточных навыков и опыта работы в определенной области требует необходимости повторения занятий, что не всегда выпол-



Рис. 1. «Конус обучения» Эдгара Дейла (1900–1985 гг.)

няется во избежание частых поломок установок и дополнительных затрат на расходные материалы;

- виртуальные тренажеры являются высокоэффективным методом обучения, что обусловлено низким уровнем абстракции содержащегося в них учебного материала, иными словами, виртуальная среда обучения в мультимедийных учебно-научных лабораториях максимально имитирует реальные условия.

Наглядное сравнение различных техник обучения, в том числе имитация реальной деятельности, дает «конус обучения» профессора университета штата Огайо Эдгара Дейла, представленный на рис. 1.

На основе вышеизложенных фактов, возникает необходимость введения такого нового, эффективного и доступного педагогического метода (методики), который способствовал бы решению следующих задач:

- инициировать достаточно большой интерес у слушателей наряду с доступностью, тем самым повысить активность и самостоятельность их учебной работы;
- привлечь внимание слушателей; учитывая их психологические особенности, улучшить восприятие учебного материала за счет его мультимедийности;
- обеспечить полный контроль усвоения материала каждым слушателем;
- облегчить процесс повторения и тренинга при подготовке к экзаменам и другим формам контроля знаний;
- разгрузить преподавателей от рутины контроля и консультирования;
- использовать внеаудиторное время для изучения конструкций в виде домашних заданий;
- внедрить дистанционные формы учебной работы, в том числе в учебных заведениях, имеющих слабую лабораторную базу.

Именно с этой точки зрения внедрение информационных технологий способствует оптимальному решению вышеназванных задач и устранению ряда недостатков традиционного способа обучения. Эти вопросы во всей полноте можно решать с помощью мультимедийных учебно-научных лабо-

раторий, создаваемых на компьютерах [4, 5].

Виртуальный тренажер представляет собой программный комплекс, позволяющий проводить физические опыты на компьютере без непосредственного контакта с реальной лабораторной установкой или стендом. В виртуальных тренажерах динамика процессов реализуется посредством компьютерной анимации — комплекса методов отображения каких-либо объектов во времени. Процессы формирования понятий при помощи анализа, сравнения, выделения существенных признаков и других логических операций воспроизводятся специалистом, разрабатывающим анимацию, в образной форме и интерактивно выводятся на дисплей компьютера в строго определенных последовательностях. Мультимедийная учебно-научная лаборатория, как правило, сочетает в себе имитационную динамическую модель оборудования и программную оболочку, включающую методическое сопровождение лабораторной работы [6]. Динамическая модель формируется из совокупности элементов управления, позволяющих регулировать конкретные входные параметры и считывать выходные параметры опыта, тем самым имитируя протекание физических процессов.

На рис. 2 представлена принципиальная схема процесса обучения с применением виртуального тренажера.

Как показано на схеме, компьютерный тренажер включает в себя совокупность программных и аппаратных средств, позволяющих осуществлять процесс обучения без непосредственного взаимодействия человека и реальной лабораторной установки. Аппаратные возможности тренажера — это современный персональный компьютер, оснащенный качественными устройствами ввода/вывода информации. Программные средства — это математически обособленная виртуальная модель, включающая в себя систему графической визуализации, звуковое сопровождение и текстовую информацию [7]. Ввод и вывод информации осуществляется согласно разработанному алгоритму — программному коду виртуальной модели.



Рис. 2. Учебный процесс с применением виртуального тренажера

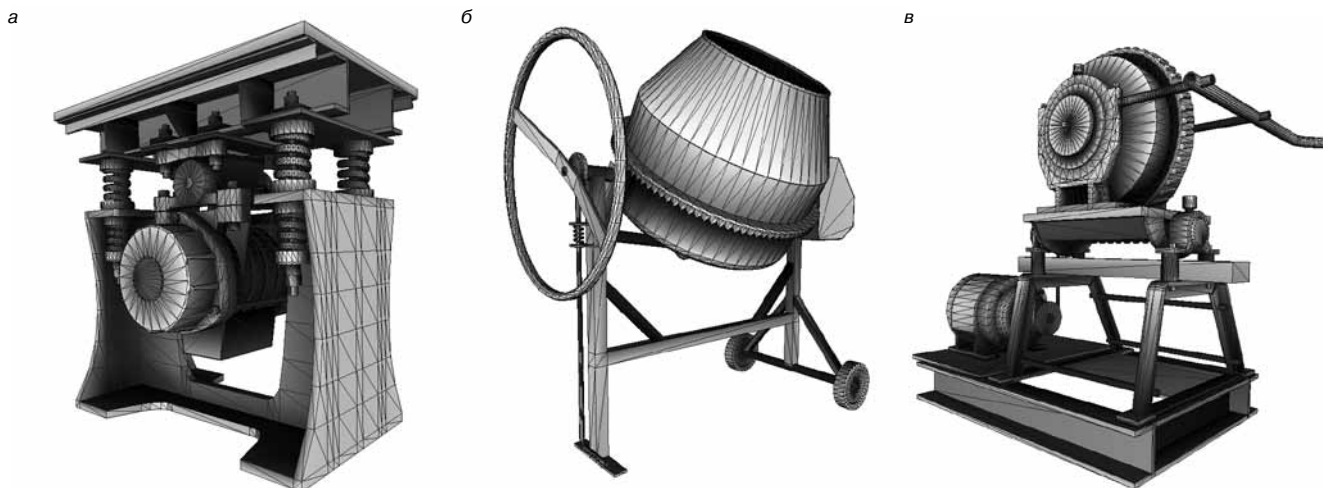


Рис. 3. Точные трехмерные модели оборудования лаборатории строительного материаловедения: а – вибрационная площадка; б – бетономеситель; в – шаровая мельница

В процессе обучения пользователь проходит основные этапы познавательной деятельности:

- восприятие, первоначальное знакомство;
- осмысление, закрепление, контроль знаний;
- формирование профессионально-ориентированных умений и навыков;
- развитие интуиции.

С развитием компьютерной графики стало возможным создавать высокореалистичные трехмерные модели лабораторных установок, станков, приборов и прочих объектов. Модели изготавливаются в строгом соответствии с чертежами типового оборудования и полностью отражают его конструктивно-функциональное назначение. Примеры трехмерных моделей типового лабораторного строительного оборудования приведены на рис. 3.

При создании виртуального тренажера разработчик применяет методы имитационно-численного моделирования и выполняет ряд рабочих этапов:

1. Изучение физики исследуемых процессов, установление входных и измеряемых параметров. На данном этапе работы необходимо определить, из каких основных элементов будет строиться имитация физического явления или процесса. Зная конкретные входные параметры опыта (постоянные или изменяемые), разработчик решает, каким способом будут реализованы элементы управления виртуальной модели – «устройства» регулирования. Знание выходных параметров опыта позволяет решить задачу, каким способом будут реализованы «устройства» измерения.

2. Создание геометрических моделей лабораторного оборудования. На данном этапе разработчик выполняет графическое решение виртуальной модели – современные виртуальные тренажеры выполняются в трехмерной графике с максимальной имитацией материалов и освещения, что существенно повышает качество работы. Главной задачей здесь является приближение модели к реальному объекту за счет соблюдения правильных пропорций, размеров, цветовых решений и освещения [8, 9].

3. Разработка интерактивного модуля, объединяющего геометрические модели и физические зависимости. Написание программного кода виртуальной модели является наиболее трудоемкой частью работы. В задачи программиста входит разработка алгоритма, адекватно описывающего физику реального процесса или явления. Программа связывает воедино графические элементы, звуковое и текстовое сопровождение, интерактивную составляющую, и, согласно точным

математическим зависимостям, имитирует динамику протекания процесса или явления.

4. Внедрение системы методических указаний и справочной информации. Когда виртуальная модель сформирована, ее необходимо снабдить сопровождающей информацией методического или справочного характера, что позволит пользователю более полно изучить суть исследования, а также освоить управление виртуальным тренажером. На данном этапе важнейшей задачей является структурирование всего учебного материала с целью сделать доступное, удобное в обращении «рабочее место» обучаемого пользователя. Одним из эффективных способов реализации системы методического сопровождения виртуального тренажера является разработка программной оболочки, позволяющей пользователю ознакомиться со структурой учебного курса, осуществлять прямой доступ к разделам курса, запускать интерактивные модули лабораторных работ, сохранять и читать статистические данные прохождения курса.

К примеру, программная оболочка мультимедийной учебно-научной лаборатории может включать в себя следующие разделы:

- редактор учетных записей пользователей;
- модуль электронного тестирования с окном проверки результатов;

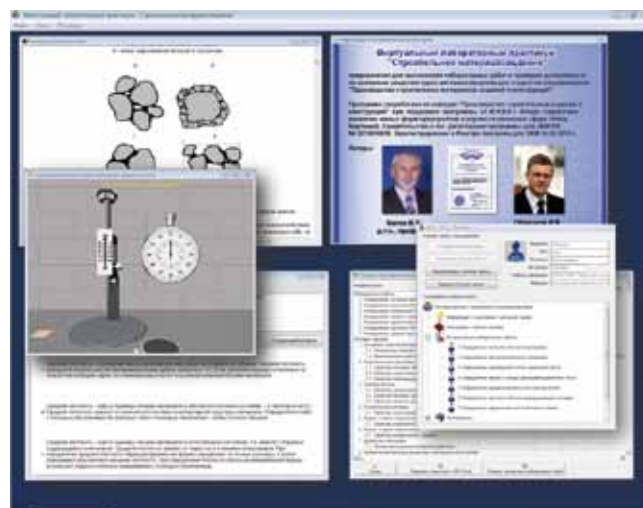


Рис. 4. Пример программной оболочки мультимедийной учебно-научной лаборатории

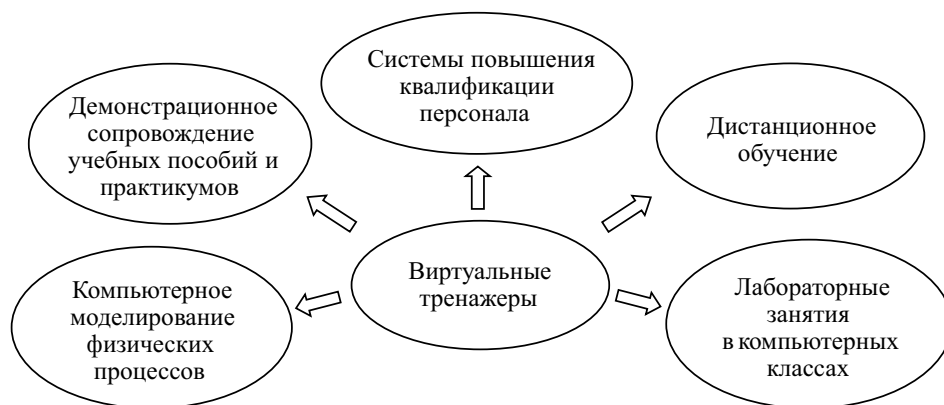


Рис. 5. Области применения мультимедийных учебно-научных лабораторий

- модуль методических указаний по выполнению лабораторных работ;
- модуль выполнения интерактивных лабораторных работ;
- электронный учебник;
- сводная таблица результатов (журнал).

Пользователь взаимодействует с программной оболочкой посредством диалоговых окон, образующих его графический интерфейс (GUI). С помощью стандартных элементов управления (кнопки, флажки, переключатели, текстовые поля и т. д.) пользователь устанавливает параметры, открывает/загружает файлы, подтверждает действия программы, имеет возможность получения общей статистики изучения материала и вывода ее на печать. Графический интерфейс пользователя наиболее удобно реализовывать в виде многодокументного интерфейса (MDI), включающего родительскую форму, в которой открывается ряд дочерних форм. Дочерние формы образуют систему диалоговых окон, например диалоговое окно редактора учетных записей, диалоговое окно тестирования и окно вывода таблицы результатов, информационное окно «О программе» и др.. Пример программной оболочки мультимедийной учебно-научной лаборатории, реализованной в виде многодокументного интерфейса, представлен на рис. 4.

5. Тестирование разработанной системы. Тестирование – это заключительный этап разработки. По завершении работы необходимо выявить возможные уязвимости алгоритма и предусмотреть реагирование программы на «неправильные» действия пользователя.

На рис. 5 показана сфера применения мультимедийных учебно-научных лабораторий, включающая в себя несколько больших областей.

Виртуальные лабораторные тренажеры позволяют устранить еще один недостаток традиционного способа обучения – это отдельное проведение лекционных и лабораторных работ как по времени, так и по теме. В большинстве случаев лабораторные работы (особенно по естественным дисциплинам) назначаются не с позиции сохранения последовательности изложения тем по

лекционным занятиям, а с точки зрения доступности (работоспособности или незанятости) лабораторного стенда. Виртуальные лабораторные работы также можно демонстрировать во время лекции, т. е. в дополнение к лекционному материалу. При этом достигается не только последовательность изучаемых тем по дисциплине, но и устраняется временной барьер между лекционными и лабораторными занятиями, что способствует повышению эффективности и качества обучения.

Эффективное применение

виртуальных тренажеров в образовательном процессе способствует не только повышению качества образования, но и экономии значительных финансовых (валютных) ресурсов, создает безопасную, экологически чистую среду. Внедрение виртуальных лабораторий требует комплексный подход, как со стороны образовательных структур, так и производственных и других, в том числе государственных структур.

В Тверском государственном техническом университете разработаны и введены в образовательный процесс виртуальные лабораторные практикумы по курсам строительного материаловедения и бетоноведения, гидравлики, водоснабжения, а также технологии обработки металлов. Разработанные программные продукты имеют свидетельства об официальной регистрации (РОСПАТЕНТ), полностью соответствуют требованиям отраслевого стандарта Минобрнауки РФ ГОСТ 2-98 «Системы автоматизированного лабораторного практикума». Они успешно применяются в учебном процессе как на базе собственного вуза, так и в других российских учебных заведениях – Новгородском государственном университете, Пензенском государственном университете, Сибирском государственном индустриальном университете, Донском государственном техническом университете, Костромском строительном техникуме, Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова, Тверской сельскохозяйственной академии и др.

Возможности технологий мультимедийных учебно-научных лабораторий позволяют наглядно воспроизводить физические эксперименты любой сложности. В настоящее время осуществляется подготовка к разработке виртуальной лаборатории испытаний свойств сухих строительных смесей, а также виртуальной лаборатории определения свойств бетонов по европейским стандартам, например, самоуплотняющихся бетонов по EN 206-9 (определение текучести с блокирующим кольцом, тест с L-образным контейнером, с U-образной трубкой, опыт на вымывание и др.), что чрезвычайно актуально для специалистов строительной отрасли.

#### Список литературы

1. Белов М.А., Антипов О.Е. Контрольно-измерительная система оценки качества обучения в виртуальной компьютерной лаборатории // *Качество. Инновации. Образование*. 2012. № 3. С. 28–32.
2. Лесовик В.С. Архитектурная геоника // *Жилищное строительство*. 2013. № 1. С. 9–12.

#### References

1. Belov M.A., Antipov O.E. Testing and measuring system for assessing the quality of teaching in a virtual computer lab. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*. 2012. No. 3, pp. 28–32. (In Russian).
2. Lesovik V.S. Architectural Geonics. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 10, pp. 14–17. (In Russian).



3. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований // *Высшее образование в России*. 2014. № 3. С.77–83.
  4. Соловов А.В. Виртуальные учебные лаборатории в инженерном образовании // *Сб. статей «Индустрия образования»*. Вып. 2. М.: МГИУ, 2002. С. 386–392.
  5. Норенков И.П., Зимин А.М. Информационные технологии в образовании. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 352 с.
  6. Белов В.В., Образцов И.В. Виртуализация физических процессов в теории и практике строительного образования. Мат-лы V Всерос. конф. студ., аспирантов и молодых ученых «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов». Пенза: ПГУАС, 2010. С. 186–189.
  7. Афанасьев В.О., Бровкин А.Г. Исследования и разработка системы интерактивного наблюдения индуцированной виртуальной среды (системы виртуального присутствия) // *Космонавтика и ракетостроение*. 2001. № 20. С. 19–21.
  8. Колганов Д.А. Нереальная физика. Тестирование NVIDIA PhysX на конфигурации SLI Multi-Card. // *Игромания*. Февраль. 2010. С. 162–164.
  9. Zhang G., Torquato S. Precise algorithm to generate random sequential addition of hard hyperspheres at saturation. *Physical review*, E 88. 2013. Pp. 053312–1–9.
3. Lesovik V. S. Geonika (geomimetika) as the transdisciplinary direction of researches. *Vischee obrazovanie v Rossii*. 2014. No. 3, pp. 77–83. (In Russian).
  4. Solovov A.V. Virtual educational laboratories in engineering education. *The Collection of the articles «Industry of Education»*. Release 2. M.: MGIU. 2002, pp. 386–392. (In Russian).
  5. Norenkov I.P., Zimin A.M. Informacionnye tehnologii v obrazovanii [Information technologies in education]. M.: MG TU im. N.Je. Baumana, 2004. 352 p. (In Russian).
  6. Belov V.V., Obratsov I.V. Virtualization of physical processes in the theory and practice of construction education. Materials V of the All-Russian conference of students, graduate students and young scientists «The Theory and practice of increase of efficiency building materials». Penza: PGUAS, 2010, pp. 186–189. (In Russian).
  7. Afanasyev, V.O. Research and development of a system for interactive monitoring induced virtual environment (virtual presence) / V.O. Afanasyev, A.G. Brovkin. *Kosmonavtika i raketostroenie*. 2001. No. 20, pp. 19–21. (In Russian).
  8. Kolganov D. A. Unreal physics. Testing of NVIDIA PhysX for SLI Multi-Card configurations. *Igromaniya*. 2010. No. 2, pp. 162–164. (In Russian).
  9. Zhang G., Torquato S. Precise algorithm to generate random sequential addition of hard hyperspheres at saturation. *Physical review*, E 88. 2013. pp. 053312–1–9.

# ГОРОД XXI ВЕКА

XVI Международная специализированная выставка

## 19-22 МАЯ/ 2015








**СТАНЬ ЧАСТЬЮ ГЛАВНОГО СОБЫТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ УДМУРТИИ!**



МИНИСТЕРСТВО  
СТРОИТЕЛЬСТВА  
РЕСПУБЛИКИ УДМУРТИИ



АДМИНИСТРАЦИЯ  
ГОРОДА ИЖЕВСКА



ОБЪЕДИНЕНИЕ  
СТРОИТЕЛЕЙ УДМУРТИИ



КАМЕРА  
ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ  
ПАЛАТА



ВЫСТАВочный ЦЕНТР  
КУЗНЕЦОВ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ЦЕНТР ВЫСТАВОК  
И КОНФЕРЕНЦИЙ  
В ИЖЕВСКЕ

Место проведения: г. Ижевск, ул. Кооперативная, 9

Забронировать стенд можно по тел. (3412) 730-730  
gorod@vcudm.ru | gorod.vcudm.ru | vk.com/gorodxxiveka

ВЫСТАВКА ПРОХОДИТ ПОД ПАТРОНАЖЕМ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ПАЛАТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# Открытие крупнейшего домостроительного комбината — новый шаг в развитии крупнопанельного домостроения в России

27 февраля 2015 г. в Московской области открыт домостроительный комбинат "Град" – крупнейший ДСК, построенный за последние 30 лет. Производительность комбината 525 тыс. м<sup>2</sup> в год, из которых 425 тыс. м<sup>2</sup> жилья и 75 тыс. м<sup>2</sup> объектов социальной инфраструктуры (детские сады, школы, культурные центры) в год. Общий объем инвестиций в проект составил 9 млрд р. В церемонии открытия приняли участие министр строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ М.А. Мень, губернатор Московской области А.Ю. Воробьев, председатель правления ООО «УК «РОСНАНО» А.Б. Чубайс и президент ГК «Мортон» А. В. Ручьев.



Предприятие, построенное в Наро-Фоминском районе Московской области, – совместный проект ГК «Мортон» и ОАО «РОСНАНО», направленный на внедрение в массовое строительство высокотехнологичных решений. Предприятие ориентировано на индустриальное строительство жилых домов и общественных зданий, проекты которых одобрены Минстроем РФ. Особенностью продукции ДСК являются технологические решения, внедренные портфельными компаниями ОАО «РОСНАНО»: применение стеклопакетов с энергосберегающим покрытием, использование гиперпластификаторов и композитных материалов. Основными зарубежными поставщиками оборудования стали ведущие мировые производители – Sommer, Weckenmann, Elematic, AWM, Teко.



Предприятие активно использует современные технологии на всех этапах производственного цикла, начиная от проектирования и заканчивая доставкой продукции. На базе самых современных IT-технологий осуществляется интеграция всего производственного процесса: проектирования, производства, хранения на складе, транспортировки до объекта, строительства.



На одной площадке возможно производство изделий для каркасного и крупнопанельного домостроения, производство цветного и фактурного бетона под любой архитектурно-планировочный проект одновременно. Подобные технологии необходимы, чтобы решить задачи в сфере жилищного строительства. В рамках программы «Жилье для российской семьи» предстоит построить 25 млн м<sup>2</sup> жилья экономкласса. Это должно быть качественное и энергоэффективное жилье. Для ДСК разработаны проекты домов «Град-1М» и «Град-2М».

Ассортимент продукции не привязан к конкретной серии здания, он может быть легко изменен по необходимости. Серии жилых домов, детских садов и поликлиник, которые разработаны для данного предприятия, по мнению М.А. Менья, достойны того, чтобы после прохождения Госэкспертизы быть включенными в формируемый Минстроем перечень типовых проектов.

The Largest and Major Ceramics Industry Exhibition  
in the World with Over 100,000m<sup>2</sup> Exhibiting Space



**CERAMICS CHINA 2015**

**DATE: June 1st - 4th, 2015**

**VENUE: Canton Fair Complex, Guangzhou**

Hosted by China Ceramic Industrial Association  
Organized by Unifair Exhibition Service Co., Ltd.



**UNIFAIR**  
EXHIBITION SERVICE

Tel: +86-20-8327 6369 / 8327 6389  
Email: [overseas@ceramicschina.com.cn](mailto:overseas@ceramicschina.com.cn)  
Web: [www.ceramicschina.com.cn](http://www.ceramicschina.com.cn)



Visit Official Website  
Scan This QR Code

# *Creating Solutions* для производства ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ БЛОКОВ



Производство: Wienerberger - Steglitzindustrie GmbH



Компания «Винербергер АГ» ввела в эксплуатацию первую в Австрии установку для заполнения керамических блоков минеральным волокном. Лидер мирового рынка будет производить новейшую из всего ассортимента керамических блоков продукцию – теплоизоляционный блок Porotherm на линии, установленной компанией «КЕЛЛЕР ХЦВ» в рекордные сроки – всего за 8 недель



Вы хотите получить более подробную информацию?

Посетите нас на **MosBuild**

14 - 17 апреля 2015 года, Москва, ЦВК «Экспоцентр»  
Технокерамика, павильон № 5, зал 1, стенд K105



**KELLER HCW GmbH**

Карл-Келлер-Штрассе 2-10 • 49479 г. Иббенбюрен-Лаггенбек  
Германия

**Morando S.r.l.**

Страда Рилате 22 • 14100 г. Асти • Италия

**ООО КЕЛЛЕР ВОСТОК**

Тимирязевская д.1, кор. 2, офис 2201  
127422 г. Москва • Россия

Телефон: +7 495 6462821 • Телефакс: +7 495 6462834  
Email: [info@keller-hcw.ru](mailto:info@keller-hcw.ru) • [www.keller-hcw.ru](http://www.keller-hcw.ru)

[facebook](https://www.facebook.com/keller.hcw) [www.facebook.com/keller.hcw](https://www.facebook.com/keller.hcw)

**KELLER** A DIVISION OF **GRUPE LEGRIS INDUSTRIES**