



ISSN 2587-9006

Воронежский государственный
технический университет

Химия, физика и механика
материалов

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выпуск № 1(20), 2019 г.

ISSN 2587-9006

*ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»*

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ
- ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ, УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ
ПРОИЗВОДСТВ
- ИННОВАЦИИ В СФЕРЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
- ИНФОРМАЦИЯ, ОБЪЯВЛЕНИЯ, РЕКЛАМА

№ 1 (20), 2019

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

Главный редактор – д-р хим. наук, проф. О.Б. Рудаков
Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. В.Т. Перцев
Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. В.А. Небольсин
Ответственный секретарь – канд. хим. наук, доц. О.Б. Кукина

Редакционная коллегия:

Д-р техн. наук, проф. Д.Е. Барабаш (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»); д-р техн. наук, проф. В.В. Белов (г. Тверь, ТвГТУ); д-р техн. наук, проф. М.С. Гаркави (г. Магнитогорск, МГТУ им. Г.И. Носова); д-р техн. наук, проф. С.С. Глазков (г. Воронеж, ВГТУ); д-р физ.-мат. наук, проф. П.А. Головинский (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, д-р хим. наук, проф. А.В. Калач (г. Воронеж, ВИ ФСИН); д-р техн. наук, проф. В.Я. Манохин (г. Воронеж, ВГТУ), д-р техн. наук, проф. Л.В. Моргун (г. Ростов-на-Дону, ДГТУ); д-р техн. наук, проф. Ю.В. Пухаренко (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ); д-р техн. наук, проф. Ш.М. Рахимбаев (г. Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова); д-р хим. наук, проф. Г.В. Славинская (г. Воронеж, ВГТУ); д-р хим. наук, д-р техн. наук, проф. И.С. Суровцев (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. О.В. Тараканов (г. Пенза, ПГУАС), д-р техн. наук, проф. А.А. Трещев (г. Тула, ТулГУ); д-р хим. наук, проф. Е.А. Тутов (г. Воронеж, ВГТУ); д-р физ.-мат. наук, проф. М.В. Шитикова (г. Воронеж, ВГТУ); д-р физ.-мат. наук, проф. О.В. Стогней (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. В.П. Ярцев (г. Тамбов, ТГГУ).

В издании публикуются результаты научных исследований и производственного опыта сотрудников ВГТУ и других образовательных, научных, научно-производственных организаций по проблемам химии и физики строительных и технических материалов; химической технологии и физико-химических методов диагностики, контроля качества и безопасности материалов, применяющихся в строительстве и технике; по техносферной безопасности.

Издание рекомендуется специалистам по промышленному и гражданскому строительству, материаловедом, технологам, инженерам, научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам и студентам архитектурно-строительных и технических учебных заведений.

Перепечатка материалов журнала допускается только с разрешения редакции

Дизайн обложки Н.И. Мироненко

АДРЕС РЕДАКЦИИ

394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 6419
тел.: (473) 2369350, (473) 2717617
E-mail: chemistry@vgasu.vrn.ru, lgkkn@rambler.ru

© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2019

УДК 691.332

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ГИПСОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В.Б. Петропавловская^{*1}, *А.Ф. Бурьянов*², *К.С. Петропавловский*³,
*Т.Б. Новиченкова*⁴

^{1,4}*Тверской государственный технический университет,
Российская Федерация, 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22*
^{2,3}*Московский государственный строительный университет,
Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26*

**Адрес для переписки: Петропавловская Виктория Борисовна,
E-mail: Victoria petrop@mail.ru*

Исследованы свойства гипсовых композитов, полученных на основе природного гипсового камня Новомосковского месторождения, расположенного в Тульской области. При формовании образцов использовались смеси гипсовых порошков с гранулометрическим составом, оптимизированным из условия получения максимальной прочности. Структура композита формируется в условиях сближения зерен гипса на расстояния близкодействующих сил за счет приложения внешнего давления. Его использование позволяет материалу обеспечить высокие эксплуатационные характеристики: прочность, плотность, водостойкость.

Ключевые слова: гипс, фазовые контакты, силы взаимодействия, структура гипсового камня, формование, твердение, свойства

HIGH STRENGTH GYPSUM MATERIALS

*V.B. Petropavlovskaya**¹, *A.F. Buryanov*², *K.S. Petropavlovskii*³,
*T.B. Novichenkova*⁴

^{1,4}*Tver State Technical University, Russian Federation,*

170026, Tver, Af. Nikitin 22

^{2,3}*Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Russian Federation,*

129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26

**Corresponding author: Victoria B. Petropavlovskaya, E-mail: victoria petrop@mail.ru*

The properties of gypsum composites obtained on the basis of the natural gypsum stone of the Novomoskovsk field located in the Tula region are investigated. When molding them, mixtures of gypsum powders with a particle size distribution optimized from the conditions for obtaining maximum strength were used. The structure of the composite is formed under the conditions of the convergence of gypsum grains over distances of short-range forces due to the application of external pressure. Its use allows to provide high performance characteristics of the material: strength, density, water resistance.

Keywords: gypsum, phase contacts, interaction forces, structure of a gypsum stone, molding, hardening, properties

Введение. Современные представления в области строительного материаловедения сводят обобщённо процесс структурообразования в системе двухводный гипс – вода к искусственному формированию в жидкой фазе необходимого уровня пересыщения, механическому сближению зерен исходного двухводного гипса и образованию между ними фазовых контактов, которые обеспечивают в дальнейшем – высокую прочность материала [1].

Исследователями [2, 3] предлагаются и иные подходы к теоретическому обоснованию структурообразования, основанные на регулировании толщины пленок раствора на поверхности гидрофильных частиц. При механическом поджиге, по мнению [3, 4, 5], происходит переход к преобла-

данию сил, способствующих притяжению частиц друг к другу и появлению у этих материалов прочностных свойств. Но при этом отмечается влияние на процесс формирования контактов и минерального состава, и гранулометрии компонентов системы.

Действительно, прочность дисперсных гипсовых структур зависит в первую очередь от числа контактов на единичной площади сечения. При этом число контактов зависит от размера зерен и способа их упаковки [4, 6, 7].

Основопологающим фактором, определяющим структурообразование систем на основе дигидрата, является и давление прессования. В случае контактно-конденсационного твердения систем на основе двухводного гипса величина используемого давления должна обеспечивать в первую очередь сближение частиц на расстояния, необходимые для образования фазовых контактов, с учетом сил трения непосредственно зерен гипса друг об друга и о стенки формующей машины (пресс-формы) [1]. Этим исследователи обосновывают применение более высокого давления прочности [8]. Известно изготовление гипсовых изделий путем прессования смеси полуводного гипса и воды под давлением 120 МПа. Приготовление формовочной массы и перемешивание ее с водой осуществлялось вибрацией. Прочность гипсового камня, полученного данным способом, составила 60-80 МПа. Однако предложенный способ достаточно сложен технологически [8]. Известен также способ получения изделий методом прессования полусухих смесей на основе гипсового вяжущего. Но получаемые этим способом изделия недолговечны и разрушаются вследствие возникновения внутренних напряжений. При использовании специальных форм и увеличении продолжительности выдержки изделий, при формовании возникающие напряжения не только не разрушают получаемую структуру, но и уплотняют ее [8].

Наиболее широко полусухое прессование применяется для изготовления изделий на основе двухводного гипса, как природного, так и техногенного. Величина прессующего давления оказывает существенное влияние

на прочность материалов, полученных из полусухих смесей на основе двухводного фосфогипса с добавкой полуводного гипса [8]. Введение добавки полугидрата сульфата кальция позволяет снизить давление прессования до 10...20 МПа, но усложняет технологи получения изделий.

Одним из эффективных направлений использования двухводного природного или техногенного гипса является получение прессованного материала на основе полусухой сырьевой смеси без структурообразующих добавок с использованием гиперпрессования.

Экспериментальная часть

Целью данной работы явилось исследование влияния давления прессования на основные физико-механические свойства безобжиговых гипсовых изделий.

Исследования проводились с использованием природного гипсового камня Новомосковского месторождения Тульской области. Согласно паспортным данным в составе природного гипсового камня 3 сорта присутствуют следующие оксиды и вода (масс., %): CaO – 30,84...32,69; SO₃ – 38...44,79; SiO₂ – 0,84...5,78; Al₂O₃ – 0,21...1,48; Fe₂O₃ – 0,16...0,45; MgO – 0,47...2,39, вода кристаллизационная – 17,7...19,8.

Для получения бинарной сырьевой смеси на основе порошков, соответствующих по тонкости помола гипсовым вяжущим грубого и тонкого помола, производили помол, и последующее перемешивание компонентов в сухом состоянии до получения однородной смеси.

Формование образцов из полусухой бинарной смеси порошков производилось на гидравлическом прессе. Давление варьировалось от 30 до 300 МПа. Прочность при сжатии образцов определялась после 7 суток твердения во влажных условиях. Образцы испытывались как в естественном состоянии, так и в сухом (высушенном до постоянной массы). Средняя плотность и водостойкость гипсовых композитов оценивались с использованием стандартных методик и средств измерений по ГОСТ 23789.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований зависимости предела прочности от величины внешнего давления приведены на рис. 1. Расхождение предела прочности композита в сухом и естественном состоянии в среднем составляет 40 %. При повышении прессующего давления от 30 до 200 МПа предел прочности композита увеличивается, достигая максимума – 58 МПа. Повышение предела прочности при сжатии обусловлено как ростом плотности материала за счет приложенного внешнего давления, так и увеличением числа контактов. При увеличении давления свыше 200 МПа наблюдается снижение прочности получаемого материала, поскольку после снятия нагрузки происходит упругое расширение материала с разрушением части конденсационно-кристаллизационных контактов. Отсюда следует, что оптимальным с точки зрения прочности является давление в диапазоне 150...200 МПа.

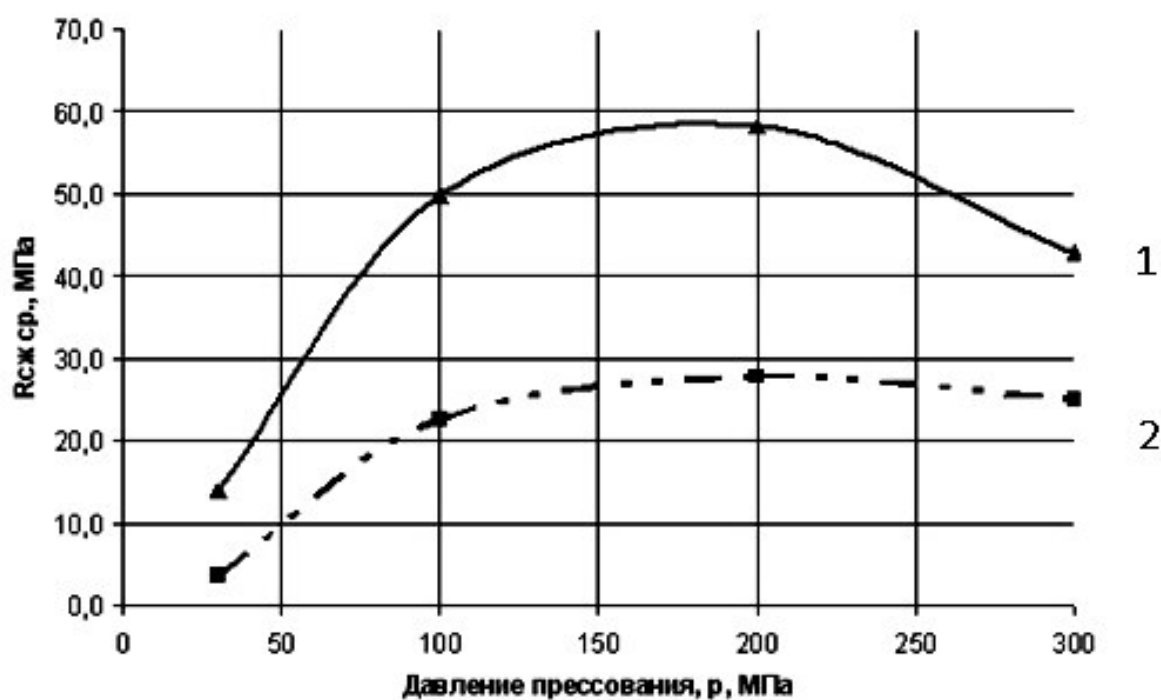


Рис. 1. Влияние давления прессования на прочность безобжигового материала, испытанного: 1 – в сухом состоянии, 2 – в естественном состоянии

Использование более высоких давлений неэффективно вследствие разуплотнения получаемых изделий. В табл. приведены физико-механические характеристики безобжигового материала, полученного при использовании оптимального (по критерию прочности) давления прессования – 200 МПа.

Основные эксплуатационные показатели композита на основе природного двуводного гипса

Показатели свойств изделий	Единицы измерений	Значения показателей свойств
Средняя плотность	кг/м ³	2200
Предел прочности при сжатии	МПа	58,16
Водостойкость		0,48

Применение гиперпрессования позволяет повысить плотность и водостойкость материала за счет более плотной упаковки частиц и снижения пористости получаемой структуры, что подтверждается микроскопическими исследованиями прессованного гипсового материала на основе природного двуводного гипса Новомосковского месторождения, представленными на рис. 2.

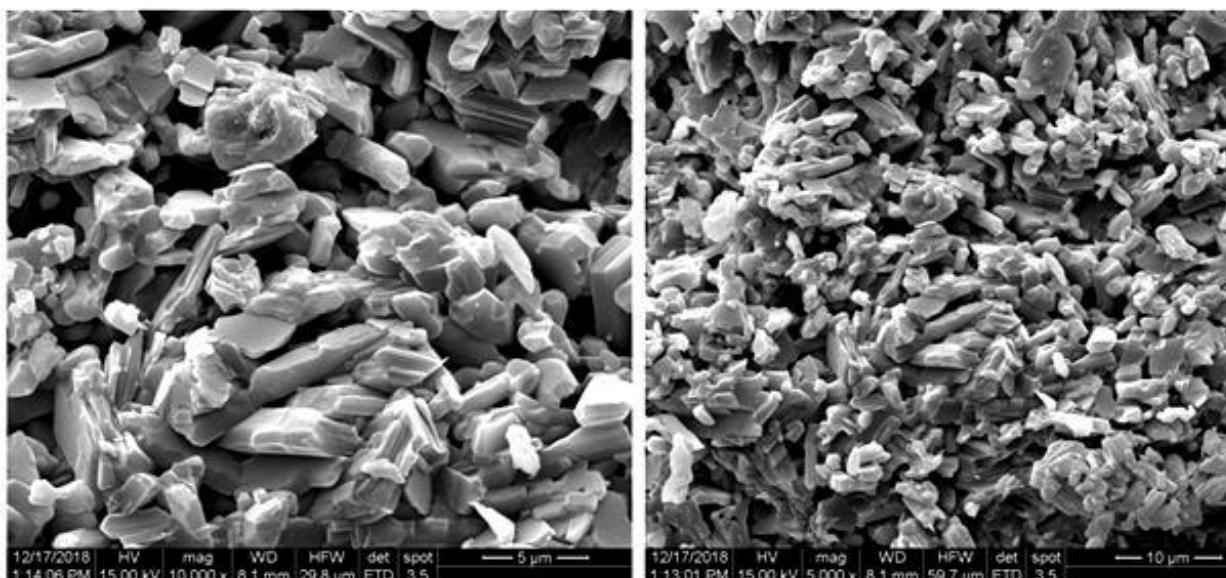


Рис. 2. Структура безобжигового прессованного камня

На представленных микрофотографиях структуры видно, что к более крупным гипсовым зернам смогли прирасти только такие зерна дигидрата, которые по своей ориентации, а главное – размерам соответствуют месту локализации между крупными кристаллами.

Анализ рентгенограммы исследуемого безобжигового композита, представленного на рис. 3, подтвердил превалирование в структуре кристаллов двухводного гипса, в присутствии ангидрита и отсутствии в твердеющей прессованной системе полуводного гипса. Представленные данные подтверждают формирование кристаллизационных контактов в системе дигидрата сульфата кальция в условиях гиперпрессования.

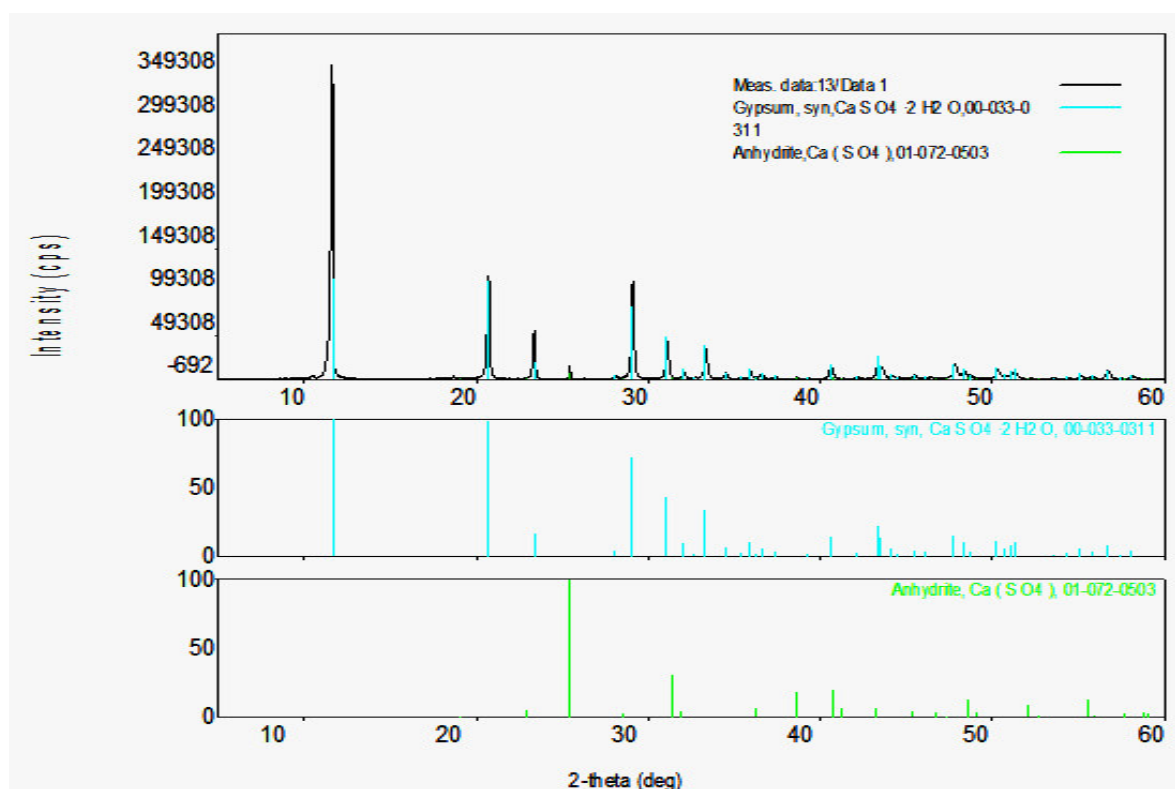


Рис. 3. Рентгенограмма гипсового прессованного материала

При повышении внешних нагрузок, согласно проведенным исследованиям, плотность материала повышается с 1195 до 2200 кг/м³ при одновременном увеличении показателей водостойкости (коэффициент размягчения растет от 0,28 до 0,58 при увеличении давления от 30 до 200 МПа). Таким образом, прессованный высокопрочный гипсовый материал, по сво-

им технологическим параметрам и эксплуатационным характеристикам соответствует мелкоштучным стеновым изделиям, превосходя многие из них по эффективности и экологичности.

Следовательно, метод полусухого гиперпрессования является наиболее эффективным способом синтеза высокопрочных гипсовых изделий. Прочность безобжиговых композитов на основе природного гипсового камня, как и в случае использования различных видов техногенного дигидрата, определяется расстоянием, на которое сближаются зерна дигидрата путем приложения прессующей нагрузки для обеспечения действия внутрискристаллических сил. Получение композитов контактно-конденсационного твердения на основе как природного, так и техногенного сырья по энергоберегающей технологии может исключать не только процесс обжига гипсового камня и синтеза полуводного гипса, но сушки готовых изделий, поскольку длительное протекание процесса структурообразования будет обеспечивать повышенную прочность и водостойкость изделий.

Заключение. Таким образом, использование гиперпрессования для синтеза композитов на основе дигидрата обеспечивает повышенные эксплуатационные характеристики безобжиговому камню. Уже при использовании величины прессующего давления порядка 30 МПа создаются условия для формирования фазовых контактов в структуре дигидрата. Использование более высоких значений давления прессования целесообразно лишь в обоснованных случаях, когда необходимо обеспечить материалу (или полупродукту) специфические характеристики.

Технология безобжиговых гипсовых изделий может быть реализована на большинстве современных заводах по производству мелкоштучных строительных материалов, имеющих соответствующее прессовое оборудование, что позволит повысить эффективность производства и одновременно расширить номенклатуру выпускаемых изделий.

Список литературы

1. Petropavlovskaya V., Novichenkova T., Pustovgar A., Buryanov A., Petropavlovskii K. Mechanism of gypsum hardening. Matec web of conferences. 2018.
2. Zolotukhin S., Kukina O., Abramenko A. Partitions for high-rise construction using phosphogypsum. E3S Web of Conferences. 2018.
3. Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Абраменко А.А., Гапеев А.А., Соловьева Е.А., Савенкова Е.А. Влияние толщины водных пленок на структуру композиционного строительного материала с использованием фосфогипса // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. Т. 13. № 4. С. 138-143.
4. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф. Закономерности влияния зернового состава на свойства сырьевых смесей прессованных гипсовых материалов // Строительные материалы. 2011. № 6. С. 4-5.
5. Кукина О.Б., Абраменко А.А., Волков В.В. Оптимизация составов безобжигового известково-песчаного фосфогипсового материала // Научный журнал строительства и архитектуры. 2018. № 3 (51). С. 48-55.
6. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Полеонова Ю.Ю., Петропавловский К.С. Ресурсосберегающие безобжиговые гипсовые композиты // Строительные материалы. 2015. № 6. С. 79-81.
7. Петропавловский К.С., Новиченкова Т.Б. К вопросу моделирования структуры высокопрочных композитов // Современные проблемы строительной науки. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. ЛГТУ: Липецк, 2017. С. 163-171.
8. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Новиченкова Т.Б. Малоэнергетические гипсовые строительные композиты. ТвГТУ: Тверь, 2014. 136 с.

References

1. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Pustovgar A., Bur'yanov A.F., Petropavlovskij K.S. Mechanism of gypsum hardening. Matec web of conferences. 2018. pp. 00026 doi: 10.1051/matecconf/201711700026.
2. Zolotukhin S.N., Kukina O.B., Abramenko A.A. Partitions for high-rise construction using phosphogypsum. E3S Web of Conferences. 2018. pp. 02043 doi: 10.1051/e3sconf/20183302043.
3. Zolotuhin S.N., Kukina O.B., Abramenko A.A., Gapeev A.A., Solov'eva E.A., Savenkova E.A. [Effect of water film thickness on the structure of a composite building material using phosphogypsum]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. [Bulletin of the Voronezh State Technical University], 2017, V. 13. No. 4. P. 138-143. (in Russian).
4. Petropavlovskaya V.B., Belov V.V., Novichenkova T.B., Bur'yanov A.F. [Patterns of influence of the grain composition on the properties of raw mixtures of pressed gypsum materials]. Stroitel'nye materialy [Construction Materials], 2011. No. 6, P. 4-5. (in Russian).
5. Kukina O.B., Abramenko A.A., Volkov V.V. [Optimization of the compositions of calcined calc-sand phosphogypsum material]. Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury [Scientific journal of construction and architecture], 2018. No. 3 (51), P. 48-55. (in Russian).
6. Petropavlovskaya V.B., Belov V.V., Novichenkova T.B., Bur'yanov A.F., Poleonova YU.YU., Petropavlovskij K.S. [Resource Saving Unburned Gypsum Composites]. Stroitel'nye materialy [Construction Materials], 2015. No. 6, P. 79-81. (in Russian).
7. Petropavlovskij K.S., Novichenkova T.B. [To the question of modeling the structure of high-strength composites]. Sovremennye problemy stroitel'noj nauki. Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Modern problems of construction science. Collection of scientific papers of the international scientific-practical conference]. LGTU: Lipetsk, 2017. P. 163-171. (in Russian).

8. Petropavlovskaya V.B., Belov V.V., Novichenkova T.B. Maloehner-goemkie gipsovye stroitel'nye kompozity [Low-energy gypsum building composites]. TSTU: Tver, 2014. 136 p. (in Russian).

Петропавловская Виктория Борисовна – канд. техн. наук, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций Тверского государственного технического университета

Бурьянов Александр Федорович – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии бетона и вяжущих веществ Московского государственного строительного университета

Петропавловский Кирилл Сергеевич – аспирант Московского государственного строительного университета

Новиченкова Татьяна Борисовна – канд. техн. наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций Тверского государственного технического университета

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДОСТОИНСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕНОБЕТОНОВ

В.В. Нагорский¹, Л.В. Моргун^{1}, А.Ю. Богатина²*

¹*Донской государственный технический университет,
Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1*

²*Ростовский государственный университет путей сообщения,
Российская Федерация, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Народного ополчения, 2*

**Адрес для переписки: Моргун Любовь Васильевна, E-mail: konst-lvm@yaandex.ru*

Потребности строительного комплекса РФ требуют развития технологий газонаполненных бетонов. Критический анализ эксплуатационных свойств газобетонов и фибропенобетонов показал, что последние лучше, но имеют ограничения по виду используемого оборудования. Из рассмотрения эксплуатационных характеристик пенобетоносмесителей следует, что пригодными для изготовления смесей, дисперсно армированных волокнами, являются только турбулентные. Мера эффективности их применения в стройиндустрии регулируется объемом смесительной колбы.

Ключевые слова: пенобетонные смеси, фибропенобетонные смеси, одностадийная технология, турбулентный смеситель

OPERATIONAL ADVANTAGES OF USE OF TURBULENT MIXERS IN TECHNOLOGY OF FOAM CONCRETES

V. V Nagorskiy¹, L. V. Morgun^{1}, A. Yu. Bogatina²*

¹ *Donskoy state technical university,*

Russian Federation, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1

² *Rostov state University of railway engineering*

Russian Federation, 344038, Rostov-on-Don, square of the National militia, 2

**Corresponding author: Morgun Lyubov Vasilyevna, E-mail: konst-lvm@yaandex.ru*

The needs of the construction complex of the Russian Federation require the development of technologies of gas-filled concrete. Critical analysis of the performance properties of aerated concrete and fibropenobetonov showed that the latter is better, but have limitations on the type of equipment used. From the consideration of the performance characteristics of foam concrete mixers it follows that suitable for the manufacture of mixtures of dispersion-reinforced fibers are only turbulentnye. The measure of the effectiveness of their use in the construction industry is regulated by the volume of the mixing flask.

Keywords: concrete mix, fibropenobetona mixture, one-step technology, a turbulent mixer

Введение. Развитие и стимулирование промышленного производства на основе использования наилучших доступных технологий, поддержка малого и среднего бизнеса, недопущение монополизации отдельных рынков и развитие внутриотраслевой конкуренции – вот важнейшие стратегические приоритеты развития промышленности в России [1]. Производство бетонных строительных материалов, как одного из востребованных видов стройиндустрии, в современных условиях стремительно совершенствуется [2, 3]. Существующие в РФ экономические условия определяют энергосберегающий подход к выбору стеновых строительных материалов для всех видов строительства [3].

Самыми привлекательными с этой точки зрения [4, 5] являются газонаполненные бетоны (газо- и пенобетоны). Технология газосиликата с середины XX века по настоящее время широко используется на всей территории планеты потому, что для этого материала имеется доступное сырье и

производится эффективное и надежное оборудование [6, 7]. Однако, климатические условия РФ в сочетании с жесткими требованиями к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций требуют от энергосберегающих материалов повышенной, по сравнению с автоклавными газосиликатами, прочности на растяжение и изгиб [8,9].

Полагаем, что на сегодняшний день таким материалом, который оптимально соответствует:

- современным теплотехническим требованиям;
- климатическим особенностям интенсивно развивающихся регионов России;
- решению проблем ресурсо- и энергосбережения, является фибропенобетон (ФПБ) безавтоклавного твердения [10].

Постановка задачи и анализ

Фибропенобетон, является частным случаем технологии пенобетона и отличается от последнего наличием волокнистой дисперсной арматуры в структуре межпоровых перегородок. Наличие фибры в рецептуре пенобетонных смесей при качественном их изготовлении, позволяет успешно решать, как ряд технологических проблем (седиментационная и агрегативная устойчивость смесей), так и эксплуатационных свойств:

- повышенная прочность на растяжение и изгиб [9];
- пониженная теплопроводность [11];
- регулируемые параметры паро- и газопроницаемости [7];
- пониженная сорбционная влажность [10];
- повышенная морозостойкость [12].

Дисперсное армирование пенобетонных смесей волокнами в разы повышает прочностные характеристики пенобетона и позволяет получать качественные изделия на его основе, которые достойно конкурируют с автоклавным газобетоном [9-12]. Но это также приводит ко многим трудностям

в его производстве, в особенности к невозможности использования традиционной двух стадийной технологической схемы производства с применением пеногенераторов. В таких смесителях фибра при перемешивании сырья налипает на рабочие органы смесителя (комкуется) и получить материал с равномерным распределением компонентов сырья в его структуре, становится невозможным.

Поэтому с конца XX века для производства дисперсно армированных бетонных смесей применяют турбулентные смесители [13]. В данной работе проведена сравнительная оценка представленных на рынке конструкций бетоносмесителей по параметрам их энергоемкости.

Энергоемкость – это объем трат энергии или топлива на выполняемые процессы производства. Энергетический запас системы вычисляется как показатель соотношения используемой энергии к величине, выражающей итог работы системы [14]. Энергоемкость – это показатель, который устанавливает уровень и плодотворность применения ресурсов (электроэнергии или топлива) в производстве. Данная величина не зависит от конкретного вида производимых изделий.

Результаты и обсуждение

Представленные бетоносмесители:

- ООО «СтройМеханика», г. Тула, Скоростной универсальный смеситель ВЕКТОР 1000 с пневмозащитой активаторного вала. Объем получаемого бетона – 1000 л, энергопотребление – 15 кВт, производительность – 10 куб. м/ч;

- ООО «Экостройматериалы», г. Белгород, Пенобетоносмеситель СПБУ-1000-М Люкс-Экспорт. Объем получаемого бетона – 1000 л, энергопотребление – 15 кВт, производительность – 7 куб. м/ч;

- ООО «СтройМеханика», г. Тула, Смеситель турбулентного типа НАВИГАТОР V3 с пневмозащитой активаторного вала. Объем получаемого

го бетона – 750 л, энергопотребление – 11 кВт, производительность – 6 куб. м/ч;

- ООО «СтройМеханика», г. Тула, Скоростной универсальный смеситель ВЕКТОР 500 с пневмозащитой активаторного вала. Объем получаемого бетона – 500л, энергопотребление – 11 кВт, производительность – 4 куб. м/ч;

- ООО «БАЗА СМ», г. Батайск, Ростовская обл., Смеситель турбулентного типа ФПБ-1500 с пневмозащитой активаторного вала. Объем получаемого бетона – 1500 л, энергопотребление – 30 кВт, производительность – 11,25 куб.м/ч;

- ООО «САРМАТ-ТОРНАДО», г. Батайск, Ростовская обл. Торнадо ФПБ-500М – мобильная установка, оборудованная автоматическим дозатором воды и скиповым загрузочным устройством для сыпучих материалов. Объем получаемого бетона – 500 л, энергопотребление – 22 кВт, производительность – 7,2 куб. м/ч;

- Предприятие «МЕТЕМ», г. Пермь, Пенобетоносмеситель МЕТЕМ-1000 + пеногенератор ПГ-АВ-02, горизонтального расположения. Объем получаемого бетона – 1000 л, энергопотребление – 5,5 кВт, производительность – 7 куб. м/ч;

- ООО «ПП «Робус», г. Пермь, Смеситель для газобетона «750GB». Объем получаемого бетона – 750 л, энергопотребление – 7,5 кВт, производительность – 6 куб. м/ч.

Данные о технических характеристиках бетоносмесителей взяты из официальных источников, представленных предприятиями. Анализ параметров мощности и производительности показал, что на основании паспортных данных судить об эффективности изготовления бетона довольно трудно (табл.).

Расчетное время цикла (табл.) меньше 8 минут позволяет заключить, что представленные данные недостаточно достоверны. Основанием для такого утверждения служат результаты контроля, проведенного авто-

рами на различных предприятиях стройиндустрии, из которых следует, что осуществить загрузку сырья в работающий смеситель быстрее, чем за 1 минуту не представляется возможным. Процесс газодовлечения по данным [15] не может быть менее 6 минут, так как формирование агрегативно и седиментационно-устойчивой ячеистой структуры пенобетонных смесей имеет 2 этапа. И если завершить перемешивание на первом этапе, то сохранение значительной части вовлеченной дисперсной газовой фазы невозможно. Пенобетон, схватывание цемента в котором осуществлялось в условиях коалесценции пенных пленок, будет неоднородным по объему и обладать низкой прочностью.

Важнейшие эксплуатационные характеристики пенобетоносмесителей

Марка модели бетоносмесителя	V	Э	П	N	T _ц
ФПБ-1500, База СМ, Батайск	1,5	30	11,25	7,5	8,00
Вектор - 1000, Строймеханика	1	15	10	10	6,00
СПБУ-1000М, Экостройматериалы	1	15	7	7	8,57
Навигатор V3, Строймеханика	0,75	11	6	8	7,50
Вектор - 500, Строймеханика	0,5	11	4	8	7,50
ФПБ - 500М, Сармат-Торнадо	0,5	22	7,2	14,4	4,17
Robus 750GB	0,75	7,5	6	8	7,50
МЕТЕМ-1000, Метем	1	5,5	7	7	8,57

Примечания:

- V – емкость бетоносмесителя, м³;
- Э – энергопотребление, кВт;
- П – производительность, м³/час;
- N – число замесов за 1 час работы смесителя;
- T_ц – расчетное время (минуты) продолжительности цикла (дозирование сырья, гомогенизация и выгрузка в формы).

Следовательно, при применении таких смесителей достичь заявленной производительности на практике невозможно. Но обвинять производителей оборудования в некорректности не следует. Они, как правило, не обладают достаточным объемом знаний в технологии пенобетонов и об объеме получаемых в смесителях материалов судят по первому этапу воздухововлечения.

При получении пенобетона в турбулентном смесителе воздухововле-

чение происходит в процессе перемешивания в турбулентном потоке. Скорость потока цементно-песчаной суспензии настолько велика, что захваченный в процессе её вращения воздух связывается с молекулами воды и растворенными в ней молекулами ПАВ. Это приводит к пенообразованию и созданию ячеистой структуры пенобетона. Соответственно работа по созданию турбулентного потока и связывание воздуха и воды в пену требует дополнительной энергии, поэтому мощность электродвигателей турбулентных смесителей существенно выше, чем у гравитационных с пеногенератором. При введении синтетического волокна в процессе турбулентного смешивания электростатические силы меньше сдвиговых сил потока при турбулентном смешивании, поэтому дисперсная арматура, хоть и склонна к комкованию, более равномерно распределяется в объеме пеносмеси.

Учитывая вышеизложенное, важным фактором эффективности следует признать трудоемкость изготовления единицы объема бетона (рис.). На графике представлены результаты расчета в человеко-сменах относительно 1000 м^3 . Из представленных данных следует, что одним из важнейших параметров эффективности применения бетоносмесителей в технологии пенобетонов является объем замеса.

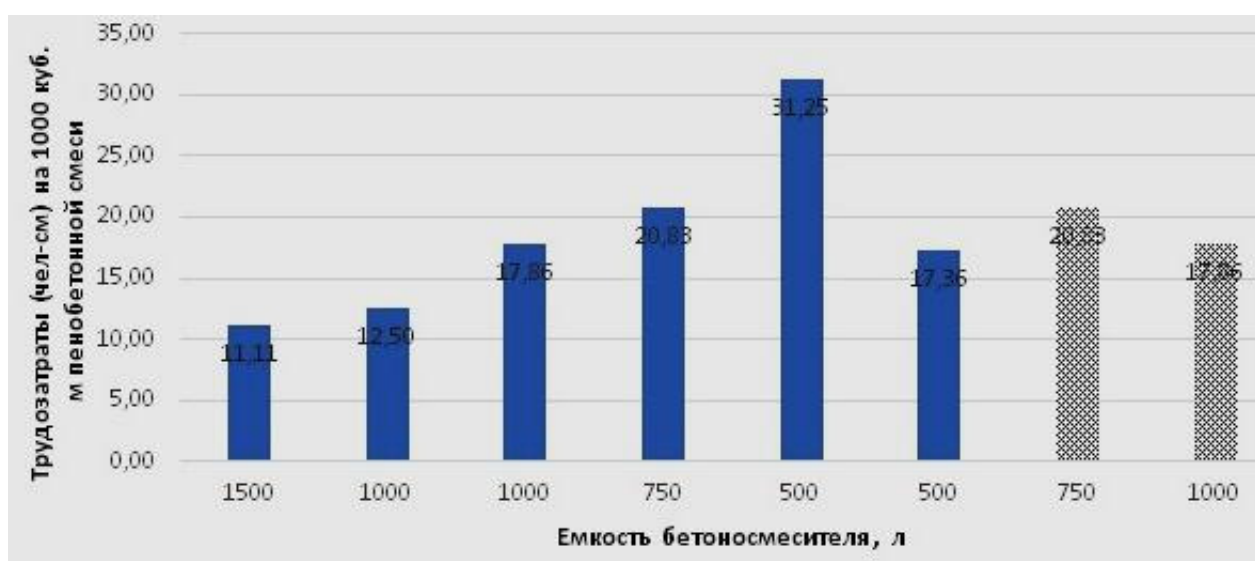


График эффективности трудоемкости изготовления единицы объема бетона

Заключение. Анализ технологических особенностей изготовления пенобетонных смесей показал, что универсальными возможностями изготовления пено- и фибропенобетонных смесей обладают турбулентные. Причем, чем больше объем смесительной колбы, тем ниже трудоемкость изготовления бетона.

Список литературы

1. Медведев Д.А. Правительство Российской Федерации. Отраслевые документы стратегического планирования. Распоряжение от 10 мая 2016 года №868-р. В соответствии с Федеральным законом от 28 июня 2014 года №172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации».

2. Корниенко С.В. Проблемы теплозащиты стен зданий // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая, 2013. Вып. 1 (25).URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Kornienko, 2013, 1\(25\), 1. pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Kornienko,2013,1(25),1.pdf)

3. Степанова В.Ф. Долговечность бетона: Учебное пособие для вузов. М., 2014. 126 с.

4. Кувшинов Ю.Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий. М.: АСВ, 2010. 320 с.

5. Чернышев Е.М., Федин А.А., Потамошнева Н.Д., Кухтин Ю.А. Газосиликат: современная гибкая технология материала и изделий // Строительные материалы, №4, 2007. С. 4-9.

6. Мартыненко В.А., Ястребцов В.В. Тенденции развития формовочно-резательного оборудования для производства мелкоштучных ячеистобетонных изделий // Строительные материалы, 2004, №3. С. 18-20.

7. Моргун В.Н. Размышления об эффективности стеновых материалов. Ростова-на-Дону // Инженерный Вестник Дона (электронный научный журнал), 2008, №4. Режимдоступа: [http://www.ivdon.ru /magazine/ archive/ n4y2008/703](http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2008/703).

8. Pellenq R. J.- M., Kushima A., Shahsavari R., van Vliet, K.L., Buehler M.J., Yip S., Ulm F.-J. A realistic molecular model of cement hydrates // Nat.

Acad. of Science. Proceedings, Wash., 2009, v. 106, 38, pp. 16102-16107.

9. Кадомцева Е.В., Моргун Л.В., Богатина А.Ю. О поведении фибропенобетона при изгибе армированных балок// Бетон и железобетон – взгляд в будущее. Труды III Всероссийской (II Международной) конф. по бетону и железобетону: в 7 томах. 2014. С. 151-157.

10. Пахтусов Д.Б., Огородников И.А., Бородулин В.Ю. Диспергированный фибропенобетон оптимальный материал для малоэтажного строительства// тр. НПК «Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий», институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 2013. С.83-87.

11. Вотрин Д.А. Сравнительный анализ фибропенобетона с теплоизоляционными ячеистыми бетонами. Action160-14230.pdf interactive-plus.ru

12. Пухаренко Ю.В., Аубакирова И. Полидисперсное армирование строительных композитов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2011. № 2 (145). С. 2-3.

13. Щеглова О.Ю. Влияние формы дисперсных частиц сырьевых компонентов бетонных смесей на требования к активатору бетоносмесителя// Известия РГСУ, Ростов-на-Дону, 2014, №18. С.42-46.

14. ГОСТ Р 51387-99 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения.

15. Костыленко К.И., Моргун Л.В., Моргун В.Н. Эволюция структуры дисперсной газовой фазы при изготовлении пенобетонной смеси // Строительные материалы, 2014, №6. С.15-17.

Reference

1. Medvedev D. A. Government Of The Russian Federation. Sectoral strategic planning documents. The order of may 10, 2016 No. 868-p. In accordance with the Federal law of June 28, 2014 №172-FZ «On strategic planning in the Russian Federation».

2. Kornienko S.V. the problems of thermal insulation of building walls//Internet-Vestnik VolgGASU. Ser.: Polythematic, 2013. Issue. 1 (25).URL:

[http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Kornienko, 2013, 1\(25\), 1. pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Kornienko,2013,1(25),1.pdf)

3. Stepanova, V.F., Durability of concrete: a textbook for universities, M., 2014, 126 p

4. Kuvshinov Y.Y. Energy Saving in the system of microclimate of buildings. M.: ASV, 2010. 320 p.

5. Chernyshev E.M., Fedin, A.A., Potamoshneva N.D., Kukhtin Y.A. Silicate: this modern, flexible technology materials and products // Construction and building materials, No. 4, 2007. P. 4-9.

6. Martynenko V.A., Yastrebtsev V.V. Trends in the development of molding and cutting equipment for the production of small-piece cellular concrete products // Building materials, 2004, №3. P. 18-20.

7. Morgun V.N. Reflections on the effectiveness of wall materials. Rostov-on-don // Engineering Bulletin of the don (electronic scientific journal), 2008, №4. Reimposta: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2008/703>. Yaz. Rusyi.

8. Pellenq R. J.-M., Kushima A., Shahsavari R., van Vliet, K. L., Buehler M. J., Yip S., Ulm F.-J. a realistic molecular model of cement hydrates.//Nat / Acad. of Science. Proceedings, Wash., 2009, V. 106, 38, P. 16102-16107.

9. Kadomtseva, E.V., Morgun L.V., Bogatina A.Y. On the behavior of reinforced foam concrete Flexural beams reinforced // Concrete and reinforced concrete – glance at future. Proceedings of the III all-Russian (II International) conference. On concrete and reinforced concrete: in 7 volumes. 2014. P. 151-157.

10. Pakhtusov D.B., Ogorodnikov I.A., Borodulin V.Yu. Dispersed fiber foam concrete is the optimal material for low-rise construction // proc. NPK «Energy and resource efficiency of low-rise residential buildings», Institute of Thermophysics. S.S. Kutateladze SB RAS, 2013. P. 83-87.

11. Votrin D.A. Comparative analysis of fibropen concrete with heat-insulating cellular concrete. Action160-14230. pdf interactive-plus.ru.

12. Pukharenko Yu.V., Aubakirova I.U. Polydisperse reinforcement of building composites // Construction materials, equipment, technologies of the

XXI century. 2011. № 2 (145). P. 2-3.

13. Influence of the form of dispersed particles of raw components of concrete mixtures on the requirements for the activator of the concrete mixer // Izvestiya RGSU, Rostov-on-don, 2014, №18. P. 42-46.

14. GOST R 51387-99 energy Saving. Regulatory and methodological support. Fundamentals.

15. Kostylenko K.I., Morgun L.V., Morgun V.N. Evolution of the structure of the dispersed gas phase in the manufacture of foam concrete mixture // Building materials, 2014, №6. P. 15-17.

Нагорский Виктор Владимирович – аспирант кафедры строительных материалов
Донского государственного технического университета

Моргун Любовь Васильевна – д-р техн. наук, профессор кафедры строительных материалов
Донского государственного строительного университета

Богатина Алла Юрьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры изыскания, проектирования
и строительства железных дорог Ростовского государственного университета путей
сообщения

УДК 666.972.162

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК-ЭЛЕКТРОЛИТОВ
НА ПЛАСТИЧНОСТЬ И СТРУКТУРНУЮ ПРОЧНОСТЬ
ЦЕМЕНТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D ПЕЧАТИ**

Г.С. Славчева, О.В. Артамонова, М.А. Шведова, А.А. Полосина*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Шведова Мария Александровна, E-mail: marishwedowa@mail.ru*

В работе изучено влияние добавок-электролитов на реологические свойства цементных смесей для строительной 3D печати. Для оценки вязко-пластических свойств исследуемых смесей экспериментально определены пределы ползучести и текучести, критерий эластичности, а для оценки устойчивости цементных смесей к действию нагрузки – структурная прочность и пластические деформации. Установлено, что добавки-электролиты – пирофосфат калия и натриевое жидкое стекло – способствуют повышению пластичности цементных систем, но снижают их устойчивость к действию нагрузки. При этом пирофосфат калия является наиболее эффективным модификатором цементных смесей для строительной 3D печати, поскольку способен придавать им пластичность без снижения структурной прочности. Использование жидкого стекла в составе таких смесей представляется нецелесообразным из-за его неоднозначного влияния на их структурную прочность.

Ключевые слова: строительные смеси для 3D печати, добавки-электролиты, реологические характеристики, пластическая прочность, предел текучести

INVESTIGATION OF INFLUENCE OF CHEMICAL ADDITIVES DIFFERENT NATURE ON RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MIXTURES FOR BUILDING 3D PRINTING

G.S. Slavcheva, O.V. Artamonova, M.A. Shvedova, A.A. Polosina*

*Voronezh State Technical University, Russian Federation,
394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktabria, 84*

**Corresponding author: Mariia A. Shvedova, e-mail: marishwedowa@mail.ru*

The article considered information about influence of additives-electrolytes on the rheological properties of cement mixtures for building 3D printing. To estimate the viscoplastic properties of investigated mixtures experimentally determined creep and fluidity limits, the criterion of elasticity, and to assess the resistance of cement mixtures to load – structural strength and plastic deformation. It is established that additives-electrolytes – potassium pyrophosphate and liquid glass – contribute to increase the plasticity of cement systems, but reduce their resistance to load. Herewith, potassium pyrophosphate is the most effective modifier of cement mixes for building 3D printing, so far as it is capable of imparting plasticity to a mixture without reducing its structural strength. The use of liquid glass in the composition of that mixtures seems to be inexpedient due to its uncertain influence on the structural strength of the mixtures.

Keywords: building mixtures for 3D printing, additives-electrolytes, rheological characteristics, plastic strength, yield strength

Введение. В настоящее время аддитивные 3D технологии получили широкое распространение в различных отраслях промышленности, в том числе и в строительной. Большой интерес к 3D технологиям в строительстве обусловлен возможностью создания элементов и конструкций различной геометрии, что открывает новые эстетические и функциональные возможности [1, 2].

На данный момент аддитивные строительные технологии развиваются в трех основных направлениях [1]:

1. *Slipforming* – формование, которое происходит в момент схватывания бетона, что позволяет динамически создавать структуру конструкции по заданной траектории без опалубки;
2. *D-shape* – последовательное нанесение слоев наполнителя и связующего, их отверждение для создания объекта в соответствии с его 3D моделью;
3. *3D-печать* – изготовление формовочной смеси с требуемыми реологическими характеристиками и ее послойное нанесение для создания объекта в соответствии с его 3D моделью.

Стоит отметить, что наибольшей популярностью среди перечисленных направлений пользуется 3D печать, в процессе которой необходимо получить объект определенной формы, без дефектов, обладающий высокими показателями прочности. Получение такого изделия связано не только с процессом печати, но и со свойствами смеси. В связи с этим, важной является проблема подбора составов смесей, а также изучение их свойств и поведения во время и после процесса печати.

Анализ процесса 3D печати [3] позволяет структурировать проблему создания адаптированных к данному процессу смесей для строительных композитов на следующие составляющие:

- проблема регулирования вязко-пластических свойств смеси для обеспечения ее подачи к соплу принтера и экструзии (экструдирруемость);
- проблема регулирования пластической прочности смеси для обеспечения ее послойной укладки без деформирования (формоустойчивость);
- проблема регулирования кинетики структурообразования и твердения композита для синхронизации скорости набора прочности со скоростью печати здания;
- проблема оптимизации составов смесей по характеристикам

вязкости, пластичности, скорости твердения и прочности для композитов различного функционального назначения и области применения в строительстве.

Для понимания и регулирования поведения смеси на каждом из этапов процесса с целью повышения качества 3D печати, и как следствие, повышения качества получаемого изделия, важно располагать информацией о реологических характеристиках системы.

В исследованиях N. Roussel'a и A. Perrot'a [4-6] установлено, а в наших исследованиях верифицировано [7], что эффективным методом оценки экструдиремости и формоустойчивости являются испытания на сдавливание вязко-пластичных образцов, позволяющих моделировать поведение системы в процессе экструзии и при печати строительных объектов. При этом нами обосновано, что экструдиремость смесей определяется такими их структурно-механическими характеристиками, как оценки пределов ползучести $K_i(I)$ и текучести $K_i(II)$, критерий эластичности λ . К количественным критериям формоустойчивости отнесены: величина структурной прочности σ_0 , характеризующая способность системы сопротивляться деформированию, величины пластической прочности $\sigma_{пл}$ и пластических деформаций $\Delta_{пл}$, отражающие способность системы пластически деформироваться без разрушения.

Одним из эффективных способов управления реологическими характеристиками строительных растворов для 3D печати является введение в исходную сырьевую смесь добавок, которые позволяют изменять свойства дисперсионной среды в гетерогенной дисперсной системе «цемент + вода», тем самым влияя на ее вязко-пластические свойства и агрегативную устойчивость [8, 9].

Таким образом, целью нашей работы являлось исследование влияния добавок-электролитов на реологическое поведение цементной смеси для 3D печати.

Экспериментальная часть

Для создания цементной смеси для 3D печати использовали портландцемент СЕМ I 42.5 (ГОСТ 30515-2016), техническую воду – В, суперпластификатор – СП (на основе поликарбоксилатных эфиров), добавки-электролиты пиррофосфат калия – ПФК ($K_4P_2O_7$, «тех.», ТУ 6-09-3539-74) и натриевое жидкое стекло – ЖС (Na_2SiO_3 , «тех.», ГОСТ 13078-81).

Для исследований были выбраны системы, состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика факторного пространства исследований

№ системы	Обозначение системы	Исходные компоненты системы	Варьируемые рецептурно-технологические факторы		
			$\omega_{СП}$, %	$\omega_{МВ}$, %	В/Ц
1	Ц – В	Цемент, H_2O	-	-	0,28
					0,27
					0,26
					0,25
					0,24
2	Ц – В – СП	Цемент, H_2O , СП	0,2	-	0,26
					0,25
					0,24
					0,23
					0,22
3	Ц – В – СП – ПФК	Цемент, H_2O , СП, $K_4P_2O_7$	0,2	0,2	0,26
					0,25
					0,24
					0,23
					0,22
4	Ц – В – СП – ЖС	Цемент, H_2O , СП, Na_2SiO_3	0,2	0,2	0,25
					0,24
					0,23
					0,22

При реализации эксперимента использовались свежееотформованные цилиндрические образцы цементного теста размером $R = h_0 = 25$ мм. Изготавливалось 5 образцов, для которых сначала производилась визуальная оценка их способности сохранять форму при укладке друг на друга. Затем

для проведения сдавливающих тестов каждый отдельный образец помещался между двумя гладкими пластинами, диаметр которых соответствовал размеру образца (рис. 1), испытания проводились с использованием системы INSTRON 5982.

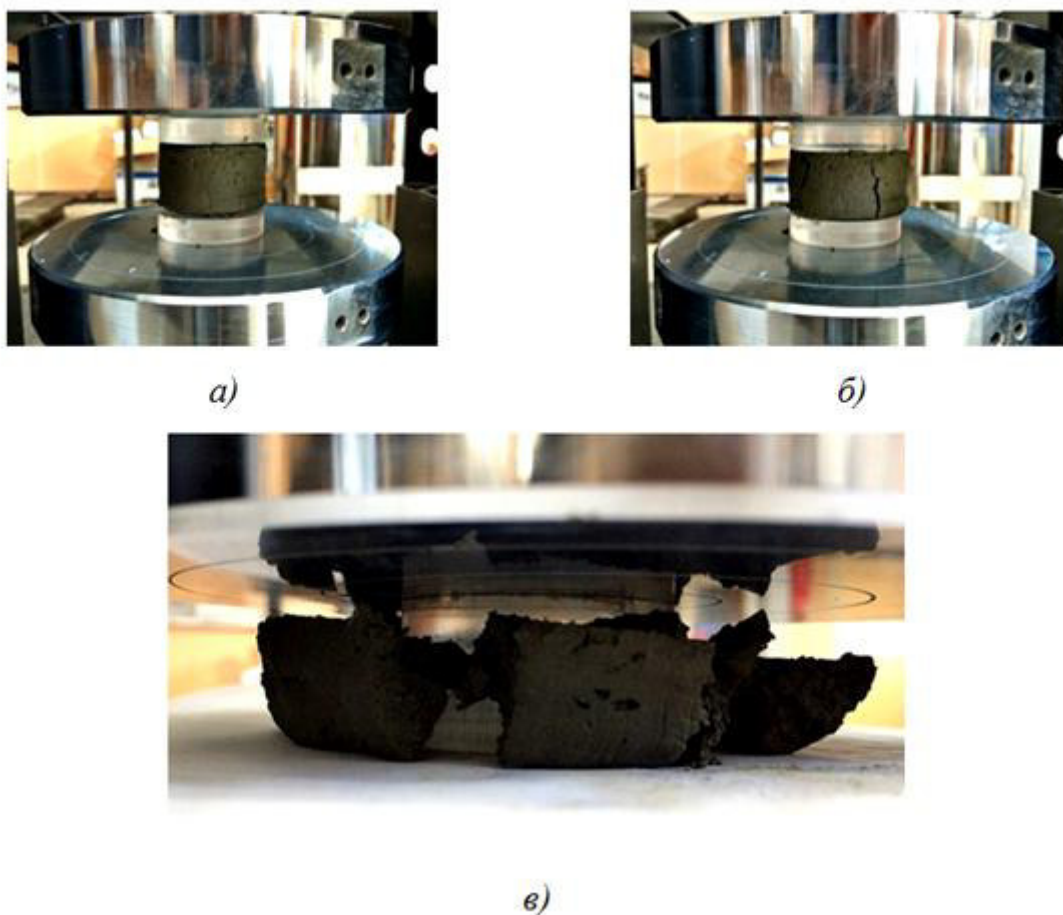


Рис. 1. Этапы проведения сдавливающего теста
а) начало испытания; б) начало сдавливания; в) полное разрушение

Сдавливательный тест согласно методике N. Roussel'a производился для свежееотформованных образцов всех серий с постоянной скоростью деформирования 5 мм/с, так как при данной скорости проведения испытаний наиболее адекватно моделируется поведение системы в процессе экструзии [4-6]. Полученные в процессе испытаний кривые «нагрузка P – перемещение Δ » интерпретировались в виде кривых зависимости приведенной нагрузки F^* от относительного изменения высоты образца h/R (соотношение 1):

$$F_i^* = \frac{Ph_i}{\pi R^2}. \quad (1)$$

Для точек перегиба на данной кривой рассчитывалась величина K_i согласно соотношению (2):

$$K_i \left(\frac{h}{R} \right) = \frac{\sqrt{3}}{2} F^*. \quad (2)$$

В качестве комплексного параметра оценки свойств исследованных систем применяли критерий эластичности λ (соотношение 3) гетерогенной дисперсной системы, впервые предложенный Н.Н. Круглицким [10]

$$\lambda = \frac{E_1}{E_1 + E_2}, \quad (3)$$

характеризующий соотношение модулей упругости E_1 и E_2 , соответствующих проявлению деформаций на различных стадиях вязкопластического течения дисперсной системы. Расчет их величин произведен согласно соотношениям 4 и 5 соответственно:

$$E_1 = \frac{K_i(I) \cdot h_0}{\varepsilon_0}, \quad (4)$$

$$E_2 = \frac{K_i(II) \cdot h_0}{\varepsilon_2}, \quad (5)$$

где h_0 – толщина деформируемого слоя, соответствующая начальной высоте образца, ε_0 – быстрая эластическая деформация в первой точке перегиба кривой $F^* = f(h/R)$, ε_2 – медленная пластическая деформация при достижении второй точки перегиба кривой $F^* = f(h/R)$.

Для серий образцов, которые визуально сохраняли форму, проводились испытания при постоянной скорости нагружения 0,5 Н/с, что соответ-

ствуется средней скорости возрастания нагрузки при печати строительных объектов промышленно производимыми принтерами. Испытания проводились через 10, 30 и 60 минут после формования образцов. Эксперимент проводился до разрушения образцов, в процессе испытания фиксировались кривые «перемещение Δ – время t ». Значение структурной прочности исследуемых систем рассчитывали по формуле (6):

$$\sigma = \frac{P}{\pi R^2}. \quad (6)$$

В точках, соответствующих началу деформирования, рассчитывали структурную прочность, соответствующих началу трещинообразования, а также пластическую прочность и пластические деформации вязкопластичных образцов.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных результатов показал, что для всех исследуемых систем значения предела ползучести $K_i(I)$ увеличиваются с уменьшением В/Ц-отношения, т. к. это связано с увеличением концентрации дисперсной фазы в системе (табл. 2, рис. 2, 3). Стоит отметить, что полученные системы являются пластичными и не теряют устойчивость при значениях $\lambda = 0,5-0,6$, это согласуется с данными, полученными Н.Н. Круглицким.

Установлено, что при $\lambda < 0,5$ системы теряют устойчивость и практически сразу после приложения нагрузки начинается их течение, а при $\lambda > 0,6$ системы являются устойчивыми, но их пластичность снижается. Такие системы можно охарактеризовать как жесткие, что может затруднить их экструзию.

Так, для системы «Ц – В» значения $K_i(I)$ составляют 0,24-3,98 кПа, при этом для устойчивых систем значения $\lambda = 0,51-0,59$.

Таблица 2

Изменение структурно-механических характеристик цементных систем

№ системы	В/Ц	Характеристики пластичности			Характеристики устойчивости		
		$K_i(I)$, кПа	$K_i(II)$, кПа	λ	σ_0 , кПа	$\sigma_{пл}$, кПа	$\Delta_{пл}$, мм
1	0,28	0,24	Система теряет упруго-вязкопластические свойства и устойчивость, приобретает текучесть в начальный момент нагружения при $F^* < 0.3$ кПа		-	-	-
	0,27	0,26			0,22	57,41	5,05
	0,26	2,06	4,39	0,51	-	-	-
	0,25	3,38	5,96	0,55	0,28	36,84	3,32
	0,24	3,98	7,49	0,59	0,87	45,22	1,85
2	0,26	0,24	Система теряет упруго-вязкопластические свойства и устойчивость, приобретает текучесть в начальный момент нагружения при $F^* < 0,3$ кПа		0,49	46,34	2,98
	0,25	0,43			-	-	-
	0,24	1,06	2,79	0,49	1,10	45,01	1,50
	0,23	2,08	3,22	0,59	2,86	38,84	0,93
	0,22	4,07	4,23	0,78	-	-	-
3	0,26	0,56	0,77	0,68			
	0,25	0,72	1,38	0,62			
	0,24	0,82	1,60	0,55	0,29	53,66	4,60
	0,23	0,95	3,69	0,50	1,59	45,50	3,05
	0,22	1,78	5,79	0,52	-	-	-
4	0,25	0,45	Система теряет упруго-вязкопластические свойства и устойчивость, приобретает текучесть в начальный момент нагружения при $F^* < 0,3$ кПа		-	-	-
	0,24	0,61	0,88	0,63	0,45	46,80	3,38
	0,23	1,33	2,24	0,60	0,48	52,52	5,42
	0,22	1,44	3,36	0,55	-	-	-

В системе «Ц – В – СП» значения $K_i(I)$ изменяются в диапазоне 0,24-4,07 кПа, при этом устойчивыми являются системы со значениями $\lambda = 0,49-0,78$. Данная система является более пластичной и переходит в состояние текучести при более низких значениях В/Ц, так $K_i(I) = 0,24$ кПа достигается при В/Ц = 0,26, в то время как в системе «Ц – В» такое же значение $K_i(I)$ достигается при В/Ц = 0,28 (рис. 3).

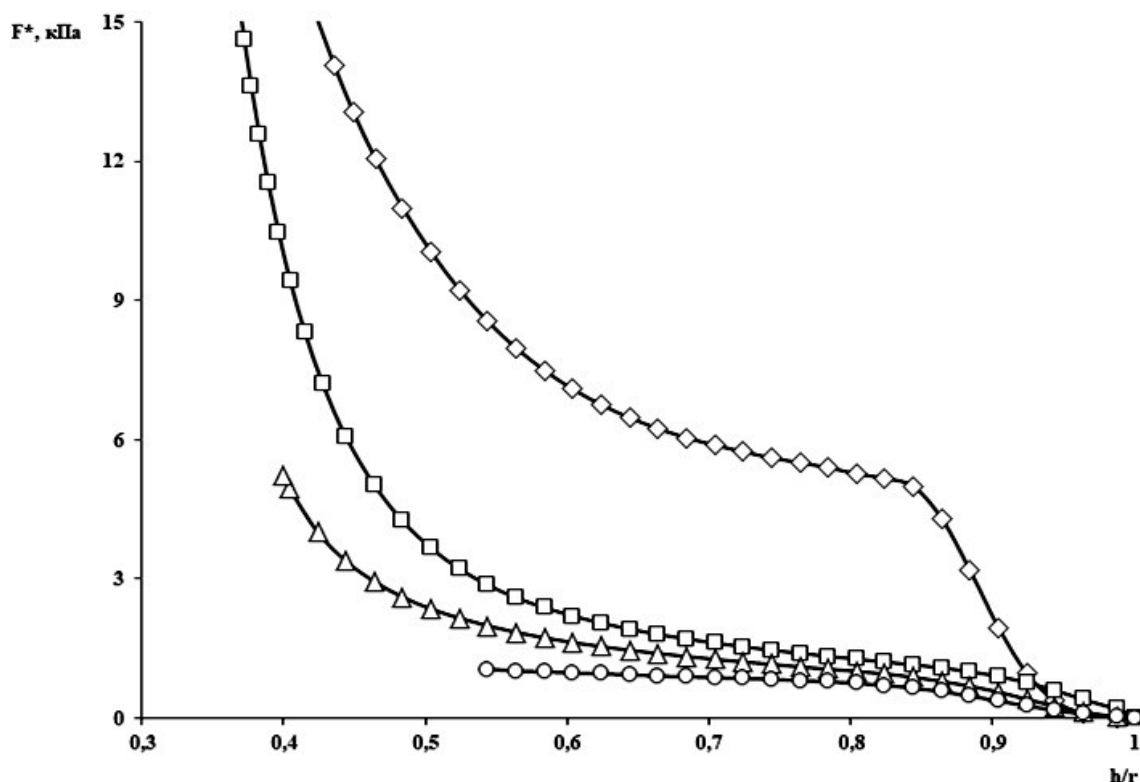


Рис. 2. Кривые зависимости приведенной нагрузки F^* от относительного изменения высоты образца h_i/R ($B/C = 0,24$)
 Обозначено: \diamond - Ц - В; \square - Ц - В - СП; Δ - Ц - В - СП - ПФК; \circ - Ц - В - СП - ЖС

Такое поведение системы «Ц – В – СП» связано с действием СП, который адсорбируясь на зернах цемента, создает «стерический» эффект отталкивания. Кроме того, при введении СП в цементные системы изменяется состояние сольватных оболочек воды частиц новообразований цемента. При адсорбции СП на поверхности твердой фазы зерна цементного клинкера количество воды сольватных оболочек уменьшается, а количество свободной воды возрастает, что приводит к изменению реологических характеристик смеси.

В системе «Ц – В – СП – ПФК» значения $K_i(I)$ составляют $0,56 - 1,78$ кПа при соответствующих значениях $\lambda = 0,68 - 0,52$. Стоит отметить, что данная система является более пластичной, чем система «Ц – В – СП» (рис. 2) и имеет оптимальные значения λ (рис. 3) во всем исследуемом диапазоне В/Ц.

В системе «Ц – В – СП – ЖС» $K_i(I)$ принимает значения $0,45 - 1,44$

кПа при соответствующих значениях $\lambda = 0,62 - 0,55$ (рис. 2, 3). Данная система более пластична, чем системы «Ц – В – СП» и «Ц – В – СП – ПФК» и имеет оптимальные значения λ в диапазоне В/Ц 0,22 – 0,24 (табл. 2).

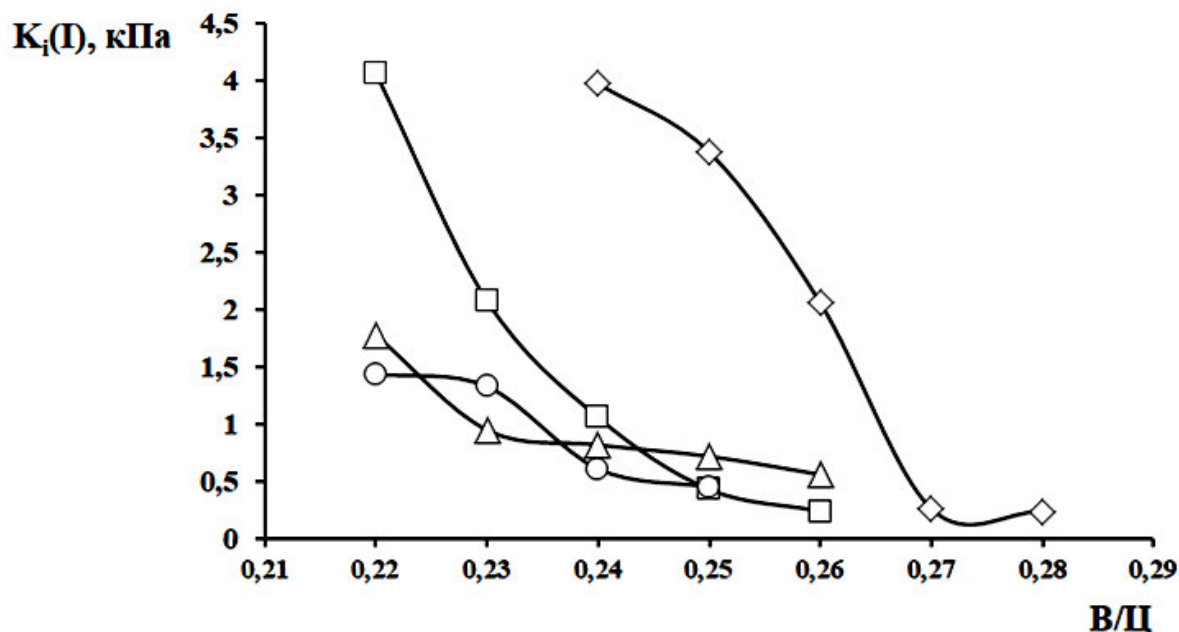


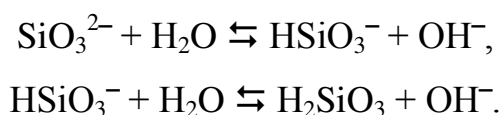
Рис. 3. Зависимости величины $K_i(I)$ от В/Ц
 Обозначено: ◇ – Ц – В; □ – Ц – В – СП; △ – Ц – В – СП – ПФК; ○ – Ц – В – СП – ЖС

Пластичность рассмотренных выше систем можно объяснить совместным действием суперпластификатора и добавки-электролита.

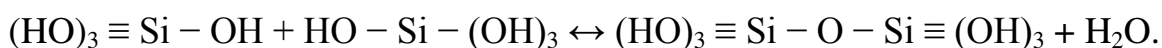
Согласно В.Б. Ратинову пирофосфат калия и натриевое жидкое стекло относятся к добавкам второго класса (добавки-электролиты, вступающие с вяжущими веществами в обменные реакции с образованием трудно-растворимых соединений) [11].

Данные добавки-электролиты предварительно растворяли в воде затворения, где они подвергались процессу гидролиза.

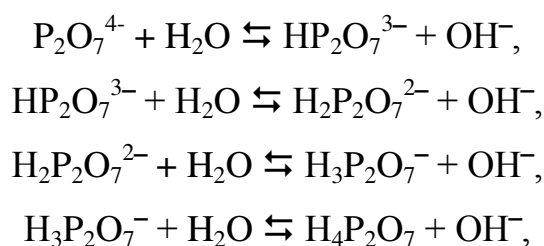
Реакция гидролиза силикат-ионов в водном растворе протекает по схеме [12]:



Выделяющаяся в результате гидролиза кремниевая кислота содержит в своём составе силанольные группы ($\equiv \text{Si} - \text{OH}$), способные к реакции поликонденсации с образованием силоксановых связей ($\equiv \text{Si} - \text{O} - \text{Si} \equiv$). В процессе поликонденсации образуются заполимеризованные кремниевые кислоты:



Пирофосфат-ионы гидролизуются с образованием пирофосфорной кислоты $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, которая имеет $\text{P} - \text{O} - \text{P}$ связи, через которые осуществляется ее полимеризация с образованием линейных полифосфорных кислот состава $\text{H}_{n+2}\text{P}_n\text{O}_{3n+1}$ [13]:



Образовавшиеся заполимеризованные неорганические кислоты, действуют подобно поверхностно-активным веществам – встраиваясь между зернами цемента препятствуют образованию коагуляционных контактов в структуре композита. И как следствие, замедляют процессы схватывания цементного теста, оказывая пластифицирующее действие на исследуемые цементные смеси. Поскольку силикат-ионы имеют меньший размер, чем пирофосфат-ионы, цепочкам на их основе гораздо легче встроиться между зернами цемента и обеспечить эффект скольжения при действии нагрузки. Таким образом, цементная смесь с добавкой натриевого жидкого стекла является более пластичной, чем с добавкой пирофосфата калия.

Стоит отметить, что рассмотренные добавки неоднозначно влияют на структурную прочность цементных смесей (см. табл. 2, рис. 4).

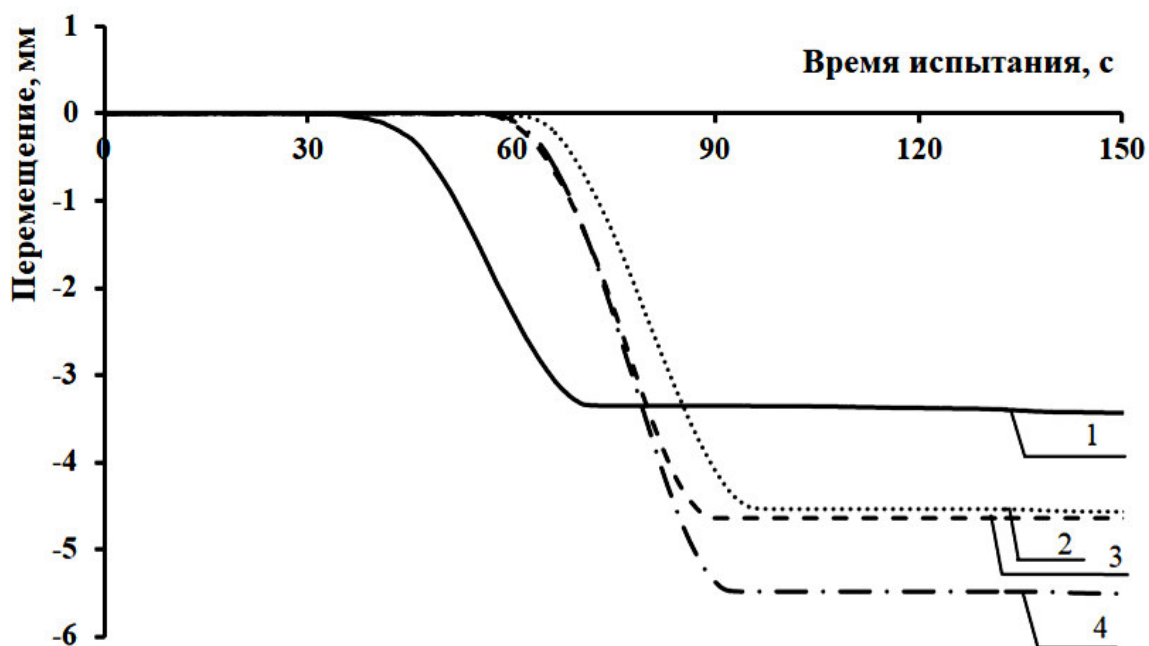


Рис. 4. Зависимости перемещения от времени ($V/C = 0,24$, $t = 10$ мин)
 Обозначено: 1 – Ц – В; 2 – Ц – В – СП; 3 – Ц – В – СП – ПФК; 4 – Ц – В – СП – ЖС

В системе «Ц – В» максимальное значение структурной прочности составляет 0,87 кПа, в системе «Ц – В – СП» – 2,86 кПа при соответствующих пластических деформациях 1,85 мм и 0,93 мм. Введение электролитов существенно снижает устойчивость цементного теста к действию нагрузки. Согласно экспериментальным данным в системе с добавкой пирофосфата калия максимальное значение структурной прочности составляет 1,59 кПа с соответствующим значением пластической деформации 3,05 мм. В свою очередь, система с жидким стеклом характеризуется минимальными величинами структурной прочности σ_0 (0,48 кПа) и максимальными пластическими деформациями $\Delta_{пл}$ (5,42 мм). Таким образом, в системах с добавками-электролитами значения пластической прочности в 1,3 – 1,5 раза, а пластических деформаций – в 3 – 4 раза выше, чем в системе «Ц – В – СП».

Заключение. Выявлено, что суперпластификатор на основе поликарбосилатных эфиров способен одновременно повышать и пластичность, и формоустойчивость цементных смесей.

Установлено, что добавки-электролиты – пирофосфат калия и натриевое жидкое стекло – способствуют повышению пластичности цементных систем, но снижают их устойчивость к действию нагрузки, оцененную по величине структурной прочности, в 3 – 5 раз. В составе композитов для 3D-печати представляется целесообразным использование пирофосфата калия (при его дозировке $\leq 0,2$ % от массы цемента) из-за хорошего эффекта пластифицирования смесей. Введение добавок на основе жидкого стекла не рекомендуется из-за резкого снижения структурной прочности смесей.

Список литературы

1. Славчева Г.С., Артамонова О.В. Реологическое поведение дисперсных систем для строительной 3d-печати: проблема управления и возможности арсенала «нано» // Нанотехнологии в строительстве. 2018. Т. 10. № 3. С. 107-122.
2. Hage I., Golonka A., Putanowicz R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction. // Procedia Engineering. 2016. V. 151. P. 292-299.
3. Paul S.C., Tay Y.W.D., Panda B., et al. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction // Archives of civil and mechanical engineering. 2018. V. 18. P. 311-319.
4. Perrot A., Mélinge Y., Estellé P., Lanos, C. Vibro-extrusion: a new forming process for cement-based materials // Advances in Cement Research/ 2009. V. 21. № 3. P. 125-133.
5. Perrot A., Mélinge Y., Rangeard D. et al. Use of ram extruder as a combined rheo-tribometer to study the behaviour of high yield stress fluids at low strain rate // Rheologica Acta, Springer Verlag. 2012. V. 51. № 8. P. 743-754.
6. Perrot A., Rangeard D., Mélinge Y. et al. Extrusion criterion for firm cement-based materials // Applied Rheology. 2009. V.19.
7. Славчева Г.С., Бабенко Д.С., Шведова М.А. Анализ и критериаль-

ная оценка реологического поведения смесей для строительной 3D печати // Строительные материалы. 2018. № 12. С. 34-40.

8. Урьев Н.Б. Физико-химическая динамика структурированных нанодисперсных систем и нанодисперсных композиционных материалов. Ч. 1 // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2010. Т. 46. № 1. С. 3-23.

9. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды. М.: Наука, 1979. 384 с.

10. Круглицкий Н. Н. Очерки по физико-химической механике. Киев: Наукова думка, 1988. 224 с.

11. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1989. 188 с.

12. Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 309 с.

13. Гринвуд Н.Н., Эршно А. Химия элементов. Т.1. М.: Бином, 2008. 607 с.

Reference

1. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. [The rheological behavior of disperse systems for 3d printing in construction: the problem of control and possibility of «nano» tools application]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyj internet-zhurnal* [Nanotechnology in construction: a scientific online magazine]. 2018. V. 10. no. 3. P. 107-122. (in Russian).

2. Hage I., Golonka A., Putanowicz R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction. // *Procedia Engineering*. 2016. V. 151. P. 292-299.

3. Paul S.C., Tay Y.W.D., Panda B., et al. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction // *Archives of civil and mechanical engineering*. 2018. V. 18. P. 311-319.

4. Perrot A., Mélinge Y., Estellé P., Lanos, C. Vibro-extrusion: a new

forming process for cement-based materials // *Advances in Cement Research*/ 2009. V. 21. № 3. P. 125-133.

5. Perrot A., Mélinge Y., Rangeard D. et al. Use of ram extruder as a combined rheo-tribometer to study the behaviour of high yield stress fluids at low strain rate // *Rheologica Acta*, Springer Verlag. 2012. V. 51. № 8. P. 743-754.

6. Perrot A., Rangeard D., Mélinge Y. et al.. Extrusion criterion for firm cement-based materials // *Applied Rheology*. 2009. V.19.

7. Slavcheva G. S., Babenko D S., Shvedova M. A. [Analiz i kriterial'naya ocenka reologicheskogo povedeniya smesey dlya stroitel'noj 3D pechati] *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2018. V. 12. P. 34-40. (in Russian).

8. Ur'ev N.B. [Fiziko-himicheskaya dinamika strukturirovannyh nanodispersnyh sistem i nanodispersnyh kompozicionnyh materialov. Ch. 1] *Fizikohimiya poverhnosti i zashchita materialov* [Physical chemistry of surfaces and protection of materials]. 2010. V. 46. No 1. P. 3-23. (in Russian).

9. Rebinder P.A. *Poverhnostnye yavleniya v dispersnyh sistemah. Fiziko-himicheskaya mekhanika. Izbrannye Trudy* [Surface phenomena in dispersed systems. Physico-chemical mechanics. Selected works]. Moscow: Nauka, 1979. 384 p. (in Russian).

10. Kruglickij N.N. *Ocherki po fiziko-himicheskoy mekhanike* [Essays on physical and chemical mechanics]. Kiev: Naukova dumka, 1988. 224 p. (in Russian).

11. Ratinov V.B., Rozenberg T.I. *Dobavki v beton* [Additives in concrete]. Moscow, Strojizdat, 1989. 188 p. (in Russian).

12. Shabanova N.A., Popov V.V., Sarkisov P.D. *Himiya i tekhnologiya nanodispersnyh oksidov* [Chemistry and technology of nanodispersed oxides]. Moscow, «Akademkniga», 2006. 309 p. (in Russian).

13. Greenwood N.N., Earnshaw A. *Chemistry of the Elements*. V. 1. (Rus. Ed.: Grinvud N.N., Ehrshno A. *Himiya ehlementov*. T.1. Moscow: Binom. 2008. 607 p.)

Славчева Галина Станиславовна – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Артамонова Ольга Владимировна – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Шведова Мария Александровна – инженер кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Полосина Анастасия Алексеевна – магистр 2-го года обучения, гр. М 052, Воронежского государственного технического университета

Работа выполнена согласно проекту 7.10781.2018/11.12 по государственному заданию «Выполнение проектов для получения первичных научных результатов, обеспечивающих расширение участия подведомственных образовательных организаций в реализации Национальной технологической инициативы».

Исследования проведены с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования им. проф. Ю.М. Борисова ВГТУ

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЫРЦА И ЧЕРЕПКА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

А.В. Хорина, Т.И. Шелковникова, Е.В. Баранов*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Хорина Алла Владимировна, E-mail: alla.purik@mail.ru*

В статье рассмотрена структура керамических материалов на макро- и микроуровне, определены факторы, оказывающие влияние на формирование черепка. Химический и минералогический состав глин, а также их соотношение влияют на ход фазовых превращений, природу кристаллических фаз и строение керамического черепка. Установлено, что характер фазовых преобразований, порядок формирования фаз оказывают воздействие на физико-механические свойства керамических изделий. Составлена схема формирования керамических минералов в зависимости от вида глины. Обобщены методы получения высококачественного керамического кирпича с однородным расположением кристаллической, стекловидной и газовой фаз.

Ключевые слова: строение керамических материалов, структура керамического черепка, макроуровень, микроуровень, механическая прочность

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING STRUCTURE FORMATION AND RAW SHARD OF CERAMIC BRICKS

A.V. Khorina, T.I. Shelkovnikova, E.V. Baranov*

*Voronezh State Technical University, Russian Federation
394006, Voronezh, ul. 20th Anniversary of October, 84*

**Address for correspondence: Khorina Alla Vladimirovna, E-mail: alla.purik@mail.ru*

The article describes the structure of ceramic materials at the macro and micro levels, identifies factors and parameters that influence the formation of the shard. A scheme for the formation of ceramic minerals, depending on the type of clay. The chemical and mineralogical composition of clays, as well as their ratio, influence the course of phase transformations, the nature of the crystalline phases and the structure of the ceramic shard. It is established that the nature of phase transformations, the order of phase formation affect the physicomechanical properties of ceramic products. The methods for obtaining high-quality ceramic bricks with a uniform arrangement of the crystalline, vitreous and gas phases are indicating.

Keywords: structure of ceramic materials, structure of a ceramic shard, macro level, micro level, mechanical strength

Введение. Совокупность механических, физических и химических свойств керамики в значительной степени определяют область ее применения. Прослеживается зависимость свойств от химического и минералогического состава сырья, строения керамики, полученной в ходе технологического процесса переработки. Таким образом, имеется четкая взаимосвязь в цепочке *сырье – технология - структура - свойства - применение* [1].

Структура материала показывает наличие определенных фаз, которые влияют на его физико-технические свойства [2]. Фазовый состав керамики показан на рис. 1:

- кристаллическая,
- аморфная (прослойки между зёрнами),
- газовая.

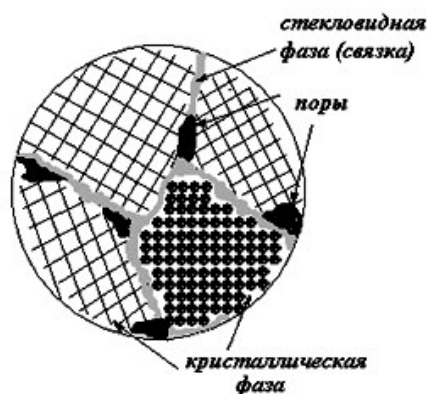


Рис. 1. Структура керамических материалов [3]

Обычно различают макроструктуру, называемую также текстурой, и микроструктуру, между которыми в принципе нет четкой границы [1]. Керамика, как поликристаллическое тело имеет зернистое строение. Величина, тип и направленность зерен играют важную роль в формировании макроскопических свойств, например, механической прочности. В большинстве керамических изделий присутствует более одной фазы, причем каждая фаза имеет свою собственную структуру, состав и свойства. Контроль типа, размера, распределения и количества этих фаз в материале позволяет контролировать свойства [4].

Главным направлением исследований является установление зависимости между технологией производства, структурой и свойствами изделий для разработки новых видов керамики с прогнозируемыми параметрами. Решению этих проблем посвящены теоретические и экспериментальные работы зарубежных (У.Д. Кингери, Р.Л. Кобла, Д.Е. Бурке и др.) и отечественных (П.П. Будников, А.С. Бережной, Д.Н. Полубояринов, Р.Я. Попильский, В.Л. Балкевич, И.С. Кайнарский, И.Н. Францевич, Г.В. Самсонов, К.К. Стрелов, Я.И. Френкель, Б.Я. Пинес, Я.Е. Гегузин, А.С. Власов, И.Я. Гузман, Е.С. Лукин, А.В. Беляков и др.) ученых.

Макроструктура представляет собой строение, видимое невооруженным глазом или с помощью лупы при увеличениях до 25 раз. Возможно различить зерна заполнителя, крупные поры, разрывы и трещины, уровень перемешивания компонентов шихты, качество прессования, дефекты сырца и черепка [1, 4]. Факторы, оказывающие влияние на макроструктуру керамического материала, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Факторы, влияющие на макроструктуру керамического материала

Макроуровень	Качество подготовки шихты
	Размер фракций заполнителя, исходных порошков
	Влияние добавок
	Качество прессования
	Режим обжига
	Влияние плотности и пористости

Микроструктуру возможно рассмотреть при существенном увеличении с использованием микроскопа и других видов инструментальной диагностики. Глубина изучения структуры зависит от оснащенности лаборатории и может рассматриваться на трех уровнях (табл. 2).

Таблица 2

Кратность увеличения для различных порядков микроструктуры

Номер порядка микроструктуры	Кратность увеличения
1	25 - 40
2	70 - 400
3	500 - 1000

Микроструктура существенно влияет на все химические, физико-механические свойства керамического черепка. Определив вид и полиморфные модификации кристаллической фазы, форму и размеры кристаллов можно прогнозировать прочность и качество изделий. Значительное влияние на внешний вид, цвет керамики оказывает также распределение стекловидной фазы и ее состав. Микроструктура включает характер кристаллических фаз, строение и состав стекловидной фазы, размер и взаимное расположение пор в материале.

Главнейшие свойства керамических материалов (прочность, плотность, термостойкость, проницаемость, кислотостойкость и некоторые другие) в значительной степени обусловлены их фазовым составом [2, 4, 5]. Характер фазовых преобразований, порядок формирования кристаллических фаз оказывают воздействие на свойства керамических изделий. Глины, используемые для керамического производства, чаще всего представляют совокупность нескольких глинистых минералов. Характер смеси этих минералов, а также их соотношение влияют на ход фазовых превращений, природу кристаллических фаз и свойства керамических изделий (рис. 2).

В каолиновых глинах при повышении количества плавней (полевых шпатов, слюд, оксидов щелочных металлов и т. п.) в глинистом сырье тем-

пература образования муллита снижается, увеличивается объемная масса, вследствие увеличения количества жидкой фазы [5]. В изделиях не образуются значительные проницаемые поры, если не происходит кристаллизация кристобалита из аморфного кремнезема, что предотвращается содержанием R_2O . Выше 1100-1200°C происходит рост кристаллов муллита.

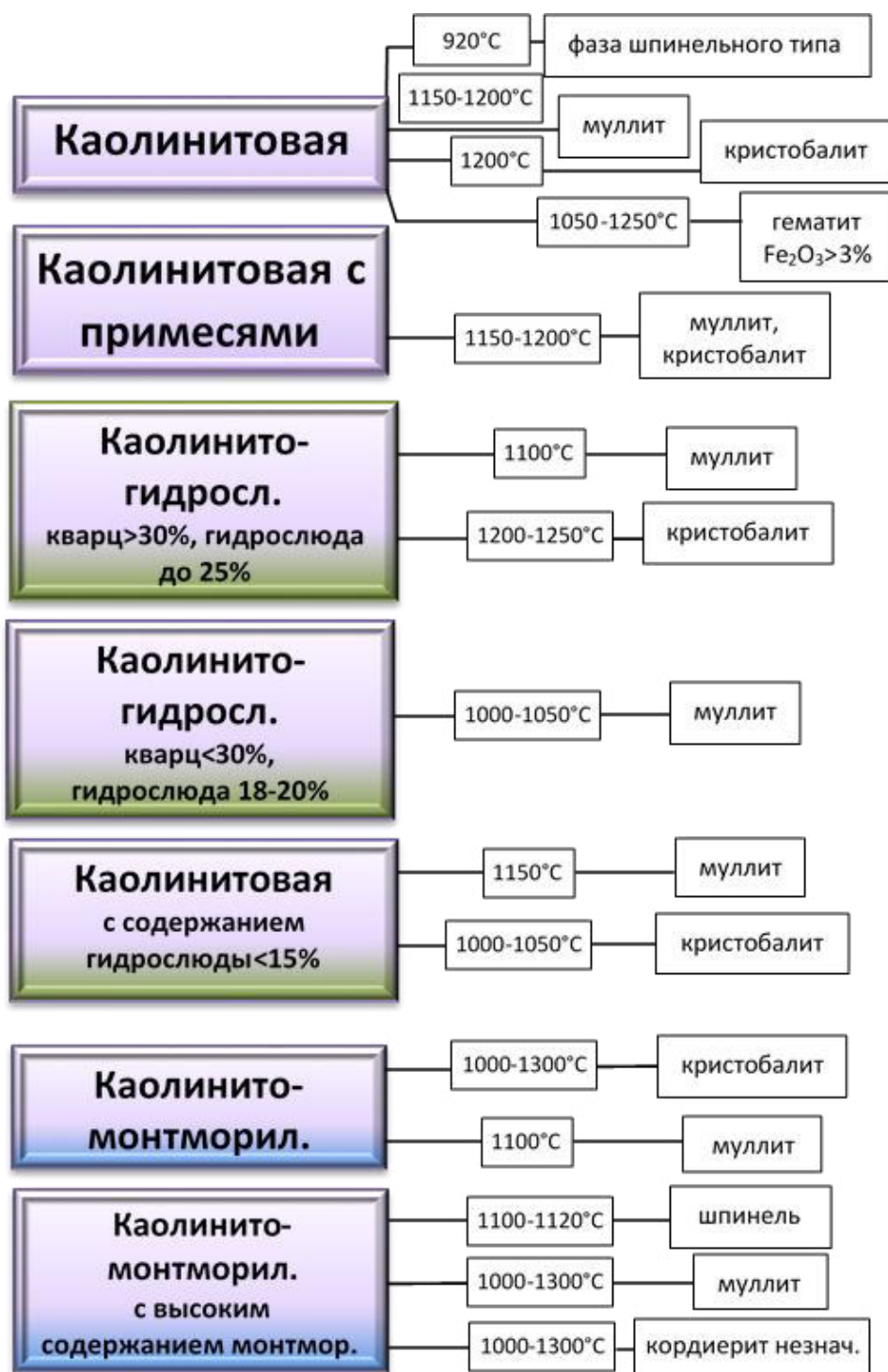


Рис. 2. Формирование основных керамических минералов в зависимости от вида глины

При уменьшении соотношения $\text{SiO}_{2\text{св}}/\Sigma_{\text{пл}}$ (где $\Sigma_{\text{пл}}$ – содержание плавней в глинистом сырье, %) увеличивается прочность керамических материалов и снижается водопоглощение. В интервале температур 1050-1250°C прочность не растет, при температуре выше 1250°C наблюдается незначительное увеличение предела прочности при сжатии. Это объясняется увеличением содержания жидкой фазы и прекращением процессов кристаллообразования. Повышение в стекловидной фазе содержания SiO_2 и Al_2O_3 способствует увеличению прочности. Вследствие незначительного содержания плавней в этих глинах крупные поры не заполняются расплавом, поэтому обожженные при 1300°C образцы имеют объемную массу 1,9-2,0 г/см³ [5].

В каолинито-гидрослюдистых глинах аморфный кремнезем, выделившийся в процессе муллитизации, растворяется в расплаве без перехода в кристобалит. До 1300°C образуется мелкокристаллический муллит с наиболее совершенной структурой, при значительно более низких температурах (за счет увеличения гидрослюды), чем при обжиге малощелочных каолинитовых глинах. Максимальное увеличение прочности наблюдается в интервале температур интенсивной кристаллизации муллита. При обжиге масс на основе запесоченных каолинито-гидрослюдистых глин в интервале температур 1200-1250°C происходит образование кристобалита из кварца.

В каолинито-монтмориллонитовых глинах увеличение монтмориллонита (до 20 %) и уменьшение Al_2O_3 снижают температуру образования кристобалита. При интенсивном образовании кристобалита 1050-1100°C объемная масса уменьшается. В этом же интервале образуется муллит, т.е. весь выделившийся в результате муллитизации кремнезем превращается в кристобалит. При этом прочность изделий снижается.

Микроструктура главным образом зависит от характера сырьевых материалов, технологии переработки массы, способов формования, физико-химических процессов в результате обжига. Факторы, оказывающие влияние на микроструктуру керамического черепка, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Факторы, влияющие на микроструктуру керамического материала

Микроуровень	Плотность керамического черепка
	Пористость керамического черепка
	Кристаллические фазы, их содержание, размеры и форма кристаллов
	Соотношение кристаллических фаз и стекла
	Состав и строение стекловидной фазы
	Влияние количества и качества образующегося расплава

Предпосылки для получения высококачественной продукции: содержание стекломуллитовой массы в черепке; отсутствие крупнокристаллических соединений; максимальная завершенность фазовых (объемных) превращений кварца; должно присутствовать минимальное содержание мелких разобщенных пор; ветвистые и цепочечные поры нежелательны.

Методы получения высококачественного керамического кирпича с однородной структурой включают в себя:

- качественную подготовку шихты (точное дозирование компонентов, тонкое измельчение, равномерное перемешивание и т. п.);
- ввод легкоплавких добавок (полевой шпат или плавни) для повышения спекания изделий и корректирования их строения и свойств; равномерное распределение добавок;
- использование порошков шарообразной формы с зерновым составом по принципу плотнейшей упаковки за счет заполнения пространства между крупными зернами частицами меньшего размера позволяют получать керамический черепок с кристаллами одного размера и узкими прослойками стеклофазы, что в свою очередь позволяют получить изделия высокого качества с улучшенными свойствами;
- рациональный выбор давления прессования, направление приложения силы и других технологических параметров позволяют получить уже в ходе прессования высокую плотность обожженных изделий [6];
- образование в ходе обжига достаточного количества жидкой фазы

для получения плотного материала с низким водопоглощением и пористостью; подбор оптимальных режимов обжига.

Спекание строительной керамики происходит с участием жидкой фазы. Посторонние примеси в глинах кварца, полевых шпатов, слюды, оксиды щелочных металлов, карбонаты кальция и магния образуют на первоначальных этапах обжига некоторое количество расплава, способствующее спеканию керамического черепка. В других случаях легкоплавкие минералы, например, полевой шпат или искусственно полученные плавни в виде стекол, вводят в состав масс для улучшения спекания изделий и регулирования их строения и свойств [1, 2, 5].

Пористость в значительной мере зависит от следующих факторов - способа подготовки сырья, вида формования, наличия, размера и состава примесей, режимов сушки и обжига. Наиболее весомыми являются гранулометрический и минералогический состав глин, от которых напрямую зависит влажность сырца, воздушная и огневая усадки. Не всегда рациональной является низкая влажность, сырец может не дать компактной упаковки зерен при принятых параметрах формования. Поэтому целесообразно оптимизировать влажность с целью формирования однородной плотной структуры сырца [7].

Заключение. Таким образом, параметры строения макро- и микроуровня керамических материалов играют важную роль в формировании однородной структуры керамических материалов. Характер фазовых преобразований, порядок формирования кристаллических фаз оказывают воздействие на свойства керамических изделий. Методы получения высококачественного керамического кирпича включают в себя качественную подготовку шихты, ввод легкоплавких добавок, использование порошков шарообразной формы с зерновым составом по принципу плотнейшей упаковки, рациональный выбор давления прессования, подбор оптимальных режимов сушки и обжига.

Список литературы

1. Химическая технология керамики / Н.Т. Андрианов [и др.] / под ред. проф. И.Я. Гузмана. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2012. 496 с.
2. Зубёхин А.П., Верченко А.В., Яценко Н.Д. Зависимость прочности керамогранита от фазового состава // Журн. Строительные материалы. 2014. № 8. С. 30–33.
3. Структура керамики. [Электронный ресурс]: https://studopedia.ru/10_46520_struktura-keramiki.html (дата обращения 20.02.2019).
4. Carter C. Barry, Norton M. Grant. Ceramic Materials / Science and Engineering. 2007.
5. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. М.: Стройиздат, 1977. 240 с.
6. Frank Händle Extrusion in Ceramics. Springer Berlin Heidelberg New York. 2007.
7. Черкасов С.В., Турченко А.Е., Степанова М.П., Шелковникова Т.И. Формирование структуры керамического кирпича при жестком и пластическом способах формования // Научный журнал ВГТУ. Серия: Химия, физика и механика материалов. 2018. №1 (16). С. 33–44.

Reference

1. Andrianov N.T., Balkevich V.L., Belyakov A.V., Vlasov A.S., Guzman I.Ya., Lukin E.S., Mosin U.M., Skidan B.S. [Chemical technology of ceramics]. Moscow: RIF «Building materials», 2012. 496 p. (in Russian).
2. Zubjohin A.P., Verchenko A.V., Jacenko N.D. [The dependence of the strength of ceramic granite on the phase composition]. *Magazine Building Materials*. 2014. no. 8. P. 30–33 (in Russian).
3. The structure of ceramics [electronic resource]: https://studopedia.ru/10_46520_struktura-keramiki.html (in Russian).
4. Carter C. Barry, Norton M. Grant. Ceramic Materials / Science and En-

gineering. 2007. 716 p.

5. Pavlov V.F. [Physical and chemical bases of burning of products of building ceramics]. Moscow: StroiIzdat, 1977. 240 p. (in Russian).

6. Frank Händle Extrusion in Ceramics. Springer Berlin Heidelberg New York. 2007. 470 p.

7. Cherkasov S.V., Turchenko A.E., Stepanova M.P., Shelkovnikova T.I. [The structure formation of ceramic bricks when rigid and plastic methods of formatio]. Scientific journal VGTU. Series: Chemistry, Physics and Mechanics of Materials. 2018. no. 1 (16). P. 33–44 (in Russian).

Хорина Алла Владимировна – аспирант кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Шелковникова Татьяна Иннокентьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Баранов Евгений Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

УДК 691.32

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНОВ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

А.М. Усачев, О.В. Федорова*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Усачев Александр Михайлович, e-mail: usachevam@vgasu.vrn.ru*

Качество бетонных и железобетонных конструкций в значительной степени зависит от достоверности контроля прочности бетона. Определение прочности бетона может производиться стандартными разрушающими методами, ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам», путем изготовления и испытания образцов-кубов. Однако достоверность контроля его прочности и однородности по стандартным образцам является недостаточной в силу ряда причин: объем испытания стандартных образцов не превышает 0,01 % уложенного в конструкцию бетона, условия виброформования и режимы твердения образцов и конструкций различны, стандартными методами невозможно определить однородность бетона в изделии и прочность отдельных его участков. При обследовании зданий и сооружений стандартные методы испытания бетона вообще неприменимы. Перечисленные недостатки стандартных разрушающих методов испытания прочности бетона обусловили развитие неразрушающих методов контроля и методов, связанных с испытаниями образцов бетона, извлекаемых из конструкции. Неразрушающий контроль отпускной и передаточной прочности бетона позволяет оперативно влиять на технологический процесс производства железобетонных изделий. Для неразрушающего контроля прочности бетона используются приборы, основанные на методах местных разрушений (отрыв со скалыванием, скалывание ребра, отрыв стальных дисков), ударного воздействия на бетон (удар-

ный импульс, упругий отскок, пластическая деформация) и ультразвукового прозвучивания. Основные объемы неразрушающего контроля прочности бетона выполняются, как правило, высокопроизводительными приборами после установления корреляции их косвенной характеристики (базовой зависимости) с фактической прочностью контролируемого бетона. В отличие от методов местных разрушений приборы, основанные на ударно-импульсном воздействии на бетон, имеют значительно большую производительность, однако контроль прочности бетона ведется в поверхностном слое толщиной 25...30 мм, что ограничивает их применение. В упомянутых выше случаях необходима зачистка поверхности контролируемых участков бетона или удаление поврежденного поверхностного слоя. Применение ударно-импульсных и ультразвуковых приборов на объектах строительства и при обследовании эксплуатируемых конструкций, когда нет возможности уточнить градуировочную зависимость испытанием кубов в прессе, сопряжено с существенными ошибками при определении прочности бетона. В статье приведены результаты исследований по оценке градуировочных зависимостей при определении прочности бетона неразрушающими методами. Оценивается достоверность определения прочности бетона ультразвуковым методом и методом ударного импульса применительно к разным классам бетона.

Ключевые слова: тяжелый бетон, прочность, неразрушающий контроль, градуировочная зависимость, ультразвуковой метод, метод ударного импульса

THE STUDY OF THE PROBLEM OF THE RELIABILITY ASSESSMENT OF THE CONCRETE STRENGTH BY NONDESTRUCTIVE METHODS

A.M. Usachev*, O.V. Fedorova

Voronezh State Technical University, Russian Federation

394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktiabria, 84

**Corresponding author: Alexander M. Usachev, e-mail: usachevam@vgasu.vrn.ru*

The quality of concrete and reinforced concrete structures largely depends on the relia-

bility of concrete strength control. Determination of the strength of concrete can be made by standard methods (GOST 10180 Concrete. Methods for determining the strength of the control samples) by manufacturing and testing samples, but the reliability of the control of its strength and homogeneity of the standard samples is insufficient for a number of reasons: the volume of testing of standard samples does not exceed 0.01 % laid in the concrete structure, the conditions of vibration formation and hardening modes of samples and structures are different, standard methods can not determine the homogeneity of concrete in the product and the strength of its individual sections. When inspecting buildings and structures, standard concrete testing methods are not applicable at all. These disadvantages of the standard methods of testing the strength of concrete led to the development of non-destructive testing methods and methods associated with the testing of concrete in non-standard samples extracted from the structure. Nondestructive control of concrete tempering and transfer strength allows to influence quickly the technological process of production of reinforced concrete products. For non-destructive testing of concrete strength, devices based on the methods of local destruction (separation with chipping, chipping ribs, separation of steel discs), impact on the concrete (shock impulse, elastic rebound, plastic deformation) and ultrasonic sounding are used. The main volumes of non-destructive testing of concrete strength are usually performed by high-performance devices after establishing the correlation of their indirect characteristics (basic dependence) with the actual strength of the controlled concrete. In contrast to the methods of local destruction devices based on the impact-pulse impact on the concrete, have a much greater performance, but the control of the strength of concrete is carried out in the surface layer thickness 25...30 mm, which limits their use. In the cases mentioned above, it is necessary to clean the surface of the controlled areas of concrete or remove the damaged surface layer. The use of shock-pulse and ultrasonic devices at the construction sites and during the inspection of the operated structures, when it is not possible to clarify the calibration dependence by testing the cubes in the press, is associated with significant errors in determining the strength of concrete. The article presents the results of studies to assess the calibration dependences in determining the strength of concrete by non-destructive methods. The reliability of concrete strength determination by ultrasonic method and shock pulse method applied to different concrete classes is estimated.

Keywords: heavy concrete, strength, nondestructive testing, calibration dependence, ultrasonic method, shock pulse method

Введение. На сегодняшний день тяжелый бетон является основным конструкционным материалом для всех видов строительства. Из бетона из-

готовляют монолитные конструкции, сооружаемые непосредственно на месте строительства, а также сборные железобетонные конструкции [1].

Преимуществами бетона по сравнению с другими строительными материалами являются: возможность применения местного сырья (заполнителей); механизация и автоматизация технологии производства; изготовление изделий различной формы; огнестойкость, долговечность и прочность конструкций [1, 2].

Практическая часть

Важнейшим свойством бетона является его прочность, характеризующаяся маркой и классом. Согласно ГОСТ 18105 [3] прочность бетона может определяться разрушающими и неразрушающими методами (рис. 1).



Рис. 1. Классификация методов контроля прочности бетона

Самыми достоверными результатами, безусловно, являются разрушающие методы, полученные при испытаниях бетонных образцов в прессе [4]. Однако, несмотря на высокую точность измерений, недостатками таких способов являются: различные условия твердения образцов и конструкций, высокая трудоемкость работ, частичное разрушение конструкций, затруднительное выполнение большого количества испытаний.

Достоинствами неразрушающих методов оценки прочности являются: низкая трудоемкость, сокращение сроков проведения испытаний, полное отсутствие или незначительное разрушение конструкций, возможность выполнить неограниченное количество испытаний. С помощью приборов неразрушающего контроля возможно проводить оценку прочности изделий и конструкций на предприятиях сборного железобетона, строительных площадках, осуществлять обследования существующих зданий и сооружений [5, 6]. Недостатком неразрушающих методов является тот факт, что в ходе испытаний устанавливается не прочность, а косвенная характеристика прочности бетона. Это предполагает обязательное построение градуировочной зависимости, устанавливающей взаимосвязь между косвенной характеристикой и фактической прочностью бетона.

Целью настоящих исследований является проведение сравнительной оценки прочностных показателей бетона, полученных разрушающими (прямыми) и неразрушающими (косвенными) методами. Объектом исследования является тяжелый бетон классов по прочности В15, В20, В25 и В35. Для оценки прочности прямым методом применялась универсальная 4-х колонная гидравлическая испытательная система Instron 1500HDX, расположенная в Центре коллективного пользования имени проф. Ю.М. Борисова ВГТУ. В качестве методов неразрушающего контроля были рассмотрены ударно-импульсный и ультразвуковой способы. В качестве приборов неразрушающего контроля использовались, соответственно, измеритель прочности бетона ИПС-МГ 4.03 и измеритель времени распространения ультразвука Пульсар-1.1.

Ударно-импульсный метод основан на связи прочности бетона с формой графика колебаний ударного механизма при соударении с поверхностью бетона. При соударении на поверхности бетона появляются пластические деформации (отпечаток), а боек отскакивает от поверхности из-за упругих свойств бетона. Таким образом, метод является двухпараметрическим (пластические деформации + упругий отскок), то делает ударно-импульсный метод одним из наиболее точных методов неразрушающего контроля.

Ультразвуковой метод основан на связи скорости (времени) прохождения ультразвука через бетон с его прочностью.

Для проведения опытов и установления градуировочных зависимостей изготавливались бетонные образцы-кубы размером 10×10×10 см в соответствии с требованиями ГОСТ 10180. Количество изготовленных образцов каждого класса – 30 шт. Построение градуировочных зависимостей осуществлялось по результатам неразрушающих (ударно-импульсных и ультразвуковых) испытаний и результатам определения фактической прочности бетона тех же образцов.

Результаты неразрушающих испытаний бетонных образцов и результаты определения фактической прочности бетона представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты фактической прочности бетона различных классов и результаты неразрушающего контроля прибором ИПС-МГ 4.03

№ образ-ца	Класс бетона В15		Класс бетона В20		Класс бетона В25	
	фактическая прочность	показания прибора	фактическая прочность	показания прибора	фактическая прочность	показания прибора
1	2	3	4	5	6	7
1	34,6	25,3	32,8	30,9	39,9	38,9
2	33,3	25,1	33,2	29,5	44,8	36,8
3	30,9	24,1	31,1	25,8	30,9	34,6
4	23,5	22,3	23,9	27,3	29,5	30,0
5	22,9	22,3	27,6	28,3	30,1	32,7
6	23,5	20,0	30,1	27,2	32,3	30,1
7	18,5	24,5	32,0	28,2	40,9	47,1
8	29,3	24,8	23,2	28,1	37,0	47,4
9	21,6	21,2	29,3	26,4	38,1	53,2

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
10	20,3	20,2	30,2	26,4	41,7	52,0
11	28,5	24,3	22,5	26,9	48,1	46,5
12	28,0	21,3	22,4	26,7	41,6	43,1
13	25,4	21,7	24,0	28,1	40,9	37,8
14	32,1	25,5	23,1	28,0	39,4	39,0
15	29,2	23,9	33,1	29,3	39,9	47,1
16	28,8	22,8	27,0	31,8	46,2	47,7
17	29,9	23,9	29,0	26,1	35,9	31,3
18	32,5	23,9	23,0	28,7	35,3	41,8
19	25,7	20,1	23,0	29,9	35,7	27,6
20	23,2	24,9	27,2	31,2	38,7	32,0
21	25,7	24,2	23,6	28,5	42,0	46,5
22	23,3	23,2	22,0	26,3	38,2	38,6
23	24,1	24,2	22,5	26,7	41,0	40,6
24	25,1	22,1	23,0	27,2	33,4	41,3
25	23,5	25,4	25,0	29,9	33,3	43,2
26	29,3	24,5	23,3	29,6	33,2	48,0
27	29,5	22,4	22,5	26,9	38,1	48,7
28	29,8	24,6	22,5	27,5	36,2	48,3
29	31,6	25,1	23,7	27,6	34,6	50,1
30	30,6	24,8	23,9	27,9	35,2	46,7

Таблица 2

Результаты фактической прочности бетона различных классов и результаты неразрушающего контроля прибором Пульсар-1.1

№ образ-ца	Класс бетона В15		Класс бетона В25		Класс бетона В35	
	фактическая прочность	показания прибора	фактическая прочность	показания прибора	фактическая прочность	показания прибора
1	2	3	4	5	6	7
1	19,2	36,6	23,4	39,5	53,4	51,9
2	17,9	34,8	22,6	38,6	46,4	52,2
3	16,5	36,8	23,7	38,7	63,3	49,0
4	19,9	39,8	22,3	40,9	71,2	47,5
5	20,0	37,2	24,5	40,8	71,0	46,5
6	17,8	34,9	22,8	39,7	60,5	46,5
7	19,6	33,3	24,4	36,4	65,3	46,2
8	16,8	32,3	27,1	40,5	63,2	46,9
9	18,2	28,8	25,6	38,3	50,3	50,2
10	18,3	28,0	25,2	36,0	47,3	47,4
11	19,9	30,8	19,9	36,0	48,2	47,6
12	20,6	31,9	24,5	34,9	44,2	51,0
13	20,6	30,9	16,5	35,7	47,4	52,8
14	16,8	28,8	19,6	34,0	41,0	44,8
15	10,9	23,8	23,8	33,9	43,7	43,0
16	11,2	29,6	21,8	33,9	44,1	43,3
17	11,6	29,3	25,6	41,4	41,4	43,9
18	12,8	28,9	30,6	41,0	43,7	42,9
19	12,1	26,2	22,8	39,1	44,1	43,3

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
20	10.9	23.8	28.5	40.6	42.0	34.9
21	22.1	36.8	25.7	40.2	40.2	33.7
22	19.4	35.6	29.0	40.5	41.4	43.9
23	23.5	38.4	18.2	30.4	40.6	46.7
24	22.2	35.4	18.3	30.8	39.5	51.3
25	23.9	38.4	25.1	34.0	39.9	52.3
26	23.0	39.3	26.3	30.9	39.8	52.8
27	18.1	37.9	22.4	31.0	47.1	54.7
28	17.9	36.8	21.3	31.0	31.8	48.7
29	17.6	37.3	23.5	35.4	32.0	51.0
30	19.5	39.5	21.1	40.2	31.4	49.4

Градуировочная зависимость, графическая или аналитическая зависимость между косвенной характеристикой прочности и фактической прочностью бетона на сжатие, устанавливалась линейного вида с проведением при необходимости отбраковки отдельных результатов в соответствии с требованиями ГОСТ 17624 и ГОСТ 22690 [5, 6]. Применение градуировочной зависимости допускается только для значения косвенной характеристики, попадающей в диапазон от \max до \min .

Полученные градуировочные зависимости приведены на рис. 2-7.

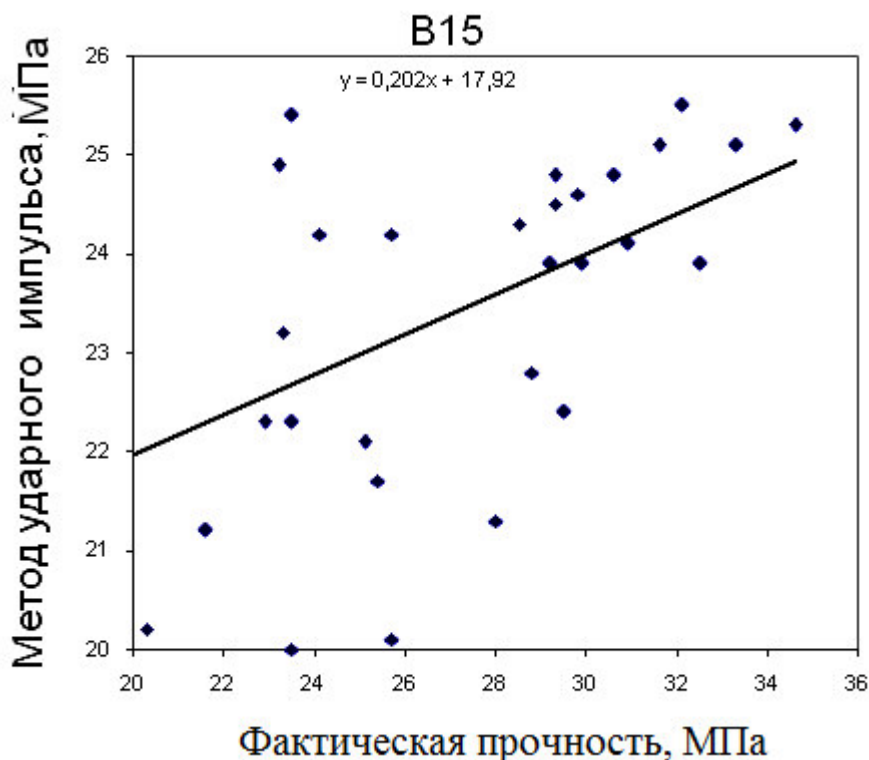


Рис. 2. Градуировочная зависимость для класса В15 (ИПС-МГ 4.03)

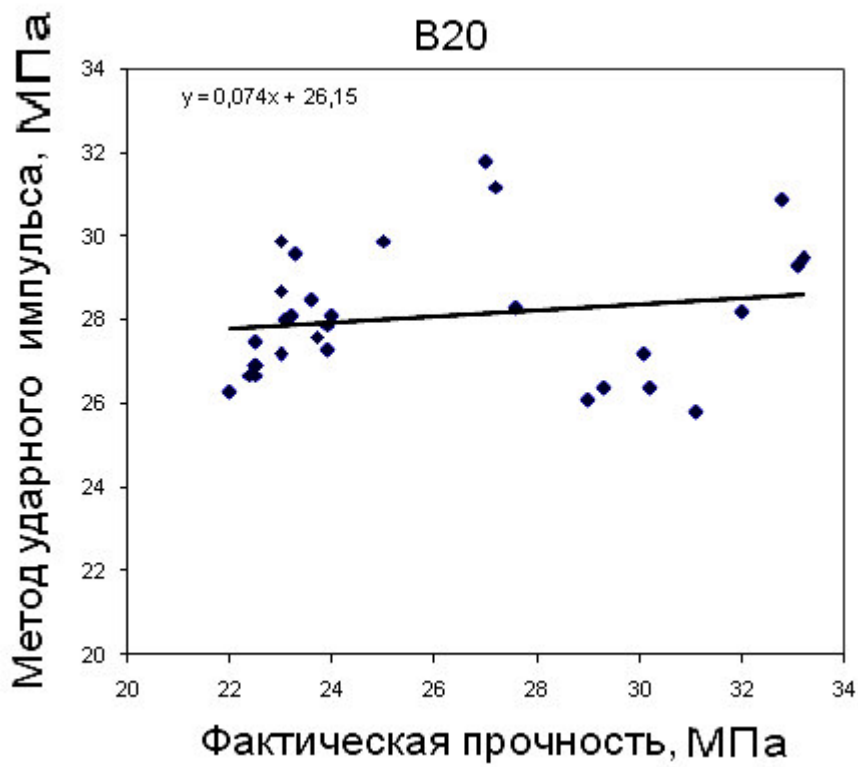


Рис. 3. Градуировочная зависимость для класса В20 (ИПС-МГ 4.03)

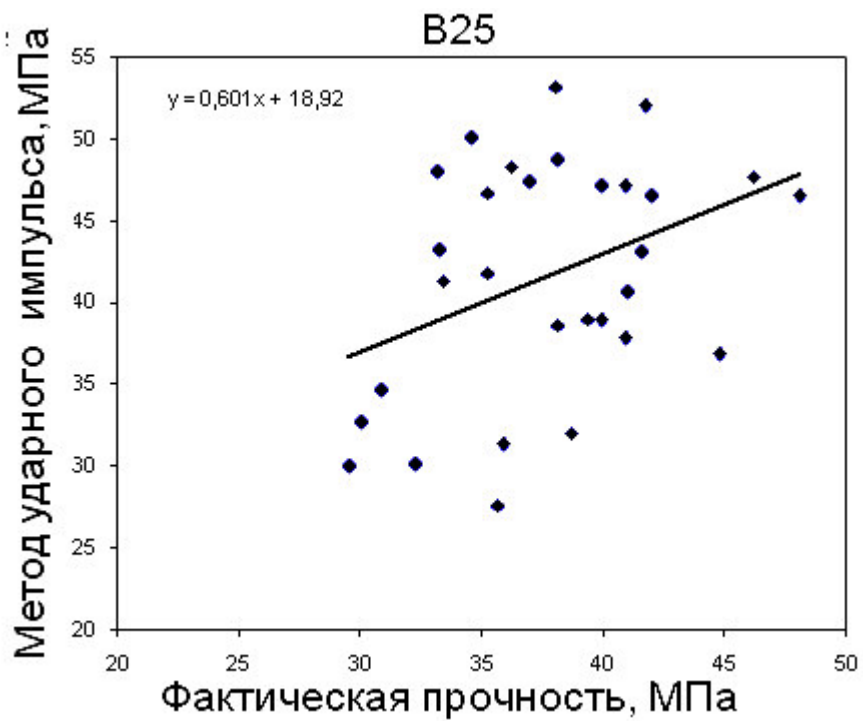


Рис. 4. Градуировочная зависимость для класса В25 (ИПС-МГ 4.03)

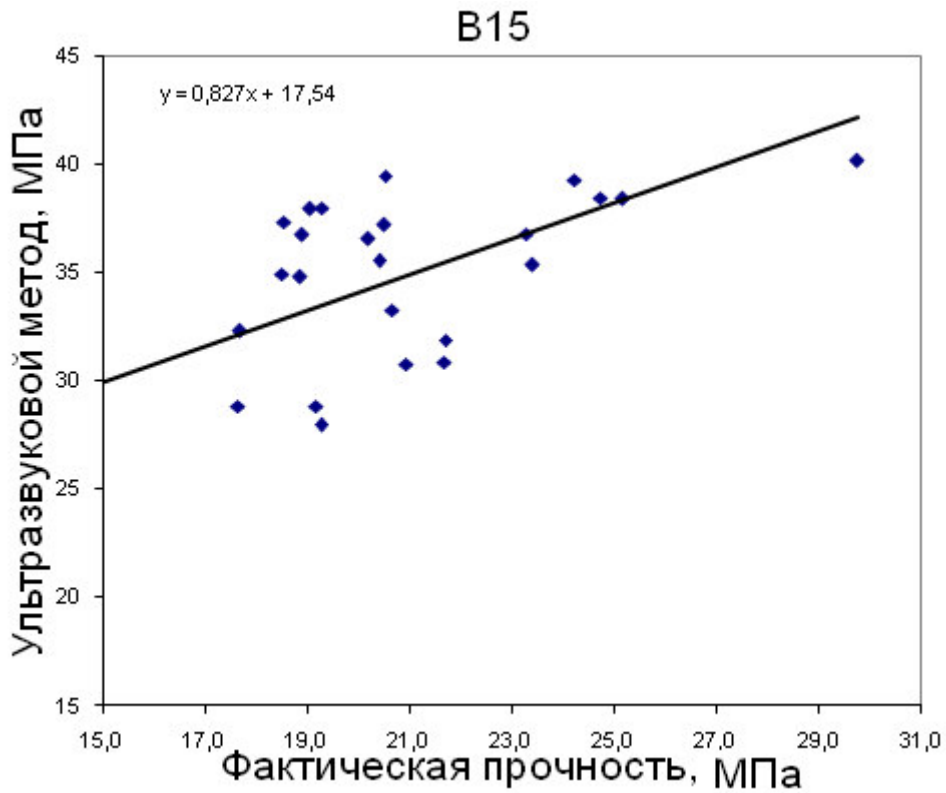


Рис. 5. Градуировочная зависимость для класса В15 (Пульсар-1.1)

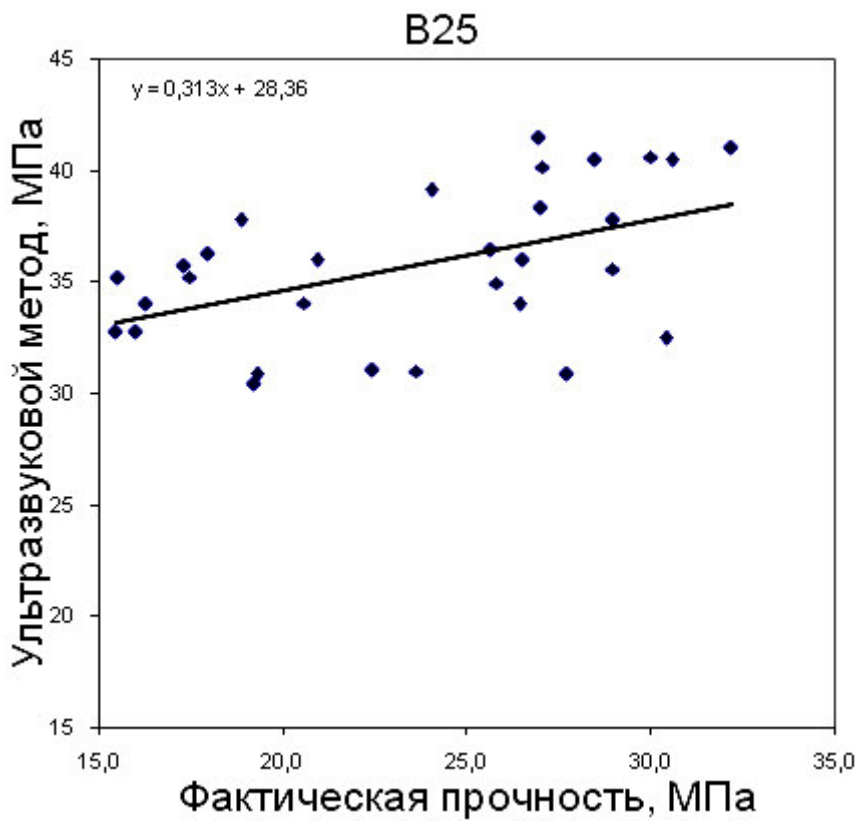


Рис. 6. Градуировочная зависимость для класса В25 (Пульсар-1.1)

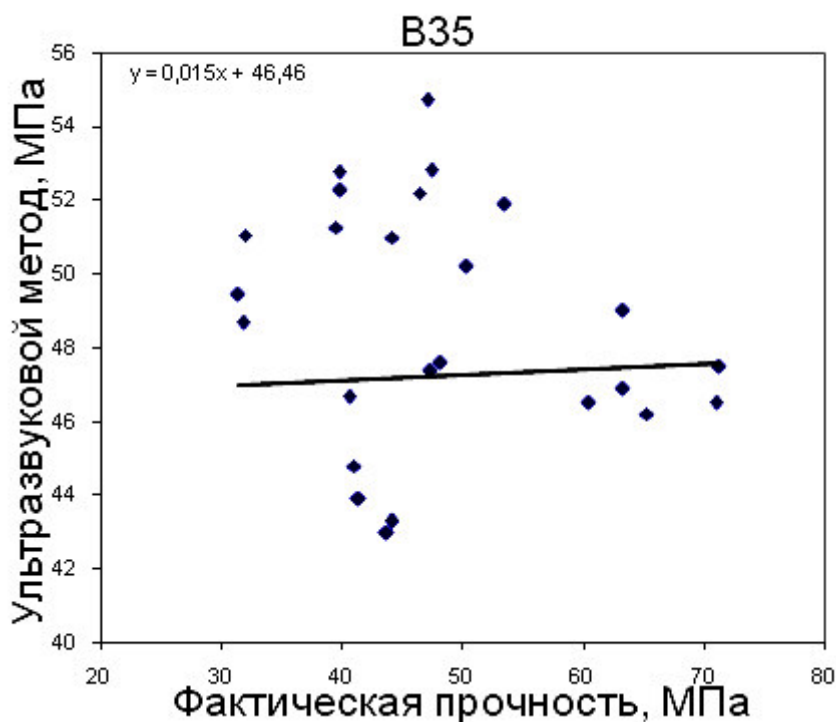


Рис. 7. Градуировочная зависимость для класса В35 (Пульсар-1.1)

Для оценки достоверности и применимости полученных градуировочных зависимостей рассчитывались коэффициент вариации и коэффициент корреляции для каждого изучаемого случая (табл. 3).

Таблица 3

Результаты расчета коэффициентов вариации и корреляции для полученных градуировочных зависимостей

Класс бетона	Коэффициент вариации, %	Коэффициент корреляции, r	Класс бетона	Коэффициент вариации, %	
				ИПС-МГ 4.03	Пульсар-1.1
В15	7,15	0,49	В15	14,2	0,76
В20	5,6	0,18	В25	9,5	0,48
В25	17,3	0,38	В35	10,3	0,04

Считается, что если коэффициент корреляции (статистический показатель зависимости двух и более случайных величин) меньше 0,7 или значение коэффициента вариации больше 15 %, то проведение контроля и оценка прочности по полученной зависимости не допускается.

Соответственно, все полученные градуировочные зависимости без корректировки применять не рекомендуется.

В дальнейшем согласно требованиям ГОСТ 22690-2015 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля» и ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» была произведена корректировка полученных градуировочных зависимостей и оценка их параметров. Корректировка связана с отбраковкой результатов испытаний при соблюдении условия

$$\frac{R_{in} - R_{i\phi}}{S} \leq 2,$$

где R_{in} – прочность бетона в i -м участке (образце), определенная по рассматриваемой градуировочной зависимости; $R_{i\phi}$ – прочность бетона в i -м участке (образце), определенная путем испытания прямым разрушающим методом образцов-кубов; S – остаточное среднеквадратическое отклонение.

В результате корректировки общее число результатов для построения градуировочных зависимостей не превышает 20.

Полученные градуировочные зависимости после корректировки приведены на рис. 8-13, а их параметры в табл. 4.

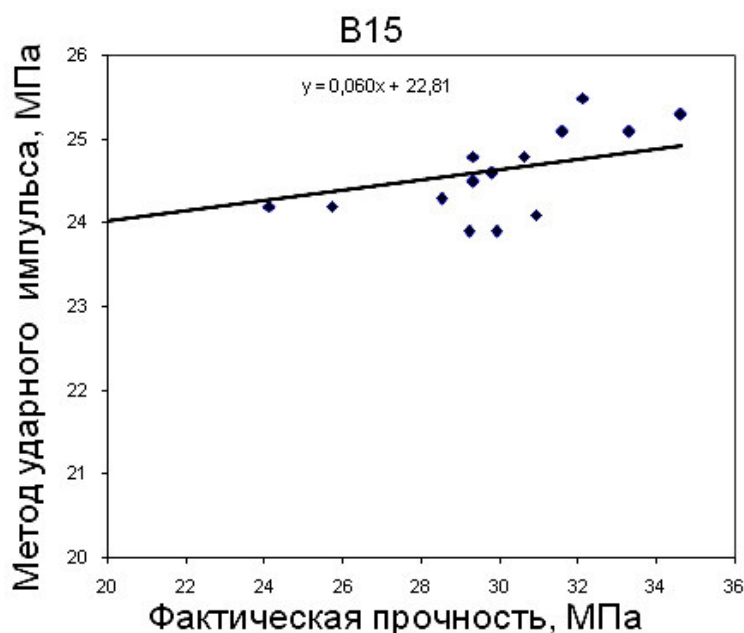


Рис. 8. Откорректированная градуировочная зависимость для класса В15 (ИПС-МГ 4.03)

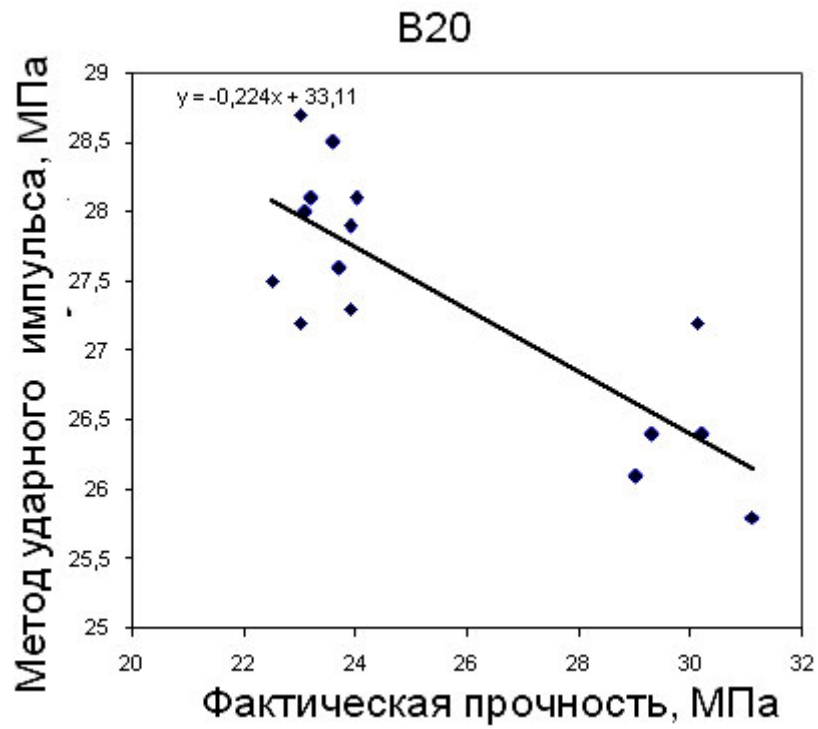


Рис. 9. Откорректированная градуировочная зависимость для класса В20 (ИПС-МГ 4.03)

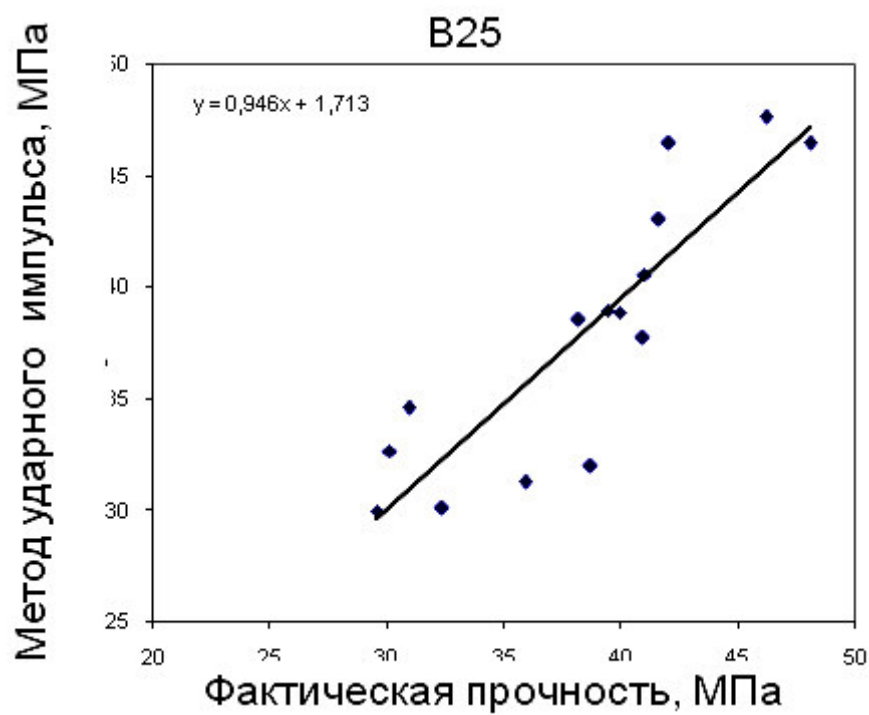


Рис. 10. Откорректированная градуировочная зависимость для класса В25 (ИПС-МГ 4.03)

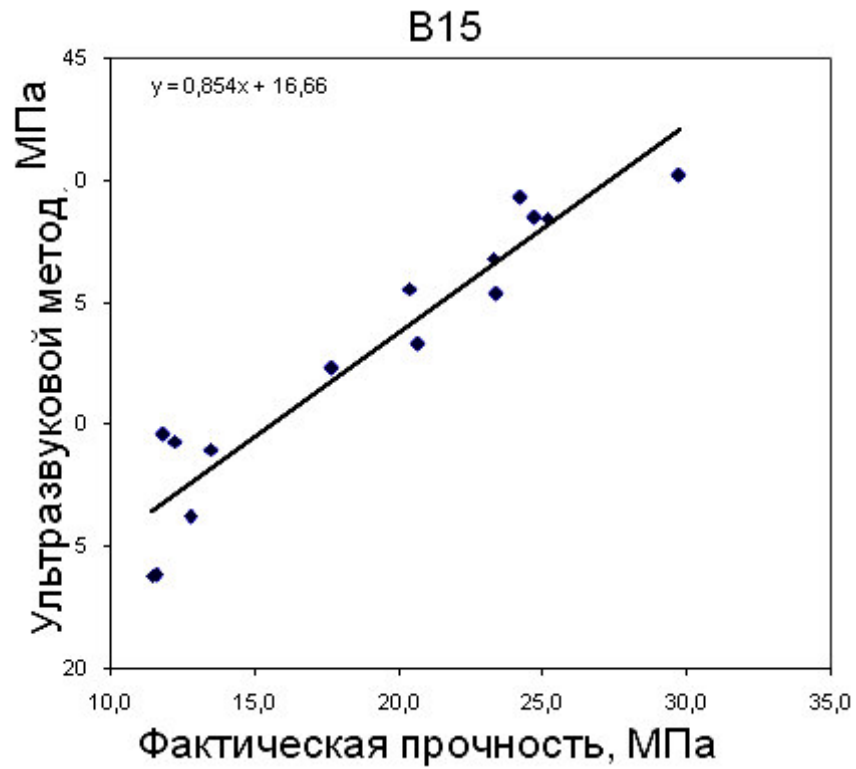


Рис. 11. Откорректированная градуировочная зависимость для класса В15 (Пульсар-1.1)

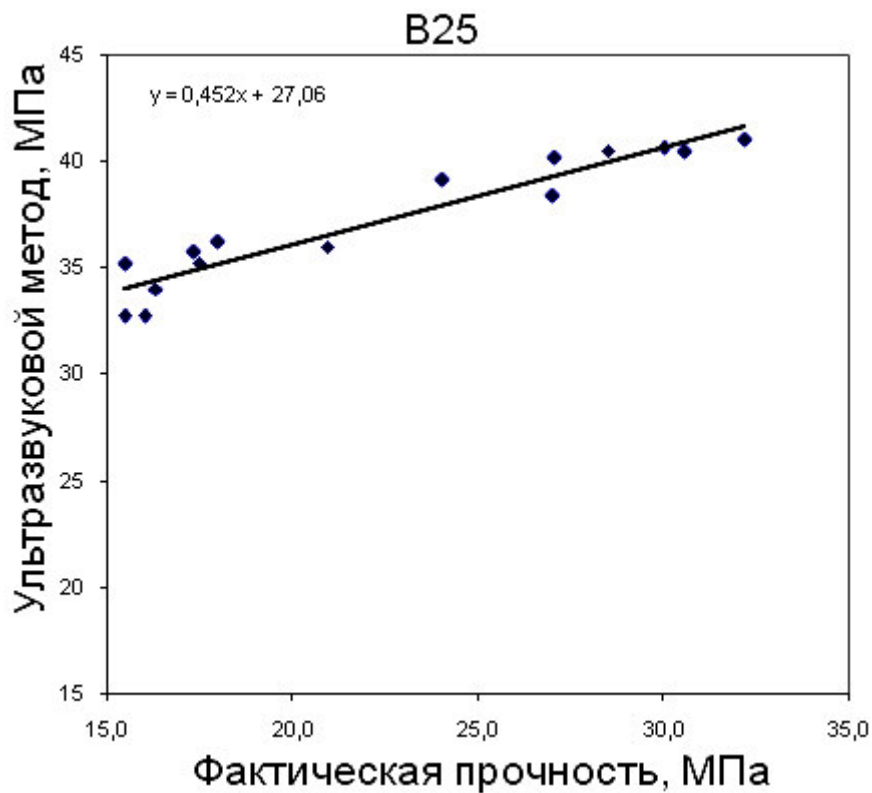


Рис. 12. Откорректированная градуировочная зависимость для класса В25 (Пульсар-1.1)

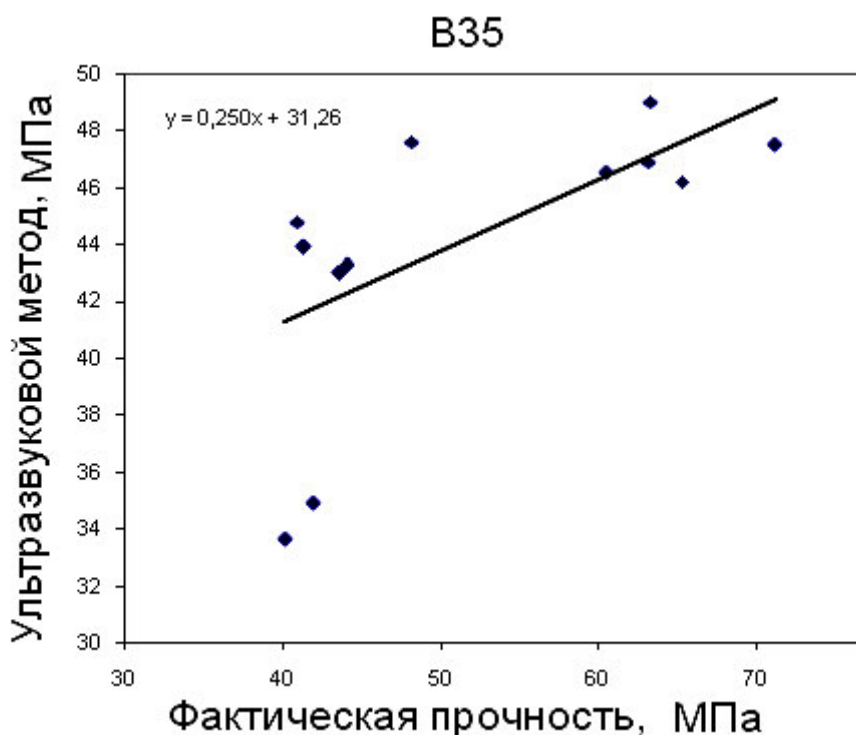


Рис. 13. Откорректированная градуировочная зависимость для класса В35 (Пульсар-1.1)

Таблица 4

Результаты расчета коэффициентов вариации и корреляции для откорректированных градуировочных зависимостей

Класс бетона	Коэффициент вариации, %	Коэффициент корреляции, r	Класс бетона	Коэффициент вариации, %	Коэффициент корреляции, r
	ИПС-МГ 4.03			Пульсар-1.1	
B15	2,0	0,47	B15	9,3	0,95
B20	3,2	0,82	B25	7,9	0,95
B25	16,0	0,87	B35	9,8	0,63

В зависимости от величины коэффициента корреляции можно сделать заключение о силе связи между фактической прочностью бетона и косвенной характеристикой прочности, исходя из следующего:

- если $0 < r < 0,2$, то практически нет связи;
- если $0,2 < r < 0,5$, то имеется слабая связь;
- если $0,5 < r < 0,75$, то имеется средняя связь;
- если $0,75 < r < 0,95$, то имеется сильная связь;
- если $0,95 < r < 1$, то имеется практически функциональная связь.

Соответственно для метода ударного импульса:

класс бетона В15 – слабая связь;

класс бетона В20 и В25 – сильная связь.

Для ультразвукового метода:

класс бетона В15 и В25 – функциональная связь.

класс бетона В35 – средняя связь.

Заключение. В ходе работы рассмотрена классификация способов оценки прочности бетонов. Проанализированы достоинства и недостатки прямых и косвенных методов оценки прочности. Построены и откорректированы градуировочные зависимости, связывающие фактическую прочность бетона на сжатие классов В15-В35 и косвенную характеристику прочности неразрушающими способами, использующими в качестве косвенной характеристики энергию удара и скорость ультразвука.

Более достоверными (точными) результатами являются данные, полученные ультразвуковым неразрушающим методом с помощью прибора Пульсар-1.1. Для изучаемых классов бетона В15, В25 и В35 имеется средняя или сильная функциональная связь.

Данные полученные методом ударного импульса (прибор ИПС-МГ 4.03) имеют большее расхождение от фактической прочности бетона. На наш взгляд это связано с тем, что приборы для анализа имеют большую чувствительность к качеству поверхности бетона. Данный метод может быть применен для бетонов высоких классов по прочности (В20 и В25) так как в этих случаях имеет место сильная связь. Метод ударного импульса не применим к бетонам низких классов по прочности (В15 и ниже), так как имеет место большой разброс полученных результатов.

Список литературы

1. Усачев А.М. Строительные материалы и изделия. Технология строительных конструкций и изделий: учеб. пособие / А.М. Усачев, С.М. Усачев; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. Воронеж, 2011. 252 с.
2. Балашак Ж.П., Гарнье В. Неразрушающий контроль и оценка строительных конструкций // Прочность конструкций в комплексе гражданского строительства. ISTE Press-Elsevier, 2018. 369 с.
3. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
4. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
5. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
6. ГОСТ 17624-2012. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
7. Зиновьев А.А., Лебедев Д.И., Мугаев С.А. Использование методов неразрушающего контроля прочности бетона при различных условиях его эксплуатации // Труды БрГУ. Серия: Естественные и инженерные науки. 2013. Т.2. С. 170-175.
8. Лещинский М.Ю., Скрамтаев Б.Г. Испытание прочности бетона. Изд.2, перераб. и доп. 1973. 272 с.
9. Неразрушающие методы испытаний бетонов Автор(ы): Р. Джонс, И. Фэкзоару Издательство: Стройиздат Год: 1974. 292 с.
10. Ляпидевская О.Б., Безуглова Е.А. Методы неразрушающего контроля прочности бетона. Сравнительный анализ российских и европейских строительных норм. Учебное пособие Издательство: МГСУ, 2014. 68 с.
11. Методы и средства неразрушающего контроля качества. Учебное пособие для вузов по специальности Физ. методы и приборы контроля качества / И.Н. Ермолов, Ю.Я. Останин. М.: Высшая школа, 1988. 367 с.
12. Коршунов Д.А. Зарубежный опыт неразрушающих испытаний бетонов. Бетон и железобетон, 1975. №3.

13. Статистический контроль прочности бетона неразрушающими методами. Бетон и железобетон, 1979, №11. С. 11-12.

14. Лермит Р. Проблемы технологии бетона. Пер. с фр. Изд. стереотип. URSS, 2017. 296 с.

15. Болотских О.Н. Европейские методы физико-механических испытаний бетона 2010. 148 с.

16. Неразрушающая оценка бетонных конструкций: надежность и пределы единичной и комбинированной техники. Государство-офис искусство доклад технического комитета RILEM 207-МНО Редакторы: Breysse, Denys (Ed.).

17. Невилл, А. М. свойства бетона: учебник/ А. М. Невилл. М.: Издательство литературы по строительству, 1972. 344 с.

References

1. Usachev, A.M., Building materials and products. Technology of building structures and products: studies. manual / A.M. Usachev, S.M. Usachev; Voronezh. state arch.-builds. Univ. Voronezh, 2011. 252 p.

2. Balayssac J.P., Garnier V. Non-destructive Testing and Evaluation of Civil Engineering Structures // Structures Durability in Civil Engineering Set ISTE Press Elsevier, 2018. 369 p.

3. GOST 18105-2010. Concretes. Rules of control and evaluation of strength.

4. GOST 10180-90. Concretes. Methods for determining the strength of the control samples.

5. GOST 22690-2015. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of non-destructive testing.

6. GOST 17624-2012. Concretes. Ultrasonic method of strength determination.

7. Zinov'ev A.A., Lebedev D.I., Bugaev A.S. the Use of methods of non-

destructive control of concrete strength under different conditions of its operation // proceedings of the BrSU. Series: Natural and engineering Sciences. 2013. Vol.2. P. 170-175.

8. Leshchinsky, M. Yu., the test of strength of concrete. Ed.2]. 1973. 272 p.

9. Non-destructive test methods of concrete Author(s): R. Jones, I. Facaoaru Publisher] Year: 1974. 292p.

10. Lyapidevskaya O.B., Bezuglova E.A. Methods of non-destructive testing of concrete strength. Comparative analysis of Russian and European building codes. Textbook Publishing house: MGSU, 2014.

11. Methods and means of non-destructive quality control [Text] : proc. manual for universities on special. Fiz. methods and instruments of quality control / I. N. Ermolov, Yu. Ya., Ostanin. M.: Higher school, 1988. 367p/

12. Korshunov D.A. foreign experience of non-destructive testing of concrete. Concrete and reinforced concrete, 1975, №3.

13. Statistical control of concrete strength by non-destructive methods. Concrete and reinforced concrete, 1979, №11, P.11-12.

14. Lhermitte R., Problems of concrete technology. Per. with FR. Ed.stereotype. URSS. 2017. 296 p.

15. Bolotsky O.N. European methods of physical and mechanical testing Beto-na, 2010. 148 p.

16. Non-Destructive Assessment of Concrete Structures: Reliability and Limits of Single and Combined Techniques State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 207-INR Editors: Breysse, Denys (Ed.), 2012.

17. Neville, A. M. Properties of concrete: textbook/ A. M. Neville. M.: Publishing house of literature on construction, 1972. 344 p.

Усачев Александр Михайлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Федорова Оксана Васильевна – магистрант группы М052 кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ, УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ
ПРОИЗВОДСТВ

УДК 69.059.642

**ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ФУНДАМЕНТОВ**

С.Н. Золотухин, В.И. Луганский, Н.Г. Назаренко, А.И. Демиденко,
К.В. Макарычев, М.И. Борисова, Е.А. Завалина, А.Д. Барабаш*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Золотухин Сергей Николаевич, E-mail: ua3qkc@mail.ru*

Статья посвящена возможности повторного использования железобетонных конструкций, образующихся при сносе зданий. Проведен анализ прочностных показателей железобетонных элементов каркаса с целью их повторного использования в качестве конструкции фундаментов и подпорных стен при новом строительстве малоэтажных зданий. Решаются проблемы утилизации строительного мусора без вывоза его на свалки ТБО. Резко снижается стоимость устройства фундаментов.

Ключевые слова: повторное использование конструкций, снос зданий, элементы здания, железобетонные конструкции фундаментов

**REUSE OF REINFORCED CONCRETE BUILDING ELEMENTS
IN FOUNDATION STRUCTURES**

S.N. Zolotukhin, V.I. Lugansky, N.G. Nazarenko, A.I. Demidenko,
K.V. Makarychev, M. I. Borisova, E.A. Zavalina, A.D. Barabash*

** Address for correspondence: Sergey N. Zolotukhin, E-mail: ua3qkc@mail.ru*

The article is devoted to the possibility of reuse of reinforced concrete structures formed during the demolition of buildings. The analysis of the strength parameters of reinforced concrete elements of the frame in order to reuse them as a construction of foundations and retaining walls in the new construction of low-rise buildings. Solved the problem of disposing construction debris without taking it to the dumps of solid waste. Sharply reduced the cost of foundations.

Keywords: reuse of structures, demolition of buildings, building elements, reinforced concrete foundation structures

Описание проблемы. Снос зданий и сооружений в настоящее время выполняется в связи с физическим износом отдельных конструкций, моральным старением зданий, дороговизной земли в центре крупных городов и т.п. Известно несколько способов сноса зданий. Первый, наиболее распространенный, когда здание подвергают варварскому обрушению без сохранения целостности как отдельных конструкций, так и строительных изделий и материалов с превращением их в строительный мусор (рис. 1).



Рис. 1. Варварский снос здания методом обрушения строительных конструкций

Полученный строительный мусор в последующем вывозится на свалки ТБО, загрязняя при этом территорию. Еще одним негативным фактором такого способа сноса зданий является строительная пыль, загрязняющая все вокруг, не только в момент сноса, но и при перевозке и в процессе хранения на свалках ТБО. Этот метод сноса из-за огромных объемов вывоза строительного мусора на свалки ТБО изжил себя.

Второй способ, так называемый «умный снос», предполагает разделение строительных материалов, изделий и конструкций на стадии разборки по видам материалов, фракциям и т.п. После сортировки каменные материалы, в том числе и железобетонные конструкции, оставшиеся после сноса, подвергаются дроблению с фракционированием полученных каменных материалов (рис. 2). Недостатком этого способа является дороговизна получаемых материалов, их низкая однородность и прочность. Последующее их использование требует специального обоснования. При этом основным потребителем такого материала становится в основном дорожная отрасль, где эти материалы используются для устройства насыпей, отсыпки откосов и т.п.



Рис. 2. Переработка бетона в щебень с его фракционированием на современном комплексе по дроблению («Умный снос»)

Третье направление сноса (метод поэлементной разборки) определяется документами [1,2], где разработаны основные правила демонтажа железобетонных конструкций. Однако из-за наличия омоноличенных узлов при демонтаже каркасных зданий в железобетонных конструкциях возникают повреждения в виде сколов, трещин, участков оголения и локального повреждения арматуры, которые не позволяют их повторное применение по своему прямому назначению (рис. 3, 4).



Рис. 3. Демонтаж здания методом поэлементной разборки



Рис. 4. Рациональный снос здания

В ходе постоянно проводящихся в последние годы исследований [3-10, 14-18], а также в рамках работ по национальным проектам «Экология» и «Доступное жильё», реализуемых сотрудниками инженерных специальностей ВГТУ, было замечено, что фактическая прочность бетона практически всех демонтированных строительных конструкций находится на достаточно высоком уровне и значительно превышает классы бетонов, используемых в новых строительных конструкциях, только что выпущенных с заводов железобетонных изделий. Этот факт позволил предположить и обосновать рациональность повторного применения ранее использованных железобетонных конструкций снесенных зданий и сооружений, в качестве конструкций фундаментов, стен подвалов, цокольных частей стен зданий.

Цель исследования: показать возможность рационального и эффективного повторного использования железобетонных конструкций зданий и сооружений старой постройки после их демонтажа в качестве конструктивных элементов фундаментов, конструкций цокольной части стен малоэтажных зданий.

Задачи исследования: на конкретных примерах показать возможность рационального использования различных железобетонных конструкций повторного применения при строительстве малоэтажных зданий, в качестве фундаментов, стен подвалов, цокольных элементов стен.

Основная часть. При регулярном проведении работ по обследованию и оценке технического состояния недостроенных и заброшенных зданий, расположенных в городе Воронеже и его ближайших пригородах, конструкции которых длительное время подвергались воздействию атмосферных и климатических воздействий, бывают ситуации, когда необходимо принимать решение о демонтаже конструкций.

Для определения возможности повторного использования элементов

железобетонных конструкций, например, после демонтажа конструкций каркаса промышленного многоэтажного здания сотрудниками кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов им. проф. Ю.М. Борисова были проведены инструментальные исследования прочностных показателей бетона.

Прочность бетона в несущих железобетонных конструкциях определялась методом ударного импульса. Испытаниям были подвергнуты железобетонные колонны, ригели, плиты перекрытия и покрытия. Участки испытания бетона при определении прочности располагались:

- в местах наименьшей прочности бетона, предварительно определенной визуальным методом;
- в зонах конструкций, определяющих их несущую способность;
- в местах, имеющих дефекты и повреждения, которые могут свидетельствовать о пониженной прочности бетона.

При использовании метода ударного импульса на каждом обследуемом элементе контролировалось по два участка. На каждом участке производилось не менее 10-и измерений путем нанесения удара перпендикулярно наружной поверхности в местах, где вблизи нет арматуры диаметром больше 12 мм. Места для измерений, свободные от арматуры, выбирались с помощью прибора ИПА-МГ4.

По результатам проведенных измерений контроля прочности бетона различных конструкций была проведена статистическая обработка результатов. В ходе статистической обработки был выполнен расчет класса бетона по прочности на сжатие. Расчет класса бетона был выполнен с использованием трех различных методик.

Методика 1 [11]. Расчет класса бетона по прочности на сжатие выполнен по формуле:

$$B=Rm*(1-tl*V).$$

Все обозначения в формуле приняты по п. 3.2 [11].

Методика 2 [12]. Расчет класса бетона по прочности на сжатие выполнен по формуле:

$$B=Rm/Kt.$$

Коэффициент требуемой прочности Kt принимался по таблице 4 [12].

Методика 3 [13]. Расчет класса бетона по прочности на сжатие выполнен по формуле

$$B=Rm*0.8.$$

Промежуточные и окончательные результаты проведенной статистической обработки измерений прочностных показателей бетона строительных конструкций, после их демонтажа приведены в таблице. За окончательное значение класса бетона принималось минимальное значение из трех полученных по выше приведенным формулам, округленное до целого.

Результаты определения класса бетона по прочности

№ п.п.	Наименование конструктивного элемента	R[i] МПа	$\frac{M}{\text{кг/см}^2}$ Rm МПа	Sm	V%	ta	$\frac{d}{\text{МПа}}$ (d%)	$\frac{B1}{B2}$ $\frac{B3}{B3}$	B
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Железобетонная колонна (n=20)	37.1 37.7 38.6 42.8 38.2 35.6 36.6 32.6 38.8 38.7 37.7 32.3 34.7 38.7 40.2 35.9 37.8 38.8 35.9 35.3	$\frac{375}{37.5}$	3.02	8.5	1.72	$\frac{0.47}{(5\%)}$	$\frac{25.8}{25.64}$ 25.73	26

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Железобетонная колонна ($n=20$)	36.1 37.4 38.2 30.7 37.2 37.3 37.9 30.8 39.3 35.1 39.5 38.8 34.7 39.5 32.7 35.7 36.6 33.7 31.2 36.2	$\frac{361}{36.1}$	3.20	9.4	1.73	$\frac{0.42}{(5\%)}$	$\frac{25.3}{24.74}$ 24.83	25
3	Железобетонная колонна ($n=20$)	31.4 33.4 36.1 33.5 32.2 35.8 38.8 31.8 35.8 37.7 38.3 37.6 34.7 35.2 32.4 30.7 31.8 32.6 33.2 34.0	$\frac{354}{35.4}$	2.53	7.8	1.71	$\frac{0.37}{(4\%)}$	$\frac{26.6}{27.4}$ 26.5	27
4	Железобетонный ригель покрытия ($n=20$)	41.2 47.9 46.2 42.6 46.9 43.1 48.0 46.9 42.2 49.0 48.0 42.0 43.0 47.1 48.0 44.2 41.8 42.4 44,6 44,1	$\frac{461}{46.1}$	3.11	7.2	1.73	$\frac{0.31}{(3\%)}$	$\frac{35.9}{35.8}$ 36.7	36
5	Железобетонный ригель перекрытия ($n=20$)	45.9 45.6 44.3 51.7 44.9 49.3 43.6 54.0 50.9 45.9 49.8 44.6 43.7 47.8 42.1 44.8 45.8 43.8 46.9 47.0	$\frac{463}{46.3}$	3.54	7.5	1.71	$\frac{0.34}{(3\%)}$	$\frac{34.8}{35.2}$ 34.9	35

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Ребристая железобетонная плита перекрытия ($n=20$)	20.4 19.4 19.4 23.5 21.2 21.9 22.9 20.2 23.2 23.3 23.9 23.0 20.3 19.2 19.1 17.4 18.1 20.5 17.3 18.4	$\frac{206}{20.6}$	2.131	10.3	1.73	$\frac{0.82}{(4\%)}$	$\frac{16.96}{16.71}$ $\frac{16.71}{17.15}$	17
7	Ребристая железобетонная плита ($n=20$)	21.1 22.1 24.7 21.7 22.6 19.4 21.2 21.6 23.0 19.7 24.2 17.4 23.8 18.9 18.9 19.8 24.3 23.2 23.6 20.6	$\frac{216}{21.60}$	2.31	9.7	1.73	$\frac{0.89}{(4\%)}$	$\frac{17.60}{17.31}$ $\frac{17.31}{17.83}$	17
8	Железобетонная колонна ($n=10$)	36,4 35,5 34,5 37,5 37,1 37,5 36,2 39,5 36,0 39,7	$\frac{364}{36,489}$	1,649	4,5	1,83	$\frac{1,01}{(3\%)}$	$\frac{33,48}{29,19}$ $\frac{29,19}{33,8}$	29
9	Железобетонная колонна ($n=10$)	36,9 35,7 28,4 34,5 30 35,9 33,2 37,4 28,3 34,6	$\frac{340}{34}$	3,267	9,6	1,86	$\frac{2,15}{(6\%)}$	$\frac{27,93}{27,2}$ $\frac{27,2}{28,65}$	27

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Железобетонный ригель покрытия (n=15)	36 34.2 34.3 36.3 36.7 34.9 35.2 35.6 35.7 36.3 34.5 35.6 36.3 34.8 35.6	<u>354</u> 35.467	0.79	2.2	1.75	<u>0.36</u> (1%)	<u>34.1</u> <u>28.37</u> 34.19	28
11	Железобетонная плита покрытия (n=10)	33,1 25,9 36,7 34,4 28,5 31,1 34,4 33,8 35,4 31,8	<u>322</u> 32,237	3,543	11	1,86	<u>2,33</u> (7%)	<u>25,64</u> <u>25,79</u> 26,42	25
12	Железобетонная плита покрытия (n=10)	37,6 44,6 33,5 36,8 36,2 36,8 34,1 40 35,1 39	<u>374</u> 37,45	4,461	11,9	1,86	<u>2,93</u> (8%)	<u>29,16</u> <u>29,96</u> 30,14	29
13	Железобетонная плита перекрытия (n=8)	36,9 35,7 28,4 34,5 30,0 35,9 33,2 37,4	<u>340</u> 34	3,267	9,6	1,86	<u>2,15</u> (6%)	<u>27,93</u> <u>27,2</u> 28,65	27
14	Железобетонная плита перекрытия (n=10)	33.7 30.6 27.2 36.6 25.9 36.2 28.4 32.2 30.9 35.6	<u>344</u> 34,4	3.419	10.8	1.73	<u>1.32</u> (4%)	<u>25.76</u> <u>25.34</u> 26.06	25

Приведенные в таблице итоговые значения классов бетона конструкций, показывают, что при отсутствии значительных коррозионных повреждений арматуры в этих конструкциях, они могут повторно использоваться в качестве несущих конструкций малоэтажных зданий.

Решение описанной проблемы и инновационность разработки.
Проект посвящен разработке безотходной технологии сноса зданий (рис.3-

4), сооружений и устройства фундаментов малоэтажных зданий и сооружений, включающей повторное использование железобетонных конструкций (рис. 5-9). По данной тематике были проведены исследования [3-9], в 2018 году получен патент на изобретение [10]. В описании изобретения к патенту доказана новизна и эффективность предлагаемых технических решений, приведены детально разработанные технология возведения и чертежи конструктивных решений сборно-монолитных фундаментов.

Технология разработана и апробирована нами на строительстве малоэтажных объектов г. Воронежа и области. В настоящее время по этой технологии построены десятки зданий (небольшой физкультурный центр, частные магазины, жилые дома малой этажности, частные гостиницы высотой до 3-х этажей, надворные постройки). Фотографии процесса возведения фундаментов отдельных строительных объектов приведены на рис. 5-9.

Стоимость 1 м³ фундамента построенных зданий колеблется в районе 3,5 тыс. рублей, что в 3-5 раз ниже цен на строительство по обычным технологиям.



Рис. 5. Устройство здания из ранее использованных железобетонных колонн



Рис. 6. Устройство плитного фундамента из ранее использованных железобетонных конструкций на местности с высоким уровнем грунтовых вод



Рис. 7. Устройство стенчатого фундамента из ранее использованных железобетонных ребристых плит

В некоторых случаях, при необходимости, отдельные конструкции могут быть обрезаны до нужных размеров, с использованием современного оборудования (рис. 9).



Рис. 8. Устройство стен подвала из ранее использованных железобетонных плит



Рис. 9. Разрезка железобетонных плит под необходимые размеры

Описание базовой технологии

Технология предполагает следующие этапы:

- осмотр зданий специалистами на предмет оценки способов их рационального сноса с выдачей рекомендаций;

- проведение экспресс анализа остаточных сроков службы однотипных групп строительных конструкций с использованием «экспертных методов» прогноза [9, 14-18];

- принятие решения о возможности повторного использования отдельных групп однотипных демонтируемых конструкций;

- инженерный надзор за сносом и сортировкой образующихся строительных материалов и конструкций;

- определение физико-механических и экологических характеристик материалов, образовавшихся в результате разборки зданий;

- проектирование и строительство конструкций фундаментов малоэтажных зданий, с применением ранее использованных строительных материалов и конструкций.

Заключение. Снос зданий по технологиям, распространенным в настоящее время в России, экономически и экологически нецелесообразен. В отличие от широко известных технологий предлагаемая нами разработка по демонтажу зданий и строительства малоэтажных домов является безотходной и позволяет:

- решить экологические проблемы утилизации железобетонных колонн, ригелей, ребристых плит, имеющие дефекты, трещины, сколы, начавшуюся коррозию арматуры, за счет их повторного использования в конструкциях фундаментов без вывоза их на свалки ТБО;

- снизить сроки устройства фундаментов;

- резко снизить материалоемкость и стоимость устройства фундаментов малоэтажных зданий и сооружений;

- повысить качество выполняемых работ из-за использования плит заводского изготовления, отсутствия необходимости в установке дорогостоящей опалубки и высококвалифицированных специалистов на строительной площадке.

Список литературы

1. ВСН 39-83(р). Инструкция по повторному использованию изделий, оборудования и материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве/ Госгражданстрой. М.: Стройиздат, 1985. 32 с.
2. СП XXX.1325800.2016. Здания и сооружения. Правила производства при демонтаже и утилизации. (Проект). М., 2016. 57 с.
3. Сова Н.С., Алирзаев И.Ш. Применение систематизированных табличных форм в техническом обследовании зданий и сооружений//Научный вестник ВГАСУ. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». 2010. №1. С. 93-95
4. Сова Н.С., Алирзаев И.Ш. Методика применения систематизированных табличных форм в техническом обследовании зданий и сооружений // Строительная механика и конструкции. 2011. № 2. С. 107-116.
5. Золотухин С.Н., Гайкалов А.Н., Куджику Т. Опыт строительства малоэтажных энергоэффективных зданий // Материалы 15-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». 2012. С. 169-173.
6. Золотухин С.Н., Золотухина М.С. Использование отходов строительных материалов в дизайне спортивно-оздоровительного комплекса // Материалы 14-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». 2011, С. 58-63.
7. Золотухин С.Н., Лобосок А.С. Повторное использование строительных материалов и отходов производства в малоэтажном строительстве // Материалы 14-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». 2011. С. 63-67.
8. Золотухин С.Н., Сысоева Е.В. Вопросы энергосбережения при выборе конструктивных схем каркасов многоэтажных зданий г. Воронежа // Материалы 13-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». 2010. С. 148-150.

9. Шмелев Г.Д., Головина Н.В. Ретроспективное прогнозирование технического состояния строительных конструкций // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. 2017. №3. С.93-108.

10. Патент РФ RU 2671 019 С1. Способ возведения стенчатого фундамента с использованием ребристых плит перекрытий (покрытий) / Колодяжный С.Н., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Кукина О.Б., Вязов А.Ю., Лобосок А.С., Милованова В.И. Заявл. №2017118843, 30.05.2017; опубл. 29.10.2018, Бюл. № 31, 19 с.

11. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М., Госстрой России. 2011. 43 с.

12. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. М., Стандартинформ. 2018. 12 с.

13. СП 63.13330.2012. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М., Минрегион России. 2012. 157 с.

14. Шмелев Г.Д. Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу // *Строительство и реконструкция*. 2014. № 3 (53). С. 31-39.

15. Шмелев Г.Д., Головина Н.В. Прогнозирование надежности и остаточного ресурса строительных конструкций с использованием метода линеаризации в условиях ограниченной статистической информации // *Сборник научных трудов SWorld*. 2012. Т.6, № 4. С. 100-107.

16. Shmelev, G.D. Express evaluation of the probability of unforgettable work of construction structures / G.D. Shmelev, A.N. Ishkov // В сб. *European Scientific Conference победителей IV Международной научно-практической конференции*: в 3 ч., 2017. С. 41-43.

17. Шмелев Г.Д., Федотова М.И. Использование случайных функций и процессов в комбинированной интегральной методике прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2017. № 1 (39). С. 128-137.

18. Shmelev G D Complex methodology of the calculated substantiation of the residual resource of construction structures // World science: problems and innovations: сборник статей XI международной научно-практической конференции. в 2 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение». 2017. С. 79-81.

Reference

1. ВСН 39-83 (п). Instruktsiya po povtornomu ispolzovaniyu izdeliy, oborudovaniya i materialov v zhilishno-kommunalnom hozyaystve [Instructions for the reuse of products, equipment and materials in housing and communal services]. Gosgrazhdanstroi. M.: Stroizdat, 1985. 32 p. (in Russian)

2. SP XXX.1325800.2016. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila proizvodstva pri demontazhe i utilizatsii. [Buildings and constructions. Production rules for dismantling and disposal]. Moscow, 2016. 57 p. (in Russian).

3. Sova N.S., Alirzaev I.Sh. [The use of systematized tabular forms in the technical inspection of buildings and structures]. Nauchnyiy vestnik VGASU. Materialyi mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Vyisokie tehnologii v ekologii» [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Materials of the interregional scientific-practical conference «High technologies in ecology»], 2010. no 1. P. 93-95. (in Russian).

4. Sova N.S., Alirzaev I.Sh. [Methods of using systematized tabular forms in the technical inspection of buildings and structures]. Stroitel'naya mehanika i konstruksii [Building mechanics and structures], 2011. no. 2, P. 107-116 (in Russian).

5. Zolotukhin S.N., Gaikalov A.N., Kujaku T. [Experience in the construction of little-storey energy efficient buildings]. Materialyi 15-oy mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Vyisokie tehnologii. Ekologiya», VGASU [Proceedings of 15-th interregional scientific-practical conference «High technologies. Ecology» VSUACE]. Voronezh, 2012, P. 169-173 (in Rus-

sian).

6. Zolotukhin S.N., Zolotukhina M.S. [The use of waste building materials in the design of sports and recreation complex]. Materialy 14-oy mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Vyisokie tehnologii. Ekologiya», VGASU [Materials of the 14th interregional scientific and practical conference «High technologies. Ecology» VSUACE]. Voronezh, 2011, P. 58-63 (in Russian).

7. Zolotukhin S.N., Lobanok A.C. [Reuse of building materials and waste production in low-rise construction]. Materialy 14-oy mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Vyisokie tehnologii. Ekologiya», VGASU [Proceedings of 14-th interregional scientific-practical conference «High technologies. Ecology», VSUACE]. Voronezh, 2011, P. 63-67 (in Russian).

8. Zolotukhin S.N., Sysoeva E.V. [Questions of energy saving at the choice of constructive schemes of frameworks of multi-storey buildings of Voronezh] Materialy 14-oy mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Vyisokie tehnologii. Ekologiya», VGASU [Materials of the 13th interregional scientific and practical conference «High technologies. Ecology», VSUACE]. Voronezh, 2010, P 148-150 (in Russian).

9. Shmelev G.D. Golovina N.V. Retrospective forecasting of the technical condition of building structures // Housing and Communal Infrastructure, 2017, no 3, P.93-108 (in Russian).

10. Kolodyazhny S.N., Zolotukhin S.N., Abramenko, A.A., Kukina O.B., Vyazov A.Y., Lobosok A.S., Milovanova V.I. Sposob vozvedeniya stenchatogo fundamenta s ispolzovaniem rebristyyih plit perekryitiy (pokryitiy) [The method of construction sanatoga Foundation using ribbed slabs (surfaces)]. Patent RF, no. 2671 019 C1, 2018 (in Russian).

11. SP 13-102-2003. Pravila obsledovaniya nesuschikh stroitel'nykh konstrukciy zdaniy i sooruzheniy [Set of rules 13-102-2003. The rules for inspection of supporting building structures of buildings and structures]. Moscow, Gosstroy of Russia, 2011. 43 p. (in Russian).

12. GOST 18105-2010. Betony. Pravila kontrolya i ocenki prochnosti [State Standard 18105-2010. Concretes. Rules of control and evaluation of strength]. Moscow, Standardinform Publ., 2018. 12 p. (in Russian).

13. SP 63.13330.2012. SNiP 52-01-2003. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya. [Set of rules 63.13330.2012. Building regulations 52 - 01 - 2003. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions]. Moscow, Ministry of Regional Development of Russia, 2012. 157 p. (in Russian).

14. Shmelev G.D. [Expert method for predicting the residual life of building structures according to their physical deterioration]. Stroitel'stvo i rekonstrukciya [Construction and Reconstruction], 2014. № 3 (53), P. 31-39 (in Russian).

15. Shmelev G.D., Golovina N.V. [Prediction of reliability and residual life of building structures using the linearization method in conditions of limited statistical information]. Sbornik nauchnyh trudov SWorld [Collected scientific works of SWorld], 2012, vol. 6, № 4, P. 100-107. (in Russian).

16. Shmelev, G.D. Express evaluation of the probability of unforgettable work of construction structures / G.D. Shmelev, A.N. Ishkov // In Sat. European Scientific Conference of the winners of the IV International Scientific and Practical Conference: at 3 part, 2017. P. 41-43.

17. Shmelev G.D., Fedotova M.I. [The use of random functions and processes in the combined integrated method of predicting the residual life of building structures]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta [News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2017, no 1 (39). P. 128-137 (in Russian).

18. Shmelev G.D. Complex methodology of the calculated substantiation of the residual resource of construction structures // World science: problems and innovations.: In 2 hours. Part 1. Penza: ICNS «Science and Enlightenment», 2017. With. P.79-81.

Золотухин Сергей Николаевич – канд. техн. наук, профессор кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Луганский Владимир Иосифович – канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Назаренко Николай Григорьевич – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Демиденко Александр Иванович – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Макарычев Константин Владимирович – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Борисова Марина Ивановна – ассистент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Завалина Елена Александровна – старший преподаватель кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения Воронежского государственного технического университета

Барабаш Андрей Дмитриевич – аспирант кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ШЛАМ-ЛИГНИНА
ИЗ КАРТ-НАКОПИТЕЛЕЙ БАЙКАЛЬСКОГО
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО КОМБИНАТА С ГАШЕНОЙ
ИЗВЕСТЬЮ КАК СПОСОБ ЕГО УТИЛИЗАЦИИ**

*О.Б. Рудаков¹, В.И. Щербаков¹, О.Б. Кукина¹, Я.О. Рудаков¹,
К.Н. Стрункина²*

¹*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

²*Воронежский государственный университет, Российская Федерация,
394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1*

**Адрес для переписки: Рудаков Олег Борисович, E-mail: robi57@mail.ru*

В статье рассмотрено взаимодействие шлам-лигнина Байкальского целлюлозно-бумажного комбината с негашеной известью как эффективный способ его дезодорации и обезвоживания. Негашеная известь, введенная в шлам-лигнин в количестве 15-20%, нейтрализует его в течение 8-15 дней. СаО связывает летучие серосодержащие компоненты, органические функциональные группы и воду. Рассмотренный способ позволяет эффективно снизить неприятный запах до уровня 2-3 балла по 5-балльной шкале и на 45-50 % влажность образующегося продукта, придавая ему вид сыпучего порошка, удобного для транспортировки и дальнейшего использования. Такая технология утилизации отличается простым аппаратным оснащением и применением недорогого химического реагента. Высокая экономическая эффективность способа делает его перспективным для решения экологических проблем Байкальского целлюлозно-бумажного комбината.

Ключевые слова: озеро Байкал, Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат, шлам-лигнин, утилизация отходов, негашеная известь, экология

DISPOSAL METHOD OF SLUDGE-LIGNIN (WASTE OF THE BAIKAL PULP AND PAPER COMBINE) BY INTERACTING WITH QUICKLIME

*O.B. Rudakov¹, V.I. Shcherbakov¹, O.B. Kukina¹, Y.O. Rudakov¹,
K.N. Strunkina²*

¹*Voronezh state technical University,
Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktyabrya, 84*

²*Voronezh state University,
Russian Federation, 394018, Voronezh, University square, 1*

** Address for correspondence: Rudakov Oleg Borisovich, E-mail: robi57@mail.ru*

The article describes the method of deodorization and dehydration of the sludge-lignin of the Baikal Pulp and Paper Combine by its interaction with quicklime. The addition of quicklime to sludge-lignin in the amount of 15-20% neutralizes it within 8-15 days. CaO binds volatile sulfur-containing components, organic functional groups and water. The considered method allows to effectively reduce unpleasant odor to the level of 2-3 points (on a 5-point scale) and decrease the moisture content of the resulting product by 45-50%. Such processing turns the product into a free-flowing powder, which is convenient to transport and further use. This recycling technology is characterized by simple instrumentation and the use of an inexpensive chemical reagent. The high economic efficiency of the method makes it promising for solving environmental problems of the Baikal Pulp and Paper Combine.

Keywords: Lake Baikal, Baikal Pulp and Paper Combine, sludge-lignin, waste disposal, quick lime, ecology

Введение. Несмотря на меры, предпринимаемые по спасению Байкала, экологическая ситуация на этом уникальном природном объекте за последние 2-3 года ухудшилась. Об этом говорится в материалах Счетной палаты (СП) по итогам проверки выполнения Федеральной целевой программы (ФЦП), на реализацию которой в 2015-2018 годах было выделено 8,4

млрд. руб. Как отмечено в докладе СП, в регионе не решена проблема утилизации мусора и его вывоза непосредственно из района озера. Открыты 3 новых полигонов, но они до сих пор бездействуют. На их создание из федерального бюджета было потрачено более 232 млн. руб. В Иркутской области и Бурятии предприятий по переработке твердых коммунальных отходов. Но более всего вызывает озабоченность то, что, согласно выводам СП, результаты работы местных властей по устранению негативного влияния отходов с Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) неудовлетворительны. В период с 2013 по 2016 гг. на эти цели из бюджета было выделено около 3 млрд. руб., впоследствии эта сумма была возвращена в казначейство. Было истрачено только 131 млн. руб. на разработку плана по утилизации отходов, образованных при деятельности БЦБК. Этот план мероприятий не был реализован по ряду причин. Основной причиной неисполнения ФЦП в части утилизации отходов БЦБК стало ошибочное проектное решения рекультивации. «Несмотря на то, что за 2015-2017 гг. и 9 месяцев 2018 г. государственные заказчики Программы израсходовали на ее реализацию 8,4 млрд. рублей, экологическая обстановка в районе озера Байкал не только не улучшилась, но продолжает ухудшаться, что создает риски недостижения целей ФЦП», – говорится в официальном сообщении. В частности, в СП обратили внимание на то, что из 9 показателей ФЦП в 2015 г. не были достигнуты 6, а в 2017 г. – 4. Причиной сложившегося положения дел в СП назвали несоблюдение сроков ввода в эксплуатацию объектов, предусмотренных ФЦП. В апреле 2018 г. руководством страны было принято решение, что ФЦП «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории» будет продлена до 2026 г.

Таким образом, самая большая экологическая проблема, доставшаяся Иркутской области в наследство от закрытого в 2013 г. БЦБК является миллионнотонное количество отходов в специально построенных для их хранения картах-накопителях, а также загрязнения почвы вокруг комбината.

Основные отходы комбината – это шлам-лигнин (ШЛ). Он образуется в процессе сульфатного производства целлюлозы и представляет собой вязкую бурю массу. Высушенный сульфатный лигнин представляет собой порошок коричневого цвета. Размер частиц лигнина в интервале от 10 мкм до 5 мм. ШЛ состоит из пористых сферических частиц и их комплексов с удельной поверхностью до 20 м²/г. Сульфатный лигнин имеет плотность 1300 кг/м³. Он растворим в водных растворах NH₃ и щелочах. В сульфатном лигнине промышленной выработки в среднем содержится (%): золы – 1,0÷2,5, кислоты в расчете на серную кислоту – 0,1÷0,3, водорастворимых веществ – 9, смолистых веществ – 0,3÷0,4, и собственно лигнина (лигнин Класона) – около 85%. В сульфатном лигнине присутствует сера, массовое содержание которой составляет – 2,0÷2,5%. Термическая обработка, начиная с температуры 190 °С, сульфатного лигнина вызывает его разложение, в результате которого образуются летучие вещества. Сульфатный лигнин не отличается высокой токсичностью, однако при его хранении в картах-накопителях образуется целый букет дурнопахнущих летучих продуктов. ШЛ – это осадок, образующийся при очистке сточных вод комбината, в котором наряду с «чистым» лигнином находится много примесных компонентов. По составу ШЛ представляет собой лигноидные вещества – 50-53 %; активный ил – 15-25 %; глинозем – 5-10 %; полиакриламид – 5 %; целлюлозное волокно – 5 % [6]. В настоящее время по оценкам экспертов в картах-накопителях шлам-лигнина БЦБК хранится от 6 до 8 млн. м³.

Лигнин в химическом отношении является весьма реакционноспособным. Особенностью химического поведения лигнина является значительная роль реакций сшивания цепей. Высокой реакционной способностью лигнина объясняются легко протекающие реакции конденсации с образованием новых углерод-углеродных связей и возрастанием молекулярной массы. У лигнина особенно ярко проявляется характерное свойство гетерополимеров – одновременное протекание реакций нескольких типов. Разработка приемлемых решений утилизации сульфатного лигнина опреде-

ляется особенностью его химической природы, наличием большого числа различных структурных звеньев, сложным составом функциональных групп.

Цель данной научно-исследовательской работы – разработка эффективного и экономичного способа дезодорации и перевода в сыпучее состояние ШЛ – отхода БЦБК.

Ее актуальность заключается в отсутствии на данный момент экономической технологии, позволяющей дезодорировать и одновременно перевести в твердую фазу шлам-лигнин – отход целлюлозно-бумажной продукции БЦБК вблизи озера Байкал для последующей его утилизации. Это позволит найти решение проблемы утилизации крупнотоннажных промышленных отходов. При этом следует учитывать, что БЦБК находится в зоне повышенной сейсмической активности, и любая техногенная авария или природная катастрофа может привести к разрушению карт-накопителей. При прорыве дамб и попадании колоссального количества токсичных отходов в озеро Байкал произойдет экологическая катастрофа.

В качестве прототипа такой технологии предложено использование доступного и сравнительно дешевого нейтрализующего компонента – негашеной извести, что позволило бы исключить сложное технологическое оборудование для обработки ШЛ непосредственно вблизи карт-накопителей.

В научно-технической периодической литературе и интернет-источниках данные о переработке отходов, подобных шлам – лигнину многочисленны [1-10]. Это объясняется тем, что его состав вариативен, в него входит большое количество разных органических и неорганических веществ, и в его гетерогенной матрице протекают сложные химические и физические процессы.

Одной из острых экологических проблем г. Байкальска и БЦБК является тот факт, что за примерно 40 лет на БЦБК накоплено несколько млн. т отходов производства, которые захоронены в 14 картах 2 полигонов общей

площадью 154 га (Солзанский и Бабхинский), которые находятся на расстоянии 350-750 м от берега о. Байкал. Отходы включают в себя ШЛ, золу от сжигания ШЛ, золу и шлаки от сжигания угля, золу корьевых котлов, в составе которых находится большое количество различных неорганических и органических веществ. БЦБК в г. Байкальске был остановлен в ноябре 2013 г.

В картах-накопителях (КН) протекают сложные физические, химические, биологические процессы, в результате которых поллютанты попадают в о. Байкал с подземными и паводковыми водами. Существует вероятность разрушения карт-накопителей в результате землетрясений и схода селевых потоков. Попадание накопленной массы отходов в о. Байкал будет, безусловно, экологической катастрофой, что обуславливает необходимость ликвидации хранилищ отходов производства БЦБК[4], в том числе переработкой для дальнейшего использования.

Таблица 1

Заполнение карт Байкальского ЦБК (на 01.01.2017 г.) [4]

№ КН	S КН, м ²	Проектная емкость, тыс. м ³	Фактический объем заполнения, тыс. м ³			Общий V заполнения карт тыс. м ³	% Заполнения
			Надшламовая вода тыс. м ³	Золошлаковые отходы тыс. м ³	ШЛ тыс. м ³		
1	107	350	64	-	261	326	93
2	89	240	1,6	-	233	235	98
3	91	240	2,7	-	232	235	98
4	124	392	5	91,1	288	384	98
5	106	488	3,2	77,9	397	478	98
6	105	328	31	77,9	213	321	98
7	144	542	172,5	105,6	253	531	98
8	146	662	648,8	-	44	693	105
9	153	546	535,1	-	60	595	109
10	85	276	270,5	-	60	331	120
11	80	500	87,9	402,1	-	490	98
13	116	750	23,2	711,8	-	735	98
14	115	750	241,1	478,4	-	720	96
итого	1461	6064	2088,1	1944	2043	6075	100

Схема размещения отходов производства БЦБК. Бабхинский полигон отходов площадью 30 га (КН № 12, 13, 14). Зола и шлам зеленого щелока. Полигон не рекультивирован. Карта №12 сейчас – полигон ТКО. (см. рис. 1).[6]. КН № 11 на промплощадке: зола и шлам зеленого щелока. Не рекультивирована. (рис. 1). [6]. Солзанский полигон отходов (КН № 1-10), общей площадью 124 га. Не рекультивированы (КН № 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10) (рис. 3) [6]. КН № 4, 5 – рекультивация послойным заполнением золой ТЭЦ в летнее время (рис.1) [6]. КН № 1 – проведена рекультивация строительными отходами (рис. 1) [6].

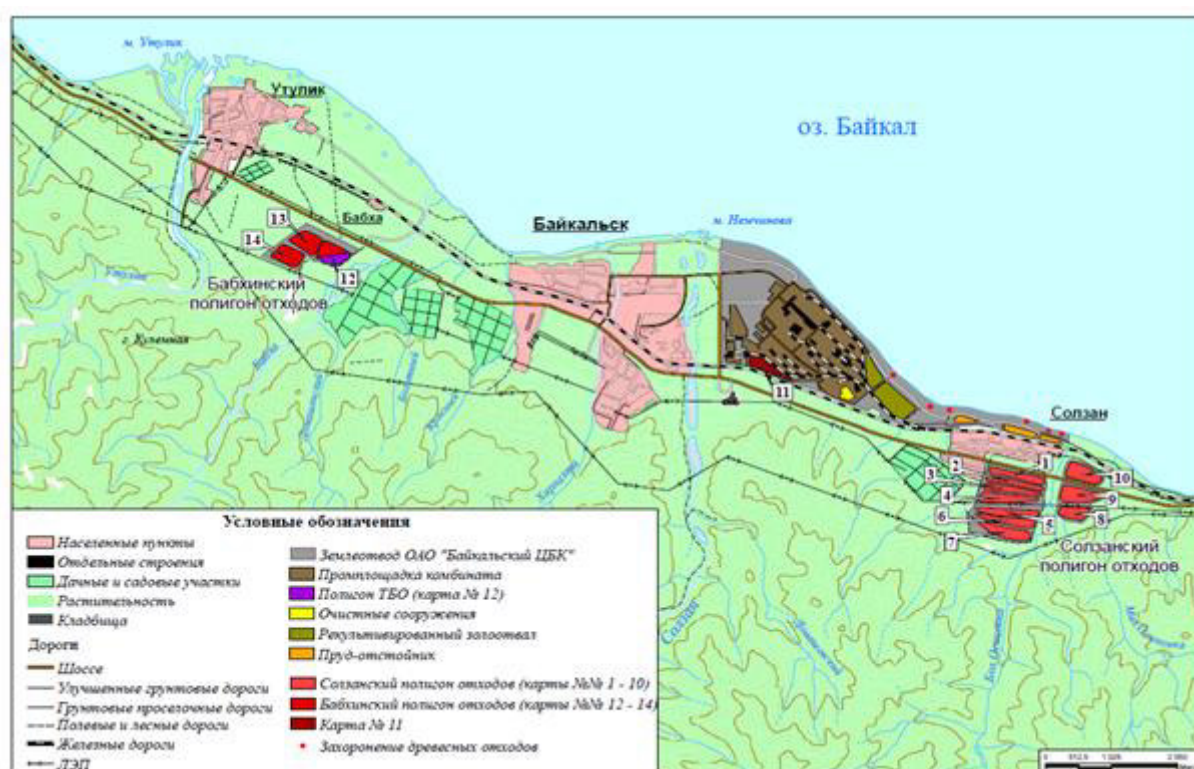


Рис. 1. Схема размещения отходов производства БЦБК [6]

К моменту ввода в эксплуатацию БЦБК в 1969 г. не существовало технологии переработки ШЛ. Для складирования ШЛ в 1966-1969 гг. были введены в эксплуатацию несколько КН. К 1975-79 гг. КН были полностью заполнены и выведены их эксплуатации и затем находились в нетронутым виде на протяжении 30 лет. В 1978 г. был организован цех переработки осадков путем их обезвоживания и сжигания и на КН стал вывозиться уже только зольный остаток в объеме 5 т в неделю [6]. Средний размер котлована карты – 5-6 м глубина, 1 км длина и 100-150 м ширина. На рис. 2 пред-

ставлено фото КН [6]. Дно КН покрыто водонепроницаемым экраном, стенки изолированы слоем асфальта, нанесённого на металлический экран. Сейсмоустойчивость КН была рассчитана на 9 баллов. Практика совместного захоронения указанных видов отходов не типична для целлюлозно-бумажной отрасли и нигде в мире в таких масштабах не применяется [6].



Рис. 2. Вид карт–накопителей ШЛ [6]



Рис. 3. Карты-накопители Солзанского полигона отходов [6]

Химический состав отходов БЦБК. В табл. 2 и 3 представлены данные о химическом составе ШЛ в некоторых КН.

Таблица 2

Химический состав отходов БЦБК (% масс. на сухое вещество) [6]

Химикат	КН №1		КН №4				
	4,0 м (ШЛ)	4,7 м (ШЛ)	0,5 м (зола)	1,4 м (зола)	2,8 м (ШЛ)	3,2 м (ШЛ)	3,7 м (ШЛ)
SiO ₂	1,51	1,37	51,79	38,50	3,69	11,17	3,09
TiO ₂	0,04	0,04	0,78	0,58	0,07	0,17	0,04
Al ₂ O ₃	12,31	12,59	27,36	24,84	12,38	13,25	11,33
Fe ₂ O ₃ +FeO	0,24	0,24	7,03	5,02	0,72	1,57	0,60
MnO	0,01	0,01	0,11	0,19	0,01	0,04	0,01
MgO	0,14	0,12	1,51	1,63	0,24	0,50	0,21
CaO	0,15	0,21	6,43	9,15	0,62	2,00	0,49
Na ₂ O	0,06	0,20	0,18	0,26	0,29	0,34	0,25
K ₂ O	0,03	0,66	0,63	0,55	0,11	0,21	0,08
P ₂ O ₅	1,50	1,44	0,23	0,39	1,34	1,16	0,49
Сера	2,68	3,21	0,36	0,73	3,48	2,77	3,27
Вода	10,5	7,93	0,10	1,63	5,65	4,72	4,98
Потери при прокаливании	72,75	74,55	3,25	16,99	73,49	63,98	77,24
Сумма	100,14	99,83	99,52	99,68	99,77	99,99	99,90

Таблица 3

Качественный состав органических соединений в ШЛ БЦБК (% масс.) [6]

Соединения	КН №6; 2,5 м (ШЛ)	КН №4; 1,5 м (ШЛ + зола).	КН №5; 3,5 м (ШЛ + зола).
Общее количество	53	44	41
Нециклические:	55,7	46,4	42,7
C ₉ – C ₁₉	33,3	14,85	27,9
C ₂₀ – C ₄₀	13,1	-	-
Кислоты	6,5	31,5	14,6
Спирты	2,8	-	-
Циклические:	44,3	53,6	57,3
Арены	2,0	-	-
Фенолы	13,5	-	-
Бензофураны	13,5	-	-
Хлорорганика	20,3	-	-

В открытой печати, как отмечено выше, нет достоверных сведений о мировой практике переработки отходов, подобных ШЛ БЦБК. До настоя-

шего времени имеет место экономическая неэффективность производства целлюлозно-бумажной продукции при утилизации отходов. Действует ограничение видов деятельности, разрешенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории (постановление Правительства РФ № 643 от 30.08.2001 г. и № 186 от 2.03.2015 г.), а также инфраструктурные ограничения (закрытие производства на БЦБК).

В золе, и в ШЛ найдено большое содержание алюминия в форме глинозема ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) 11-27 % сухого вещества, а также высокое содержание общей серы (2,7-3,5 % в ШЛ). Отмечается высокое содержание хлорорганических соединений (табл. 3). В результате концентрирования тяжелых элементов из золы растворы КН содержат широкий спектр неорганических веществ (ионов натрия, кальция, гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов), с содержанием более 50 мг/л.

Рассмотрим возможные пути решения экологической проблемы. Технология рекультивации должна обезопасить окружающую среду и экосистему о. Байкал от негативного воздействия образованных отходов (загрязнение земель, проливы надшламовой воды, выбросы газовых продуктов разложения отходов в атмосферу, риск ущерба при катастрофических геологических процессах – селях, землетрясениях). Технология рекультивации многокомпонентных неоднородных отходов в КН должна быть реализована как можно быстрее, предпочтительно на основе оставшейся заводской инфраструктуры, доступных инженерных решений, сырья и реагентов.

Часть КН в настоящее время используется в качестве действующего городского полигона ТБО и золоотвала действующей ТЭЦ, переданной на баланс муниципалитета. При рекультивации этих КН должны быть проведены мероприятия, учитывающие ограничения по строительству новых объектов размещения отходов в Центральной экономической зоне Байкальской природной территории. Вопрос возможности переработки отходов БЦБК в товарную продукцию требует дополнительных исследований. Высушенный ШЛ может использоваться, например, в качестве топлива. Для

этого требуется усовершенствование технологии его высушивания. Ранее образующийся в технологическом процессе БЦБК ШЛ уже сжигался до остановки производства. В ШЛ из КН в процессе хранения образуются продукты анаэробного распада. Его сжигание, по всей видимости, нецелесообразно, так как при этом выделяются вредные вещества [5].

Возможно использование ШЛ в качестве сырья для производства удобрений. Население г. Байкальска использует его в ограниченном количестве в качестве удобрения для подсобных хозяйств, на Селенгинском целлюлозно-картонном комбинате (СЦКК) ШЛ перерабатывался на компост [6];

Высушенный осадок ШЛ ограничено использовался также для приготовления буровых растворов геологическими предприятиями в 1988-1991 гг. При активной разработке находящегося в Иркутской области Ковыктинского газоконденсатного месторождения возможно возобновление поставок высушенного ШЛ в объеме до 1500 т в год [5]. ШЛ может использоваться в химической, медицинской промышленности для изготовления сорбентов.

Известен проект производства прессованных армированных железнодорожных шпал из ШЛ и золы углей после предварительного обезвоживания исходного сырья [5].

Зола от сжигания ШЛ, зола корьевых котлов, зола от сжигания углей может также найти применение в промышленности и сельском хозяйстве. Так в промышленности зола уноса используется как минеральная добавка для производства некоторых видов бетона и других строительных материалов.

В сельском хозяйстве золу широко применяют как удобрение, содержащее калий в форме поташа (K_2CO_3), легкорастворимого в воде и доступного растениям соединения. В золе находятся и другие минеральные вещества, необходимые растениям, – фосфор, кальций, магний, сера, бор, марганец и другие макро- и микроэлементы. Однако, вышеперечисленные направления не получили и вероятнее всего не получат широкого промыш-

ленного применения в районе о. Байкал.

Экспериментальная часть

В качестве сырья для исследований использовали негашеную порошкообразную известь производства ООО «Придонхимстрой известь» со следующими характеристиками (табл. 4).

Таблица 4

Показатели негашеной извести

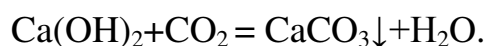
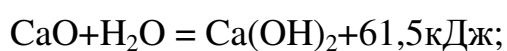
Наименование показателей	Порошкообразная, негашеная известь
Активные СаО + MgO, %	87-88
Время гашения, мин	5-9
Температура гашения, °С	80-90
Количество непогасившихся зерен, не более %	5
Остаток на сите № 02, не более %	0,05-0,5
Остаток на сите №008, не более%	3,0-6,0
Влажность, не более, %	0

Для исследования были взяты 2 партии ШЛ из разных КН Байкальского ЦБК. Первая партия в количестве 2 кг – густая темно-серая с коричневым оттенком вязкая масса (карта-накопитель №2). Вторая партия в количестве 2 кг (карта-накопитель №3) – менее густая илистая темно-серая с коричневым оттенком масса (отличается от первой большим количеством влаги). Образцы ШЛ предоставлены ООО «ВЭБ Инжиниринг».

Разработка технологии дезодорации и обезвоживания ШЛ с помощью негашеной извести. Предлагаемый способ утилизации отходов производства заключается в отверждении ШЛ с помощью негашеной извести. Этот метод обеспечивает безопасное, достаточно простое и недорогое решение экологической проблемы. Использование специальной связующей смеси для отверждения основано на том, что накопленные отходы (ШЛ и известь) играют роль пластификатора и обеспечивают получение

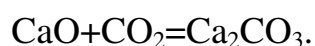
монолита, в структуре которого будут надёжно удерживаться вредные органические вещества и примеси тяжёлых металлов, что исключает возможность негативного воздействия на окружающую среду отходов ШЛ. Технически метод реализуется в механическом перемешивании отходов с реагентом – негашеной известью.

При гашении извести в присутствии воды и углекислого газа происходит покрытие ШЛ гидрофобной оболочкой из карбоната кальция по реакциям:



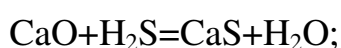
Реакция гашения извести – экзотермическая, температура смеси повышается, что вызывает испарение излишней влаги и гибель микроорганизмов и тем самым дополнительно обезвреживает шлам – лигнин.

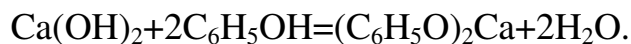
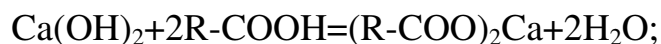
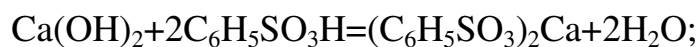
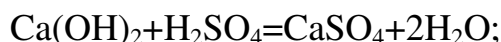
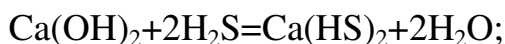
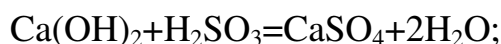
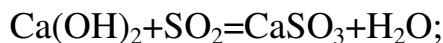
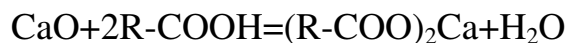
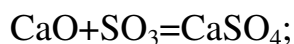
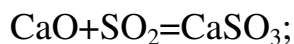
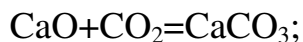
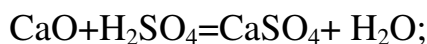
Из-за жизнедеятельности бактерий в ШЛ образуется углекислый газ, растворённый в жидкой фазе. Этот газ взаимодействует с CaO:



Как видно из данных [5,6] ШЛ сильно загрязнен различными примесями и вариативен по своему химическому строению, что значительно затрудняет его целевую переработку и последующее использование. В результате биохимических процессов в сульфатном лигнине и шламе на его основе идет образование сероводорода и других серосодержащих соединений имеющих сильный неприятный запах.

При внесении в ШЛ негашеной извести идут следующие реакции [13]:





Все эти реакции вносят существенный вклад в структуру образующегося продукта, меняя его фазовый и минералогический состав. При этом летучие компоненты серы переходят в нелетучие, которые еще и малорастворимы в воде. Скорость выделения содержащихся в ШЛ других загрязняющих веществ (органики, хлорорганики, тяжелых металлов) в окружающую среду снижается в сотни раз по сравнению с исходным шламом.

Изучение поведения ШЛ при добавлении негашеной извести. Для определения оптимальных количеств негашеной извести для ее внесения в ШЛ использовали ольфактометрические измерения – экспертное определение интенсивности запаха по 5-ой шкале (табл. 5) двух партий ШЛ, взятых из разных карт-накопителей с 6.09.2018 г. по 17.09.2018 г. по методике оценки запахов строительных материалов «Санитарно-гигиеническая оценка полимерных и полимерсодержащих строительных материалов и конструкций, предназначенных для применения в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. МУ 2.1.2.182904» [11, 12]. При исследовании каждого образца ШЛ к ольфактометрическим наблюдениям привле-

кали 7 экспертов (практически здоровых лиц, не имеющих изменений в состоянии органов обоняния). Каждому испытуемому предлагали вдыхать через нос воздух последовательно из двух дыхательных колпаков, в один из которых («опытный») по соединительной трубке подается воздух из климатической камеры, содержащей изучаемый образец ШЛ, а в другой («контрольный») – из климатической камеры без материала. Как указано в МУ 2.1.2.1829-04 оценка силы запаха производится по пятибалльной шкале (табл. 5).

Таблица 5

Количественные критерии описания запаха ШЛ

Количественная оценка в баллах	Описание запаха
0	Отсутствует
1	Едва заметный
2	Слабый; не привлекает внимания
3	Отчетливый; легко ощутимый
4	Сильный; обращает на себя внимание
5	Невыносимый

Для оценки согласованности мнений группы экспертов в настоящем исследовании использовали дисперсионный и энтропийный коэффициенты конкордации [12]. Дисперсионный коэффициент конкордации выражается отношением оценки дисперсии к максимальному значению этой оценки

$$W = \frac{D}{D_{\max}}. \quad (1)$$

Коэффициент конкордации изменяется от 0 до 1, поскольку

$$0 \leq D \leq D_{\max}.$$

Энтропийный коэффициент конкордации определяли по формуле:

$$W_3 = 1 - \frac{H}{H_{\max}}, \quad (2)$$

где H – энтропия и H_{\max} – максимальное значение энтропии.

Энтропийный коэффициент конкордации также изменяется от 0 до 1. При сравнительной оценке дисперсионного и энтропийного коэффициентов эти коэффициенты дали примерно одинаковую оценку согласованности экспертов.

В табл. 6 и 7 приведены данные измерения уровня запаха ШЛ до и после внесения СаО в течение нескольких суток. Коэффициенты конкордации $W \geq W_3 \geq 0.75$, что указывает на высокую согласованность оценок 7 экспертов, привлеченных к проведению ольфактометрических (одорометрических) измерений.

Таблица 6

Изменение интенсивности запаха ШЛ после внесения СаО по 5-балльной шкале 1-ой (1) партии с 6.09.2018г. по 14.09.2018г.

Дата	0%(1)	5%(1)	10%(1)	15%(1)	20%(1)
06.09.2018	5	5	5	5	4
07.09.2018	5	5	5	5	4
10.09.2018	5	5	4	4	3
11.09.2018	5	5	4	4	3
12.09.2018	5	5	4	4	3
13.09.2018	5	5	4	3	3
14.09.2018	5	5	4	3	3

Таблица 7

Изменение интенсивности запаха ШЛ после внесения СаО по 5-балльной шкале 2-ой партии с 6.09.2018г. по 14.09.2018г.

Дата	0%(2)	5%(2)	10%(2)	15%(2)	20%(2)
06.09.2018	5	5	5	5	4
07.09.2018	5	5	5	5	4
10.09.2018	5	5	4	4	3
11.09.2018	5	5	4	4	3
12.09.2018	5	5	4	4	3
13.09.2018	5	5	4	3	2
14.09.2018	5	5	4	3	2

Таким образом, в результате взаимодействия негашеной извести с ШЛ, летучие дурнопахнущие вещества в течение 1-2 недель достаточно эффективно связываются. Наибольший эффект наблюдали при внесении 20% масс. СаО в ШЛ. В отдельных случаях наблюдали приемлемые значения (2 балла) по санитарным нормам для строительных материалов (рис.

4,5) [12]. Для более качественного дезодорирования нужны дополнительные меры – например, более длительная выдержка, применение сорбирующих добавок.

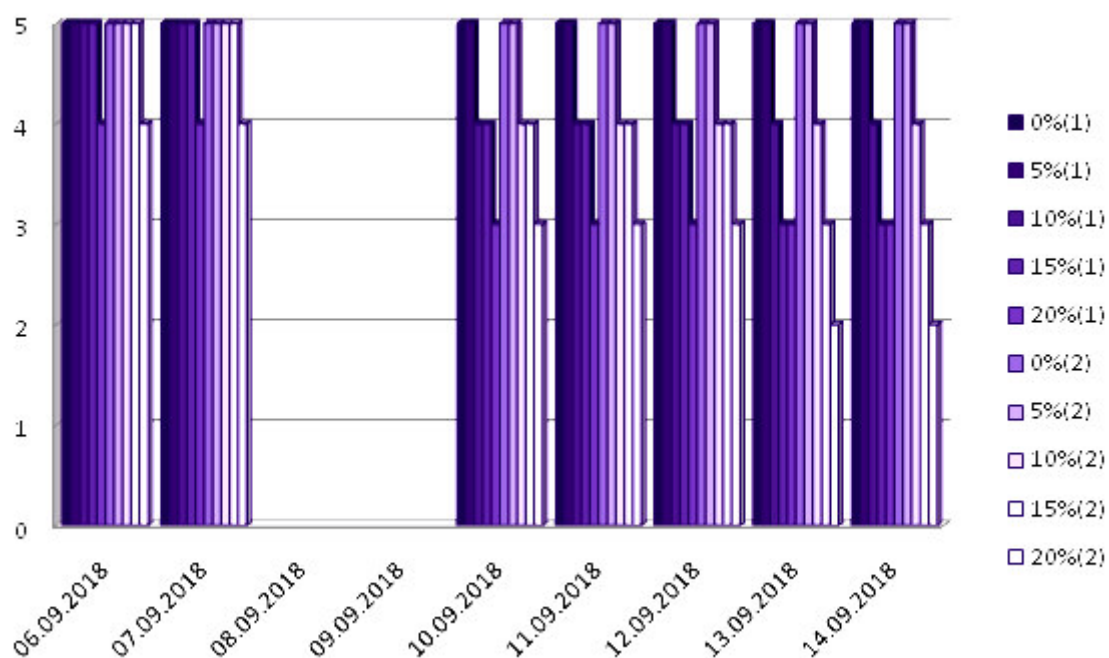


Рис. 4. Изменение интенсивности запаха по 5-бальной шкале 2-х партий ШЛ с 6.09.2018 г. по 14.09.2018 г.

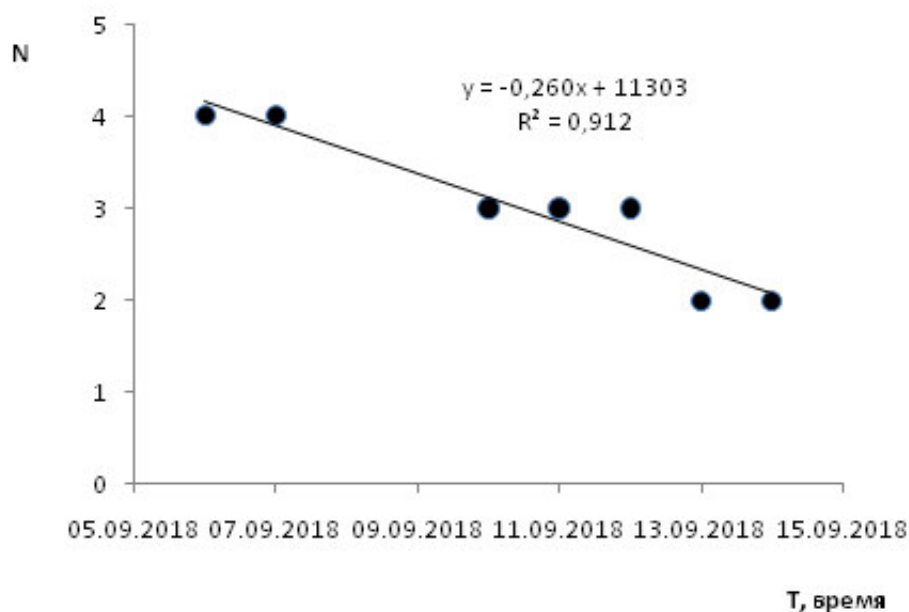


Рис. 5. Изменение запаха смеси ШЛ с CaO (80:20) с 6.09.2018 г по 14.09.2018г. 4 образца, 2-я партия

При смешивании образцов ШЛ с разным количеством негашеной извести наблюдали также за изменениями, протекающими с образцом. Сравнивали температуру ШМ до и вовремя смешивания с негашеной известью (табл. 8, 9, рис. 6, 7).

Таблица 8

Температура смесей ШЛ с CaO в начальный период реакции (10 мин), 1-я партия ШЛ

1 образец		2 образец		3 образец		4 образец	
95:5		90:10		85:15		80:20	
t до внесения CaO, °C	t во время реакции, °C	t до внесения CaO, °C	t во время реакции, °C	t до внесения CaO, °C	t во время реакции, °C	t до внесения CaO, °C	t во время реакции, °C
28	30	28	35	28	41	28	55

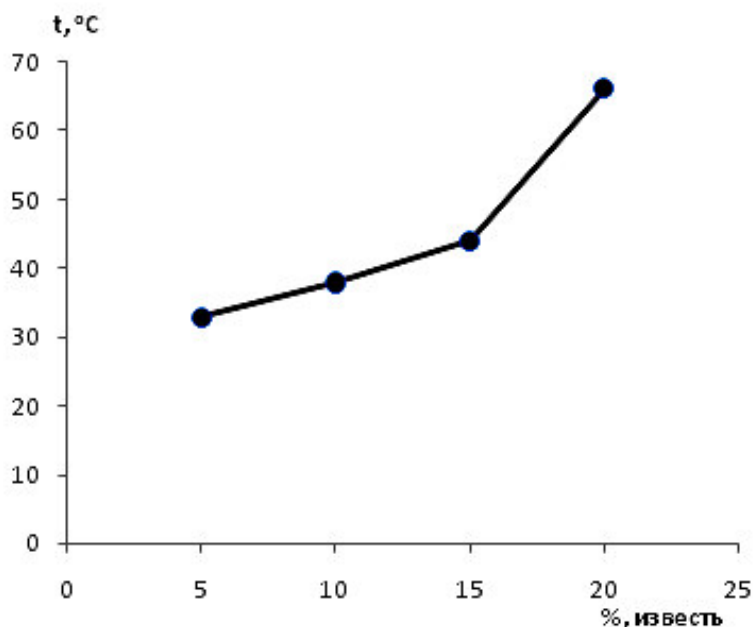


Рис. 6. Изменение температуры смеси ШЛ (1-я партия) в процессе смешивания его с известью в зависимости от концентрации CaO

Таблица 9

Температура смесей ШЛ с CaO в начальный период реакции (10 мин), 2-я партия ШЛ

1 образец		2 образец		3 образец		4 образец	
95:5		90:10		80:85		80:20	
t до внесения CaO, °C	t во время реакции, °C	t до внесения CaO, °C	t во время реакции, °C	t до внесения CaO, °C	t во время реакции, °C	t до внесения CaO, °C	t во время реакции, °C
27	33	27	37	27	44	27	66

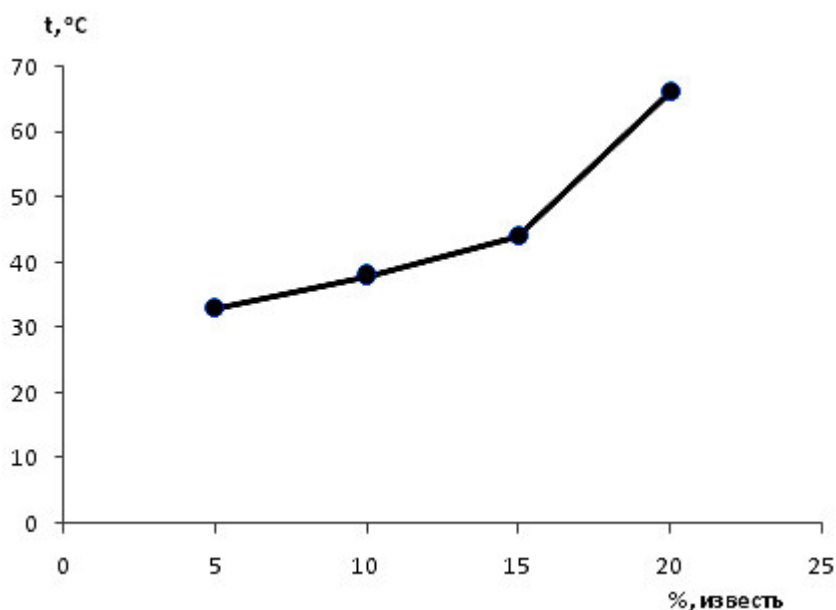


Рис. 7. Изменение температуры смеси ШЛ (2-я партия) в процессе смешивания его с известью в зависимости от концентрации CaO

Таким образом, добавление CaO к ШЛ не приводит к критическим температурам нагревания смеси. Максимальное нагревание до 66 °С наблюдали при внесении 20 г CaO к 80 г ШЛ (более обводненная 2-я партия).

При визуальном наблюдении за консистенцией и окраской смесей ШЛ с CaO зафиксировано возрастание вязкости и комкование для 1-й партии ШЛ, и вязкости – для 2-й партии ШЛ (рис. 9-13) Очевидно, для слишком обводненных партий перед внесением в ШЛ негашеной извести необходимо предварительное высушивание в естественных условиях или с применением сушильного оборудования.

Следует отметить, что при дальнейшем хранении на воздухе под вытяжкой обработанных CaO ШЛ (обе партии – 1 и 2) высыхают и комкуются, в исходном ШЛ (партия 1-я) за этот период появилась плесень.



Рис. 8. Изменение консистенции и окраски при смешивании ШЛ и негашеной извести (образец 1, партия 2)



Рис. 9. Изменение консистенции и окраски при смешивании ШЛ и СаО (образец 2, партия 1)



Рис. 10. Изменение консистенции и окраски при смешивании ШЛ и СаО (образец 3, партия 1)



Рис. 11. Изменение консистенции и окраски при смешивании ШЛ и СаО
(образец 4, партия 1)



Рис. 12. Изменение консистенции и окраски при смешивании лигнина и СаО
(образец 3, партия 2)



Рис. 13. Изменение консистенции и окраски при смешивании лигнина и СаО
(образец 4, партия 2)

Еще один параметр, который контролировали при обработке ШЛ - изменение рН образцов (рис. 14, 15, табл. 10).

Таблица 10

Измерения рН при обработке ШЛ негашеной известью

H ₂ O	ШЛ (1-я партия)	1 образец	2 образец	3 образец	4 образец
7,0	8,57	9,75	11,90	12,51	12,66
	ШЛ (2-я партия)	1 образец	2 образец	3 образец	4 образец
	8,24	11,54	11,56	12,54	12,68

Таким образом, при внесении CaO наблюдается подщелачивание продукта из ШМ за счет образования гашеной извести. Следует отметить осветление массы, особенно выраженное при увеличении доли CaO до 20% за счет образования гашеной извести в смеси. При дополнительном перемешивании образцов с долей CaO до 10% отмечается увеличение интенсивности запаха, что указывает на неполноту реакции CaO с серосодержащими компонентами ШЛ. Следует отметить, что обработанные CaO партии ШЛ обладают запахом в 2 или 3 балла, становятся сыпучими и могут быть использованы для дальнейшей утилизации (рис. 16 и 17).

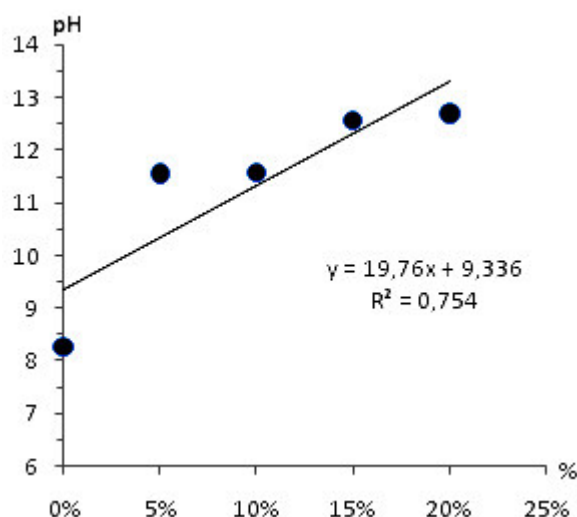


Рис. 14. Зависимость рН от соотношения количества CaO к ШЛ (первая партия)

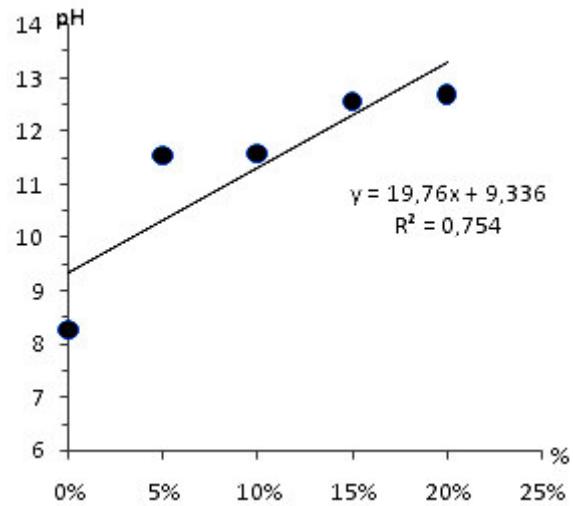


Рис. 15. Зависимость рН от соотношения количества СаО к ШЛ (вторая партия)



Рис. 16. ШЛ+СаО, образец 4, партия 2 (масса затвердела, не перемешивается, видно закаменевшую массу)



Рис.17. ШЛ+СаО, образец 3, партия 2 (масса затвердела, не перемешивается, видно закаменевшую массу)

Контроль влажности образцов ШЛ и их смесей с СаО показал, что она находится на уровне 17-20% (табл. 11).

Таблица 11

Влажность образцов ШЛ с добавкой негашеной извести на 10 день хранения на воздухе при комнатной температуре

Влажность (%) образцов 1-ой партии					Влажность (%) образцов 2-ой партии				
Исх. ШЛ	5% СаО	10% СаО	15% СаО	20% СаО	Исх. ШЛ	5% СаО	10% СаО	15% СаО	20% СаО
19	17	20	17	16	26	18	18	17	17

Заключение. Рассмотрены возможности удаления летучих компонентов с неприятным запахом (дезодорации) и перевода в сыпучее состояние шлам-лигнина – отхода БЦБК за счет протекания различных реакций, идущих при гашении СаО в образцах шлам – лигнина ОАО «БЦБК». Установлено, что в процессе химического взаимодействия шлам-лигнина с негашеной известью (15-20 % СаО) образуется твердый материал, способный к его гумификации и минерализации, при этом необходимое время обработки шлам-лигнина негашеной известью составляет 10-15 дней и зависит от количества серосодержащих компонентов, присутствующих в шламе. Технология обработки шлам-лигнина негашеной известью осуществляется путем простого механического перемешивания, при этом негашеная известь не только нейтрализует неприятные запахи, но и придает готовому продукту консистенцию сыпучего порошка, удобного в дальнейшем использовании.

Таким образом, предложен новый технологичный и эффективный способ утилизации шлам-лигнина с использованием дешевого сырьевого продукта – негашеной извести.

Список литературы

1. Экспертное заключение национальных экспертов для комиссии ООН О промышленном развитии (UNIDO). «Влияние Байкальского целлюлозно-бумажного комбината на окружающую среду и пути устойчивого

развития экономики южного побережья Байкала». / М.А. Грачев, Н.А. Адохин, ЛИН СО РАН, 1995 г. 17 с.

2. Комплексная переработка отходов производств целлюлозно-бумажной промышленности / Богданов А.В., Русецкая Г.Д., Миронов А.П., Иванова М.А.; Иркутск, ИрГТУ, 2000. 227 с.

3. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2007 году». Иркутск: Сибирский филиал ФГУНПП «Росгеолфонд», 2008. 443 с.

4. Экология, охрана природы и природопользование / А.Б. Иметхенов, А.И. Куликов, А.А. Атутов. Улан-Удэ, 2001. 205 с.

5. Территориальное развитие г. Байкальска и его пригородной зоны / Е.Г.Суворов, А.Н. Антипов, Ю.М. Семенов и др.; Иркутск, Изд-во Института географии СО РАН, 2003 г. 191 с.

6. О проблеме ликвидации накопленных отходов в результате деятельности Байкальского ЦБК. Информационно-аналитические материалы (электронный ресурс) <https://docviewer.yandex.ru/view/40302599/> (дата обращения 30.12.2018)

7. Miao Qingxian; Huang Liulian; Chen Lihui. Advances in the Control of Dissolved and Colloidal Substances Present in Papermaking Processes: A Brief Review // Bioresources, 2013 V. 8 No 1. P. 1431-1455.

8. Артеменко А.И., Тикунова И.В., Ануфриев Е.К. Практикум по органической химии: Учеб. пособие. М.: Высшая школа, 2001. 187 с.

9. Современное состояние поверхностных, подземных и сточных вод в зоне воздействия шламонакопителей Байкальского целлюлозно-бумажного комбината / С.С. Тимофеева, Н.В. Черемис, Б.М. Шенькман // Современные наукоемкие технологии, 2008, № 5, С.13-19.

10. Чудаков, М.И. Промышленное использование лигнина // Лесная промышленность. М., 1983. С.127-200;

11. Майоров В.А. Запахи и их восприятие, воздействие, устранение. – М.: Мир, 2006. 366 с.

12. Рудаков О.Б., Бабкина Е.В., Давыдова Е.Г. Одориметрический контроль безопасности полимерсодержащих строительных материалов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2017. № 1 (14). С. 78-85.
13. Третьяков Ю.Д. Неорганическая химия. М.: Академия; Т.1. 2004, 240 с.

Reference

1. Expert opinion of national experts for the UN Commission on industrial development (UNIDO). «The impact of the Baikal pulp and paper mill on the environment and the ways of sustainable development of the economy of the southern coast of lake Baikal». / M. A. Grachev, N. Adkin, LIN SB RAS, 1995, 17 p. [In Russian].
2. Complex waste processing of pulp and paper industry / Bogdanov A. V. Rusetskaya G. D., Mironov A. P., Ivanova M. A.; Irkutsk, ISTU, 2000. 227 p. [In Russian].
3. State report on the state of lake Baikal and measures for its protection in 2007. Irkutsk: Siberian branch of FGUNPP «Rosgeolfond», 2008. 443 p. [In Russian].
4. Ecology, conservation and natural resource management / A. B. Imetkhenov, A. I. Kulikov, A. A. Atutov. Ulan-Ude, 2001. 205p. [In Russian].
5. Territorial development of the city of Baikalsk and its suburban area / E.G. Suvorov, A.N. Antipov, Yu.M. Semenov and others; Irkutsk, Publishing house of Institute of geography SB RAS, 2003, 191 p. [In Russian].
6. On the problem of elimination of accumulated waste as a result of the activities of the Baikal pulp and paper mill. Information and analytical materials (electronic resource) <https://docviewer.yandex.ru/view/40302599/> (tested 30.12.2018) [In Russian].

7. Miao Qingxian; Huang Liulian; Chen Lihui. Advances in the Control of Dissolved and Colloidal Substances Present in Papermaking Processes: A Brief Review // Bioresources. 2013. V. 8 No 1. P. 1431-1455.

8. Artemenko, A.I., Tikunova I.V., Anufriev E.K. Workshop on organic chemistry: Textbook. M.: Higher school, 2001. 187 p. [In Russian].

9. The current state of surface, underground and waste water in the area of impact of sludge collectors Baikal pulp and paper mill / S. S. Timofeeva, N.In. Cheremis, B.m. Shen'kman // Modern technologies. 2008, № 5, P. 13-19. [In Russian].

10. Chudakov, M.I. Industrial use of lignin // Forest industry. M., 1983. P. 127-200 [In Russian].

11. Mayorov V.A. Odors and their perception, the impact of the elimination. M.: Mir, 2006. 366 p. [In Russian].

12. Rudakov O.B., Babkin E.V., Davydova E.G. Toimetiste safety control of polymer-containing construction materials // Scientific Herald of the Voronezh state University of architecture and construction. Series: Physical and chemical problems and high technologies of building materials science. 2017. No. 1 (14). P. 78-85. [In Russian].

13. Tretyakov Yu.D. Inorganic chemistry. M.: Academy; Vol. 1. 2004, 240 p. [In Russian].

Рудаков Олег Борисович – д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Щербаков Владимир Иванович – д-р хим. наук, профессор кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения Воронежского государственного технического университета

Кукина Ольга Борисовна – канд. техн. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Рудаков Ярослав Олегович – магистрант Строительного факультета Воронежского государственного технического университета

Стрункина Кристина Николаевна – студент Химического факультета Воронежского государственного университета

ИННОВАЦИИ В СФЕРЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 547. 992

**РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО КУРСА
НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**

*В.Г. Гадиятов, Н.И. Исайбели, Н.А. Вавилов, О.Б. Кукина**

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Кукина Ольга Борисовна, E-mail: u00136@vgasu.vrn.ru*

Разработана научная база данных горных пород, которая является основой для проведения интерактивных занятий по инженерной геологии. В ней приведена информация по местонахождению и геологическому строению месторождений, дана минералого-геохимическая характеристика и физико-механические свойства пород. Для описания месторождений горных пород и минералов использована опубликованная литература и интернет-ресурсы. Физико-механические испытания по параметрам соответствуют ГОСТ 30629-2011 «Материалы и изделия облицовочные из горных пород».

Ключевые слова: коллекция, горные породы, база данных, интерактивный курс

**DEVELOPING INTERACTIVE COURSE ON THE BASIS OF THE
SPECIAL DATABASE OF ROCKS**

*V.G. Gadiyatov, N.I. Isabel, N.A. Vavilov, O.B. Kukina**

*Voronezh State Technical University,
Russian Federation, 394006, Voronezh, 20th October Str., 84*

**Corresponding author: Kukina, Olga Borisovna E-mail: u00136@vgasu.vrn.ru*

In the course of our research, we have developed a specific database of rocks, which now serves as the background material for conducting the interactive course on engineering geology. It also provides information on the location and geological structure of the deposits and gives the mineralogical and geochemical characteristics and physicomaterial properties of rocks. The set of specific publications on the subject and open Internet resources were used to describe the deposits of rocks and minerals. The parameters of the conducted physical and mechanical tests correspond to the Interstate Standard (GOST) No. 30629-2011 – «Materials and facing products made of rocks».

Keywords: collection, rocks, database, interactive course

Введение. Благодаря информационным технологиям в последние десятилетия созданы всевозможные базы данных, о существовании которых порой мы даже не догадываемся. Бесспорно, гораздо проще и намного удобней работать с электронными носителями информации, чем с бумажными. Особенно это относится к систематизированию того или иного материала, который нужно быстро найти и постоянно дополнять или обновлять.

Для того чтобы информация стала легко доступной и наглядной, её нужно перевести в цифровой вариант и сделать интерактивной. Создание баз данных преследуют разные цели. В одном случае – это электронный каталог, к которому обращаются за получением какой-нибудь справки, в другом – действующий массив информации, предназначенный для научных целей.

Благодаря базам данных некоторые музеи имеют электронные каталоги, подробные путеводители и даже современные интерактивные экспозиции. Посетители самостоятельно, без помощи экскурсовода, могут знакомиться с музейными экспонатами, а иногда и с целыми выставками.

По принципу работы интерактивной экспозиции нами разработана научная база данных, целью которой является получение всеобъемлющей информации о горных породах, хранящихся в университетской коллекции.

Коллекция горных пород, как любая коллекция, находится в статическом состоянии и сама по себе информации не несет, поэтому перевод в интерактивное поле делает ее доступной для широкого круга лиц и дает возможность популяризировать геологические знания. Целью база данных является разработка основы для проведения занятий по курсу «Инженерная геология», читаемого студентам вуза. Задачи сводились к сбору информации о горных породах, составляющих коллекцию, и их месторождениях; проведению лабораторных исследований; созданию научной базы данных.

Коллекция горных пород Воронежского государственного технического университета включает в себя учебную и научную коллекции. Учебную коллекцию составляют образцы пород, изучаемые по программе инженерной геологии на практических занятиях. Горные породы представлены тремя генетическими классами: магматическим, осадочным и метаморфическим. Среди магматических пород – интрузивные и эффузивные: кислые, средние и ультраосновные. Это граниты, сиениты, диориты, габбро, базальты, перидотиты и др. Осадочные породы представлены обломочными, хемогенными, органогенными и вулканогенными (пирокластическими). Среди метаморфических пород в коллекции находятся разные сланцы, гнейсы, кварциты, мраморы и др.

Научная коллекция более представительна: в ней собраны образцы горных пород из разных месторождений бывшего Советского Союза. География - Урал, Украина, Кавказ, Саяны и др. Коллекция насчитывает более 150 образцов всех названных генетических классов размером не менее 12x12 см. Некоторые образцы пород дублируют учебную коллекцию, и их сохранность лучше. Ввиду вышеотмеченного для составления базы данных была принята научная коллекция (за исключением ряда дубликатов пород, использованных для проведения физико-механических испытаний).

Экспериментальная часть

Методику работы по созданию научной базы данных горных пород

музейной коллекции можно разделить на несколько этапов:

1. Отбор и подготовка образцов пород для проведения лабораторных исследований;
2. Лабораторные исследования;
3. Изучение опубликованной литературы;
4. Составление базы данных горных пород;
5. Разработка компьютерной программы для интерактивного курса.

Первоочередной задачей для решения поставленной цели являлся сбор информации по месторождениям горных пород. Для этого использовалась опубликованная литература и интернет-ресурсы. Среди литературы монографии и научные статьи с периодических изданиях [1-3, 9, 11]. Описание месторождений проводилось по единому плану, включавшему следующие разделы:

1. Краткий физико-географический очерк с подробной привязкой месторождения.
2. Геологическое строение района и самого месторождения.
3. Характеристика горной породы: минералого-петрографическое описание, физико-механические свойства.
4. Применение породы.

При описании месторождений использовался разный иллюстративный материал – геологические карты, схемы, разрезы, фотографии, рисунки. Все собранные материалы дополнялись и тщательно редактировались. В итоге информация по месторождениям представляет краткую сводку, содержащую материалы вышеназванных разделов. Указывается возможность использования пород для декоративно-облицовочных или других целей [5].

Для проведения лабораторных исследований из отобранных образцов пород были отпилены пластины толщиной до 2 см, а из некоторых (дубликаты и образцы большого размера) дополнительно выпилены пластины толщиной 4-5 см. Из тонких пластин изготовлены прозрачные шлифы, из толстых пластин сделаны бруски с поперечным сечением 4x4 см и из них

получены кубики размером 40x40x40 мм, которые применялись для проведения физико-механических испытаний горной породы.

Образцы пород, подготовленные для физико-механических испытаний, по параметрам соответствовали ГОСТ 30629-2011 «Материалы и изделия облицовочные из горных пород» [4]. При испытаниях определены следующие показатели горных пород: плотность, водопоглощение, предел прочности при сжатии и снижение прочности при сжатии породы в водонасыщенном состоянии.

Петрографические исследования горных пород включали изготовление шлифов, микроскопическое описание и фотографирование [6,7,8]. Микроскопическое описание заключалось в определении минералогического состава, количественного состава породообразующих минералов, структуры, наличия акцессорных минералов и др.

При определении плотности высушенные образцы взвешивались и измерялись, после этого рассчитывался их объем по формуле:

$$\rho = \frac{V}{m},$$

где ρ – плотность грунта в г/см³; m – масса породы с естественной влажностью и сложением; V – объем занимаемой породы, в см³.

Для определения водопоглощения подготовленные образцы-кубы погружались в сосуд с водой и выдерживались в течение 48 часов. Водопоглощение W погл., % по массе, вычислялось по формуле:

$$W \text{ погл.} = \frac{m_1 - m}{m} 100,$$

где, m_1 - масса образца в водонасыщенном состоянии, кг; m - масса образца в сухом состоянии, кг.

Сущность метода определения предела прочности при сжатии заключается в измерении максимальной разрушающей нагрузки, приложенной к торцам образца-куба в сухом и в водонасыщенном состояниях. Для этого

применялся гидравлический пресс с усилием от 100 до 500 кН по ГОСТ 22840. Предел прочности при сжатии сухом состоянии $R_{сж}$, МПа (кгс/см^2), вычисляют с точностью до 1 МПа по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F},$$

где P - разрушающая нагрузка, Н (кгс); F - площадь поперечного сечения образца, см^2 .

Снижение прочности при сжатии горной породы в водонасыщенном состоянии ΔR , % вычисляют по формуле:

$$\Delta R = \frac{R_{сж} - R_{1сж}}{R_{сж}} 100,$$

где $R_{сж}$ – средняя прочность образцов, высушенных до постоянной массы, МПа; $R_{1сж}$ – средняя прочность водонасыщенных образцов, МПа.

Для создания базы данных использована достаточно простая программа MyVisual DataBase [10]. В базе данных выделены две части – это минералы и горные породы, а те в свою очередь разделены на подгруппы (рис. 1):

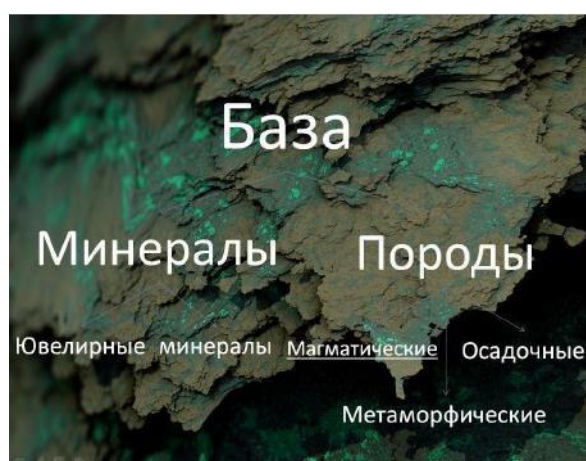


Рис. 1. Главная страница базы данных

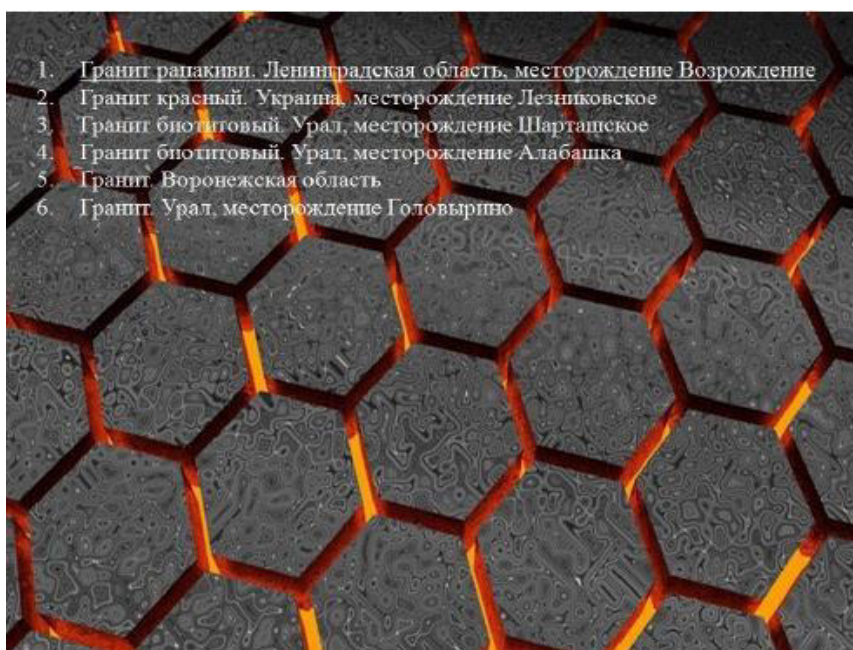


Рис. 2. Страница с магматическими породами (граниты)

1. минералы, минералы и породы – ювелирные камни;
2. магматические, осадочные и метаморфические породы.

Благодаря этому можно войти в тот или иной раздел и далее – на нужную страницу с соответствующей информацией (рис. 2).

Выбрав интересующую породу, при ее вызове, мы попадаем на страницу с фотографией образца из коллекции, характеристикой породы и кратким описанием геологического строения месторождения. Если необходимо более детальное описание, то кликнув в строке текста «подробнее», открывается другая страница с соответствующей информацией (рис. 3).

Месторождение «Возрождение» находится в Ленинградской области Выборгского района, пос. Возрождение, 28 км до ж/д ст. Выборг, 30 км до морского порта Выборг и в 140 км от Санкт-Петербурга. [Подробнее](#)



Рис. 3. Страница с гранитом рапакиви из коллекции и строка с вызовом подробной характеристики (вверху)

Для проведения презентации использована программа Microsoft PowerPoint. Материал базы данных можно представлять как на мониторе, так через проектор на большом экране.

Заключение. Таким образом, с помощью программы My Visual DataBase разработана наглядная и очень простая в применении научная база данных коллекции горных пород, доступная даже не подготовленному человеку. Главным достоинство является то, что информацию можно использовать на занятиях при изучении курса инженерной геологии. Это позволяет перейти на качественно новый уровень подготовки студентов.

Список литературы

1. Гадиятов В.Г. Минерагения и прогнозирование месторождений цветных и декоративно-облицовочных камней: учебное пособие / В.Г. Гадиятов; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2018. 130 с.
2. Гадиятов В.Г. Пространственное размещение месторождений цветных камней на территории Российской Федерации / В.Г. Гадиятов // Геммология: материалы VI научной конференции. Томск: 2013. С. 28-36.
3. Гадиятов В.Г. Камнесамоцветные формации северо-востока Азии / В.Г. Гадиятов. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005. 272 с.
4. ГОСТ 30629-2011. Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. М.: Стандартинформ. 2011.
5. Зискинд М.С. Декоративно-облицовочные камни. Л.: Недра, 1989. 255 с.
6. Елисеев Н.А. Методы петрографических исследований. Л.: ЛГУ, 1956. 275 с.
7. Емельяненко П.Ф., Яковлева Е.Б. Петрография магматических и метаморфических пород. М.: МГУ, 1985. 248 с.

8. Кочурова Р.Н. Основы практической петрографии. Л.: ЛГУ. 1977. 176 с.
9. Лебедев И.П., Кориш Е.Х., Савко К.А. и др. Геология месторождений полезных ископаемых// Учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений. ВГУ, 2009. Воронеж. С. 64-114.
10. Программа My Visual DataBase 4.0 для Windjws: Версия x 86/x64 // Интернет-ресурс: my-visual-database.
11. Савко К.А., Самсонова А.В., Базиков Н.С. и др. Гранитоиды востока Воронежского кристаллического массива: геохимия, Th, U, Pb, возраст и парагенезис // Вестник ВГУ. Серия Геология. 2011. №2. С. 98-115.

References

1. Gadiyatov V.G. «Minerageny and forecasting of deposits of colored and decorative facing stones. Tutorial», V.G. Gadiyatov; Voronezh State Technical University, Voronezh: VSTU publishing house, 2018, 130 p.
2. Gadiyatov V.G., «Spatial distribution of deposits of colored stones on the territory of the Russian Federation», Gemology: materials of the VI scientific conference, Tomsk: 2013, P. 28-36.
3. Gadiyatov V.G., «Gemstone Formations of Northeast Asia», Voronezh State University, 2005, 272 p.
4. Unified Interstate Standard (GOST) No. 30629-2011, «Materials and facing products made of rocks. Testing methods», Moscow, Standardinform, 2011;
5. Ziskind M.S., «Decorative facing stones», Leningrad, Nedra, 1989, 255 p.
6. Eliseev N.A., «Methods of petrographic research», Leningrad, Leningrad State University, 1956, 275 p.
7. Emelianenko P.F., Yakovleva E.E., «Petrography of igneous and metamorphic rocks», Moscow, Moscow State University, 1985, 248 p.

8. Kochurova R.N., «Basics of practical petrography», Leningrad, Leningrad State University, 1977, 176 p.

9. Lebedev I.P., Korish E.Kh., Savko K.A., «Geology of mineral deposits - Tutorial for higher educational institutions students», Voronezh, Voronezh State University, 2009, P. 64-114.

10. My Visual DataBase 4.0 for Windows: Version x 86 / x64, Open Internet resource: my-visual-database.

11. Savko K.A., Samsonov A.V., Bazikov N.S., «Granitoids of the Eastern Voronezh crystalline array: geochemistry, Th, U, Pb, age and paragenesis» Bulletin of the Voronezh State University, Geology series, 2011, No 2, P. 98-115.

Гадиятов Виталий Галиаскарович – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры строительных конструкций оснований и фундаментов Воронежского государственного технического университета

Вавилов Николай Иванович – магистрант, группа М182, строительного факультета Воронежского государственного технического университета

Исайбели Нурлан – магистрант, группа М182, строительного факультета Воронежского государственного технического университета

Кукина Ольга Борисовна – канд. техн. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

ИНФОРМАЦИЯ, ОБЪЯВЛЕНИЯ, РЕКЛАМА

**XVI МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ИННОВАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ И
КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**



Приглашаем принять участие в
Международной научно-практической конференции
«Инновационные, информационные и
коммуникационные технологии»
(ИНФО-2019).

conf@diag.ru
www.diag.ru

1-10 октября 2019г.
Россия, г.Сочи



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»
(«Воронежский институт»)

ПАО «СИБУР Холдинг»
Департамент образования, науки и
молодежной политики Воронежской области
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
Институт металлоорганической химии
им. Г.А. Разувая РАН



Всероссийская конференция
с международным участием
«Проблемы и инновационные
решения в химической технологии»
(ПИРХТ-2019), посвященная
150-летию Периодической таблицы
химических элементов
Д.И. Менделеева, 90-летию
«Воронежского государственного
университета инженерных
технологий» и 60-летию факультета
экологии и химической технологии

7-9 октября 2019 года

ПЕРВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ
СООБЩЕНИЕ

Воронеж
2019

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе
Всероссийской конференции с международным
участием

Оргкомитет

Председатель:
Попов В.Н. – ректор ВГУИТ, проф., проф. РАН, д.б.н.
Заместитель председателя:
Карманова О.В. – заведующий кафедрой
технологии органических соединений, переработки
полимеров и техносферной безопасности, проф., д.т.н.
Члены комитета:
Рафлов В.В. – зам. председателя правления ПАО
«СИБУР Холдинг»
Масолов О.Н. – руководитель департамента
образования, науки и молодежной политики
Воронежской области
Корнеева О.С. – проректор по научной и
инновационной деятельности, проф., д.б.н.
Гаскомров С.Г. – проф. кафедры информационных
и управляющих систем ВГУИТ, д.т.н.

Программный комитет

Председатель:
Суханов П.Г. – проректор по учебной работе
ВГУИТ, проф., д.б.н.
Заместитель председателя:
Пругачева И.Н. – декан факультета экологии и
химической технологии ВГУИТ, проф., д.т.н.;
Члены комитета:
Прокотух Н.Р. – член-корр. НАН РБ, профессор
Белорусского государственного технического
университета, д.б.н.
Мельничкина Н.В. – проф. кафедры кибернетики
химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И.
Менделеева, д.т.н.
Вольфсон С.И. – заведующий кафедрой химии и
технологии переработки эластомеров Казанского
национального исследовательского технологического
университета, проф., д.т.н.
Франческо Вельо – профессор кафедры теории
развития химических процессов университета
Л'Аквила (Аквила, Италия).

Одильо Алезес-Фильо – профессор Норвежского
университета науки и технологий.

Корчагин В.И. – заведующий кафедрой
промышленной экологии, оборудования химических и
нефтехимических производств ВГУИТ, проф., д.т.н.
Матвейкин В.Г. – первый заместитель генерального
директора ОАО «Корпорация «Росхиммаш»», д.т.н.,
проф.

Кучменко Г.А. – заведующий кафедрой физической
и аналитической химии ВГУИТ, проф. РАН, д.б.н.,
Нифтаев С.И. – заведующий кафедрой химии и
химической технологии ВГУИТ, проф., д.б.н.

Секретариат
Губин А.С. – доцент кафедры технологии
органических соединений, переработки полимеров и
техносферной безопасности к.х.н.

Кушнир А.А. – доцент кафедры технологии
органических соединений, переработки полимеров и
техносферной безопасности к.х.н.

Направления работы конференции

В РАМКАХ КОНФЕРЕНЦИИ ПЛАНИРУЕТСЯ РАБОТА
СЛЕДУЮЩИХ СЕКЦИЙ:

- 1) Кибернетика химических и биотехно-
логических процессов.
- 2) Супрамолекулярные системы и нано-
материалы.
- 3) Инновационные решения в химии и
химической технологии.
- 4) Химия и технология полимеров.
- 5) Теоретические и прикладные аспекты
получения биологически активных соединений,
косметических средств и фармацевтических
препаратов.
- 6) Современные подходы к контролю качества
в химической технологии.
- 7) Экология и безопасность химических
производств.

По материалам конференции будет издан
сборник научных трудов

Формы участия – очная.

Вся переписка ведется только по
электронной почте:

pircht@mail.ru

Для участия в конференции
необходимо представить в Оргкомитет

- 1) заполнить электронную форму
регистрации, доступную по ссылке
https://docs.google.com/forms/d/1A0QOmIM4mT_BxSmk8HyvOxjMg6_w5ZYy6iP3dYz3074/edit
- 2) заявку (формы 1 и 2) на участие в
конференции необходимо отправить по эл.
почте конференции (пример оформления см.
Приложение 1);

Контакты:

394036, Россия, г. Воронеж,
проспект Революции, д. 19
Воронежский государственный
университет инженерных технологий,
394029, Россия, г. Воронеж,
Ленинский пр-т, д. 14

Кафедра технологии органических
соединений, переработки полимеров и
техносферной безопасности

контактный телефон:

Тел.: 8-980-247-09-86

(отв. сопр. конф. Карманова Ольга

Викторовна)

8 (473) 249-92-37;

8 (473) 249-60-26

Факс: 8 (473) 249-92-37,

Кушнир Алексей Алексеевич

(тел. 8-919-24-33-605. Viber и WhatsApp)

E-mail: kushnir_aleksei@mail.ru

(с пометкой «Конференция»)

Губин Александр Сергеевич

(тел. 8-906-677-61-17)

Место проведения конференции г. Воронеж, Центральный район, Санаторий им. Горького

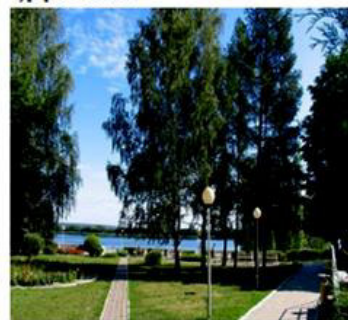
www.gorkiy.orb.ru



Санаторий им. Горького имеет развитую
инфраструктуру. На площади в 14,5 га
расположены почтовое отделение, аптека, зноски,
косметологический кабинет, парикмахерская и
кафе, прокат спортивного инвентаря. На всей
территории действует Wi-Fi.
Территория представляет собой
благоустроенный дубово-ясеневый лесопарк
«Нагорная дубрава», имеющий статус заповедника
и включает в себя четыре корпуса: два жилых
корпуса (5-9-этажные здания с лифтами) и
лечебного корпуса (3-этажное здание с лифтом) и
здание столовой и клуба. Все корпуса соединены
между собой теплыми переходами.

Санаторий имеет многочисленные награды
на конкурсах и выставках регионального,
российского и международного уровней: «Диво

России», Gold Brand, «100 лучших товаров
России», «Воронежское качество», «Золотые
курорты России».



ВНИМАНИЕ:

Сведения об организационном
взносе будут представлены во
втором информационном письме.

Требования к тезисам
конференции и их макет, а также
вся актуальная информация и
новости доступны на официальном
сайте:

<http://vsuet.ru/all-conferences/pirht-2019>

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Петропавловский К.С., Новиченкова Т.Б. Высокопрочные гипсовые материалы.....	3
Нагорский В.В., Моргун Л.В., Богатина А.Ю. Эксплуатационные достоинства применения турбулентных смесителей в технологии пенобетонов.....	14
Славчева Г.С., Артамонова О.В., Шведова М.А., Полосина А.А. Исследование влияния добавок-электролитов на пластичность и структурную прочность цементных смесей для строительной 3D печати.....	25
Хорина А.В., Шелковникова Т.И., Баранов Е.В. Анализ факторов, влияющих на формирование структуры сырца и черепка керамического кирпича.....	42
ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ	
Усачев А.М., Федорова О.В. Исследование проблемы достоверности оценки прочности бетонов неразрушающими методами.....	52
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ, УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ	
Золотухин С.Н., Луганский В.И., Назаренко Н.Г., Демиденко А.И., Макарычев К.В., Борисова М.И., Завалина Е.А., Барабаш А.Д. Повторное использование железобетонных элементов зданий в конструкциях фундаментов.....	72
Рудаков О.Б., Щербаков В.И., Кукина О.Б., Рудаков Я.О., Стрункина К.Н. Взаимодействие шлам-лигнина из карт-накопителей Байкальского целлюлозно-бумажного комбината с гашеной известью как способ его утилизации.....	92
ИННОВАЦИИ В СФЕРЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ	
Гадиятов В.Г., Исайбели Н.И., Вавилов Н.А., Кукина О.Б. Разработка интерактивного курса на основе базы данных горных пород.....	119
ИНФОРМАЦИЯ, ОБЪЯВЛЕНИЯ, РЕКЛАМА	
	129

Научное издание

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

№ 1 (20), 2019

Научный журнал

В авторской редакции

*Дата выхода в свет: 29.03.2019.
Формат 60×84 1/8. Бумага писчая.
Усл. печ. л. 16,5. Уч.-изд. л. 8,2.
Тираж 500 экз. Заказ №
Цена свободная*

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский проспект, 14

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии ВГТУ
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84