

DOI: 10.34031/article\_5d0a380978a0d8.85307277

<sup>1,\*</sup>Кудеярова Н.П., <sup>1</sup> Ожерельева А.Ю.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: Kudeyarova@intbel.ru

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ГИПСА НА КАЧЕСТВО КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено влияние добавки гипса на процесс гашения извести и качество композиционного вяжущего. Установлено, что скорость процесса гашения извести возможно регулировать различным водо-твердым отношением, температурой затворяемой воды и применением добавки природного гипса. Рассмотрено влияние данной добавки не только на кинетику процесса, но и на температурный фактор, дисперсность продукта и качество получаемых изделий из данного продукта гашения. При гидратации высоко активной извести температура гашения достигает высоких значений, при которых начинается процесс дегидратации двуводного гипса. Совмещение экзотермического процесса гашения извести с образованием среды насыщенного водяного пара при добавке к извести природного гипса образует полуводный гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , который не обезвоживается и не переходит в нерастворимую форму, сохраняя свои химические свойства. Экзотермический эффект кристаллизации ангидрита при этом отсутствует. Представлены результаты прочности композиционного вяжущего ячеистой структуры, исходя из которых следует, что образцы вяжущего на основе извести с добавкой природного гипса в автоклавных условиях характеризуется более высокой прочностью в сравнении с бездобавочными образцами вяжущего.

**Ключевые слова:** активность извести, модификация гипса, композиционное вяжущее, ячеистая структура, автоклавная обработка.

**Введение.** Процесс гашения извести сопровождается повышением температуры. По теоретическим расчетам реакции гидратации оксида кальция максимальная температура процесса может достигать 300 °С. Практически температура гашения извести зависит от многих факторов – активности извести, водотвердого соотношения извести и воды, температурных условий процесса, состава вяжущего и смеси и т.д. В технологическом процессе производства изделий ячеистой структуры из смесей на основе извести для регулирования скорости гашения извести в сырьевые смеси вводится определенное количество природного гипса, который начиная с 80 °С дегидратирует до полуводного гипса обладающим вяжущими свойствами. Исходя из этих свойств извести и гипса в научно-исследовательской работе были изучены вопросы об изменениях процессов гашения извести и дегидратации гипса, а также свойств продуктов гашения и их влияние на качество композиционного вяжущего [1–2].

**Методология.** При проведении исследований использовалась известь, полученная обжигом в лабораторных условиях при температуре 1100 °С в течении одного часа из химически чистого карбоната кальция и природный гипс.

Композиционное вяжущее приготавливалась из смеси извести, тонко измельченного кварцевого песка, цемента и для создания ячеистой структуры алюминиевой пасты в соотношении по указанной последовательности 1 : 3,2 : 0,8 : 0,0048, водотвердое отношение равнялось 0,4.

Для этого применяли портландцемент ОАО «Белгородский цемент» марки 500 удельной поверхности 300 м<sup>2</sup>/кг; кварцевый песок Вольского месторождения очищенный и измельченный до удельной поверхности 200 м<sup>2</sup>/кг и вода, нагретая до 40 °С. Компоненты перемешивались и увлажнялись, в последующем формовались образцы по пластичному методу. Готовая газобетонная смесь выливалась в смазанные формы и выдерживалась 3 часа при комнатной температуре. Затем снималась «горбушка» и образцы проходили автоклавную обработку по режиму 2-6-2 часа при давлении пара 10 атм [3].

В работе использовались химический, рентгенофазовый и дифференциально-термический методы анализа.

**Основная часть.** Известно, что при изменении условий процесса гашения извести изменяются количество выделяемого тепла и свойства продуктов гашения. Для извести первого сорта характерно быстрое выделение теплоты и в большом количестве. Высокая скорость химической реакции гидратации СаО может привести к разрушению на первых этапах формирования ячеистой структуры, которая и так ослаблена за счет высокой пористости. Поэтому при работе на быстрогающейся извести необходимо замедлить процесс гашения извести, что можно осуществить за счет введения добавки природного гипса. Используемая добавка гипса в технологи-

ческом процессе ячеистых изделий в зависимости от получаемой температуры может привести к изменениям процесса гашения извести [4].

В работе при гашении извести активностью 85 % использовалась вода с температурой 20 и 40 °С, количество воды принято в 1,5 раза выше теоретического расхода. Повышение температуры воды позволяет ускорить реакцию гидратации оксида кальция, температура реакции при этом достигла максимума 94,1 °С, что характерно для быстрогасящейся извести (время гашения составило 1,5 минуты). Повышение тепловыделения в этом температурном интервале создает условия для начала разложения двуводного гипса с получением полуводного гипса (вяжущей композиции) различных модификаций, которые по своим химическим свойствам резко отличаются. На основании этих теоретических данных можно предположить о возможности получения полуводного гипса с изменением процесса гашения извести и получаемых при этом продуктов гашения отличающихся химическими свойствами [5].

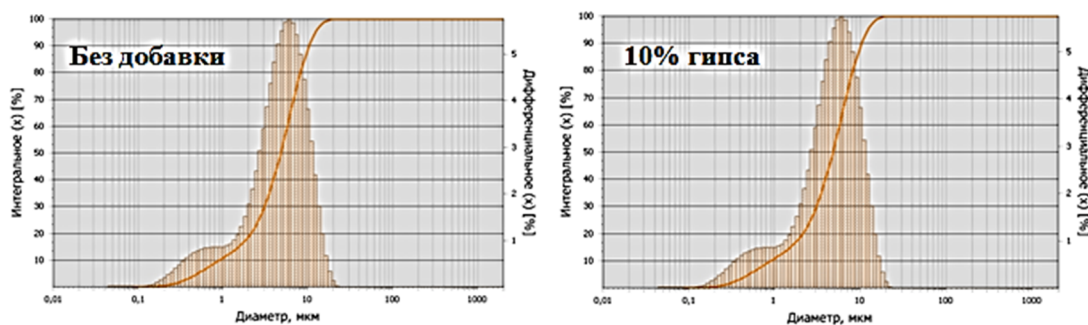


Рис. 1. Распределение частиц гидроксида кальция

Повышение температуры воды при гашении извести способствует получению более мелких частиц размером 1,03...10,51 мкм до 80 %. При добавке 10 % гипса количество частиц данного диапазона уменьшается до 77 % за счет роста более крупных частиц размером 10, 51 – 24, 70 мкм и увеличения их количества при замедлении процесса гашения извести [6].

Изменения фазового состава продуктов гашения с добавкой гипса можно проследить по рентгенофазовому анализу. На рентгенограммах (рис. 2) наблюдается уменьшение дифракционных отражений двуводного гипса и следы полуводного гипса, а также снижение дифракционного пика гидроксида кальция (2,63).

Полученные изменения фазового состава продуктов гашения извести в присутствии природного гипса изучались с использованием дифференциально-термического анализа (рис 3). На термограмме природного гипса просматриваются два эндотермических эффекта с температу-

Изменение температуры воды от 20 до 40 °С сокращает процесс гашения извести от 2-х до 1,5 минут без изменения температуры гашения. Введения добавки гипса от 7,5 до 10 % от массы извести процесс гашения несколько удлиняет (от 9,5 до 10 минут), однако в меньшем количестве при использовании горячей воды (не более чем в 2 раза). Температура гашения при этом достигает максимального значения 94 °С.

Интенсивное тепловыделение и образования при этом водяного пара приводит к значительному диспергированию получаемых продуктов гашения. Наличие замедлителя процесса гашения извести в виде двуводного гипса изменяет процесс. В силу высокой экзотермии процесса в обоих случаях наблюдается повышенная доля мелких частиц по сравнению с гашением водой низкой температуры. На рис. 1 приведены кривые распределения частиц  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , полученных методом лазерной гранулометрии.

рой 131,1 и 149,6 °С и экзотермический пик в области 349,3 °С. Эндотермические пики свидетельствуют о плавно протекающем процессе дегидратации  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  с образованием полуводного гипса, начало которого фиксируется при 76 °С. Экзотермический процесс связан с перестройкой кристаллической решетки с превращением нерастворимого ангидрита в растворимый.

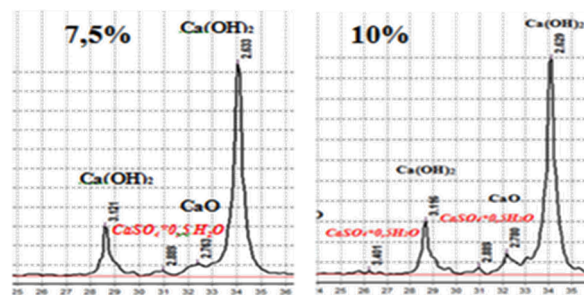


Рис. 2. Рентгенограммы продуктов гашения извести и с добавкой природного гипса в количестве 7,5 и 10 %

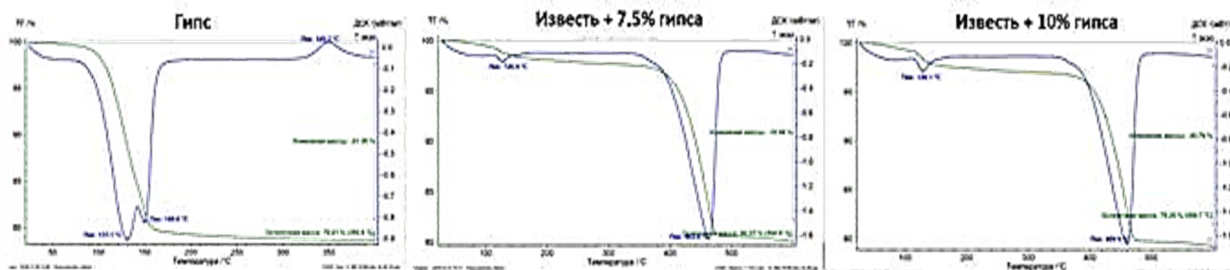


Рис. 3. Результаты ДТА природного гипса и погашенной извести с добавкой 7,5 и 10 % природного гипса

Наличие природного гипса в смеси изменяет ход процесса гашения извести. Во первых, учитывая факт быстрого начала гидратации активного оксида кальция (при первых контактах извести с водой) процесс разложения двуводного сульфата кальция протекает с ярко выраженным эндотермическим эффектом при понижении температуры до 126,9 °С в сравнении с разложением чистого гипса и разложением гидроксида кальция при 462,8 °С (добавка гипса 7,5 масс.%). Экзотермический эффект кристаллизации ангидрита при этом отсутствует.

Увеличение добавки гипса до 10 масс.% приводит к увеличению максимальной температуры разложения  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  до 129,1 °С и снижения температуры разложения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  от 462,8 до 459,9 °С, что свидетельствует об изменении свойств продуктов гашения. Анализ полученных результатов показывает, что добавка гипса к извести сдвигает все температурные характеристики процесса гашения извести в сторону пониженных температур с исчезновением процесса кристаллизации ангидрита.

Из теоретических данных известно, что при обезвоживании природного гипса сначала образуется полуводный гипс, при обезвоживании которого получаемый растворимый ангидрит  $\gamma\text{-CaSO}_4$ , который при температурах выше 170 °С переходит в нерастворимый  $\beta\text{-CaSO}_4$  [7–8]. В данных условиях гидратации извести с продолжающимся тепловыделением и образованием среды насыщенного водяного пара возникающий полуводный гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  возможно не обезвоживается, и не кристаллизуется, сохраняя свои свойства, т.е. не переходит в нерастворимую форму. Следовательно, образовавшийся при гашении извести полуводный гипс за счет выделяемого тепла на протяжении реакции гидратации оксида кальция не гидратирует и сохраняет свои химические свойства.

Совмещение экзотермического процесса гашения извести и эндотермического процесса дегидратации двуводного гипса сопровождающееся образованием полуводного гипса как вяжущего материала может оказать положительное влияние на формирование сырьевой структуры

изделий на основе высоко активной извести. Кроме этого при воздействии температуры и сохранении влажной среды в этой системе могут образовываться комплексные соединения между продуктами гашения извести и растворимой фазой полуводного гипса [9–11].

Влияние добавки гипса при гашении извести исследовалось на образцах ячеистой структуры при следующем соотношении компонентов: известь-песок-цемент-алюминиевая паста равное 1-3,2-0,8-0,0048. Для приготовления смеси сухие сырьевые компоненты усреднялись и увлажнялись, после чего в смесь вводилась приготовленная алюминиевая суспензия с температурой 40 °С, полученная смесь перемешивалась. Готовая газобетонная смесь укладывалась в форму и выдерживалась 3 часа при комнатной температуре для завершения газообразования и вспучивания массы. В этот период проходит процесс гидратации образовавшегося полуводного гипса (добавка гипса составила 7,5 и 10 % от массы извести), что может отразиться на качестве сырьевой ячеистой структуры и автоклавированных образцов. После обрезки «горбушки» сверх формы, образцы подвергались автоклавной обработке по режиму 2-5-2 часа при давлении водяного насыщенного пара 10 атм [12–13].

В процессе автоклавной обработки протекает взаимодействие извести и кварца с образованием гидросиликатов кальция и ускоренная гидратация портландцемента. Рентгенофазовый анализ образцов ячеистой структуры показал наличие несвязанного кварца и гидросиликатов кальция (рис. 4). По причине низкого содержания портландцемента его гидратные формы не нашли отражения. Однако ускоренная гидратация портландцемента в процессе автоклавной обработки находит свое отражение на повышении качества автоклавированных образцов. Содержание свободного оксида кальция не обнаружено, что свидетельствует о полном связывании извести в гидросиликаты кальция в процессе автоклавной обработки. На рентгенограмме фиксируется уменьшение интенсивности отражения кварца, что свидетельствует о его взаимодействии с известью с образованием низкоосновных гидросиликатов

кальция тоберморитового типа, которые характеризуются высокой прочностью.

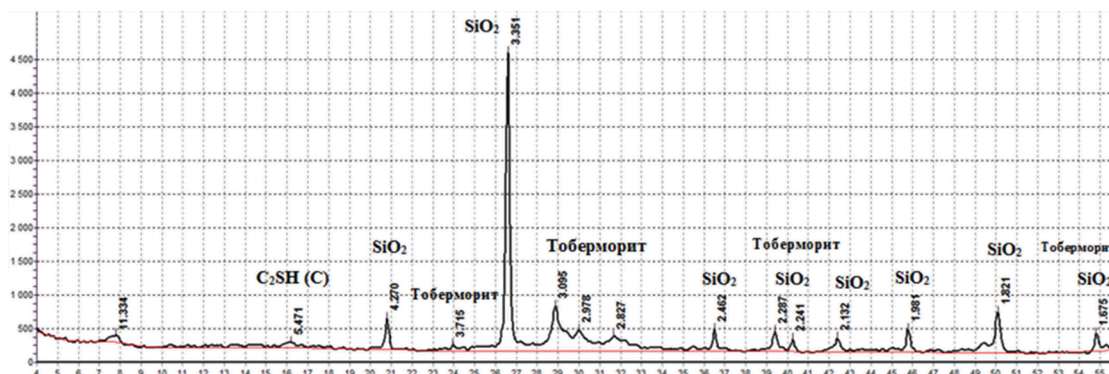


Рис. 4. Рентгенограмма образца ячеистой структуры с добавкой 7,5 % природного гипса от массы извести

Исследуемые образцы ячеистой структуры с добавкой природного гипса отличаются по прочности (табл. 1).

Таблица 1

### Изменение прочности образцов ячеистой структуры

Количество добавки гипса, %	Прочность образцов на сжатие, МПа
0	4,4
7,5	6,0
10	6,0

Образцы без добавки гипса характеризуются несколько пониженной прочностью до 4,4 МПа в сравнении с образцами с добавкой. Образцы с добавкой гипса 7,5 и 10,0 % от массы извести отличаются увеличением прочности до 6,0 МПа. Причиной повышения прочности образцов следует рассматривать увеличение количества гидросиликатов кальция в процессе автоклавной обработки за счет совместной гидратации портландцемента и интенсивного взаимодействия кварца с более мелкодисперсным гидроксидом кальция. Свободный гидроксид кальция отсутствует за счет интенсивного протекания реакции образования гидросиликатов кальция и предполагаемого образования комплексных соединений между гидроксидом кальция и растворимым полуводным гипсом [14–15]. Полученные данные по прочности образцов ячеистой структуры в процессе автоклавной обработки с добавкой гипса к извести характерны для ячеистых изделий плотностью не менее 500 кг/м<sup>3</sup>.

#### Выводы.

1. Добавка природного гипса замедляет процесс гашения быстрогасящейся извести активностью 85 % в 3–4 раза и в меньшем количестве при использовании горячей воды. Максимальная температура гашения извести составляет 94 °С.

2. При интенсивном процессе гидратации активного оксида кальция с добавкой двуводного гипса проходит процесс разложения  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  с образованием полуводного гипса с выраженным эндотермическим эффектом при температуре 126,9 °С, которая несколько ниже в сравнении с разложением двуводного гипса.

3. Совмещением экзотермического процесса гашения извести и эндотермического процесса дегидратации двуводного гипса находит отражение на свойствах продуктов гашения. Температура разложения гидроксида кальция при этом снижается и тем больше, чем выше добавка гипса, что отражается на изменении свойств продуктов гашения извести.

4. В условиях гашения извести с интенсивным тепловыделением и образованием среды насыщенного водяного пара возникающий полуводный гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  не обезвоживается и не переходит в нерастворимую форму, сохраняя свои химические свойства. Экзотермический эффект кристаллизации ангидрита при этом отсутствует.

5. Получаемые высокодисперсные продукты гашения извести и образование полуводного гипса при использовании добавки природного гипса к извести находят отражение на качестве вяжущего ячеистой структуры. Прочность автоклавированных образцов ячеистой структуры на основе извести с добавкой 7,5 % природного гипса от массы извести в 1,5 раза выше в сравнении с бездобавочными смесями композиционного вяжущего.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бойнтон Р.С. Химия и технология извести. М.: Стройиздат. 1972. 239 с.
2. Лугинина И.Г. Химия и химическая технология неорганических вяжущих материалов: учебное пособие, ч.1. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2004. 240 с.

3. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа. 1981. 334 с.
4. Машкин Н.А. Строительные материалы: учебное пособие. Новосибирск: НГАСУ. 2012. 200 с.
5. Кудярова Н.П. Свойства продуктов гидратации оксида кальция при изменении условий гашения извести // Известия вузов. Строительство. 2000. № 10. С. 70–74.
6. Кудярова Н.П., Ожерельева А.Ю. Влияние добавки гипса на скорость гашения и дисперсность получаемых продуктов // Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. [Электронный ресурс].
7. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. Учебник для вузов. М.: Высшая школа. 1980. 472 с.
8. Шпынова Л.Г. Исследование свойств извести // Строительные материалы. 1985. № 6. С. 26–27.
9. Котельников Ю.В. Состояние и перспективы развития производства извести // Строительные материалы. 2001. № 5. С. 38–39.
10. Глуховский В.Д. Основы технологии отделочных, тепло- и гидроизоляционных материалов. Киев: Вища школа. 1995. 288 с.
11. Бутт Ю.М., Рашкович Л.Н. Твердение вяжущих при повышенных температурах. М.: Стройиздат. 1965. 223 с.
12. Косенко Н.Ф., Макаров В.В. Исследование процесса замедления гидратации извести // Химия и химическая технология. 2007. №9. С.101.
13. Кафтаева М.В. Теория и практика ячеистых бетонов автоклавного твердения. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 150 с.
14. Potgieter J.H., Potgieter S.S. An empirical study of factors influencing lime slaking. Part II: lime constituents and water composition // Water SA. 2003. Vol.29. Pp 157–161.
15. Левченко В.Н. НААГ: 5 лет поступательного развития // НПК «Современный автоклавный газобетон». Краснодар. 2013. С. 4–8.

#### Информация об авторах

**Кудярова Нина Петровна**, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: kudyarova@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Ожерельева Анастасия Юрьевна**, магистр кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: ozhereljewa2010@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

---

Поступила в апреле 2019 г.

© Кудярова Н.П., Ожерельева А.Ю., 2019

<sup>1,\*</sup>*Kudyarova N.P., <sup>1</sup>Ozhereleva A.Y.*

<sup>1</sup>*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov  
Russia, 308012, Belgorod, st.. Kostyukova 46  
E-mail:Kudyarova@intbel.ru*

## EFFECT OF GYPSUM ADDITIVE ON QUALITY OF COMPOSITIONAL BINDING FOR PRODUCTS OF CELLULAR STRUCTURE

---

**Abstract.** *The effect of gypsum additives on the process of lime slaking and the quality of the composite binder is discussed. It is established that a different water-solid ratio, the water temperature and the use of an additive of natural gypsum can regulate the rate of the lime slaking process. The effect of this additive on the kinetics of the process, the temperature factor, the dispersion of the product and the quality of the products obtained by slaking are considered. During the hydration of highly active lime, the slaking temperature reaches high values, at which the process of gypsum dehydration begins. The combination of the exothermic process of lime slaking and the formation of a medium of saturated water vapor with the addition of natural gypsum to lime forms the semi-aquatic gypsum  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ . It does not dehydrate, does not become insoluble and retains its chemical properties. There is no exothermic effect of crystallization of anhydrite. Strength results of composite binder cellular structure demonstrate that lime-based binder samples with the addition of natural gypsum under autoclave conditions are more solid than binder-free samples.*

**Keyword:** *lime activity, gypsum modification, compositional binder, cellular structure, autoclave treatment.*

---

## REFERENCES

1. Boynton R.S. Chemistry and technology of lime. [*Himiya i tekhnologiya izvesti*]. M.: Stroyizdat. 1972, 239 p. (rus)
2. Luginina I.G. Chemistry and Chemical Technology of Inorganic Binding Materials: studies. allowance, part 1 [*Himiya i himicheskaya tekhnologiya neorganicheskikh vyazhushchih materialov*]. Belgorod: BGTU. 2004. 240 p. (rus)
3. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Saveliev V.G. Methods of physico-chemical analysis of binders. [*Metody fiziko-himicheskogo analiza vyazhushchih veshchestv*]. A manual for universities. M.: High School. 1981, 334 p. (rus)
4. Mashkin N.A. Building materials: a studies. Allowance [*Stroitel'nye materialy*]. Novosibirsk: NGASU. 2012. 200 p. (rus)
5. Kudayarova N.P. Properties of the products of calcium oxide hydration with changing of lime slaking conditions [*Svoistva productov gydratazii oksida calcija pri izmenenii uslovij gasheniya izvesty*]. Izvestiya VUZOV. Building. 2000. No. 10. Pp. 70–74. (rus)
6. Kudayarova N.P., Ozhereleva A.Yu. The effect of gypsum additives on the quenching rate and dispersion of the products obtained [*Vlijanie dobavki gypsa na skorost gascheniya i dispersnost polutschaemch productov*]. Materials of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists. Belgorod: Publishing House of BSTU. V.G. Shukhov, 2017. [Electronic resource]. (rus)
7. Butt Yu.M., Sychev M.M., Timashev V.V. Chemical technology of binding materials. [*Himicheskaya tekhnologiya vyazhushchih materialov*]: studies. allowance. M.: High School. 1980, 472 p. (rus)
8. Shpynova L.G. Study of the properties of lime [*Issledovanie svoystv izvesti*]. Construction materials. 1985. No. 6. Pp. 26–27. (rus)
9. Kotelnikov Yu.V. The state and prospects of development of lime production. [*Sostojanie i perspectiva razvitija proizvodstva izvesti*]. Construction materials. 2001. No. 5. Pp. 38–39. (rus)
10. Glukhovskiy V.D. Fundamentals of technology finishing, heat and waterproofing materials. [*Osnovy tekhnologii otdelochnyh, teplo- i gidroizolyacionnyh materialov*]. Kiev: Vitsa School. 1995, 288 p. (rus)
11. Butt Yu.M., Rashkovich L.N. Hardening binders at elevated temperatures. M.: Stroizdat. 1965, 223 p. (rus)
12. Kosenko N.F. Makarov V.V. Study of the process of slowing down the hydration of lime. [*Issledovanie processa zamedleniya gydratazii izvesti*] Chemistry and Chemical Technology. 2007. No 9. Pp. 101 (rus)
13. Kaftaeva M.V. Theory and practice of autoclaved aerated concrete [*Teoriya i praktika yachestnyh betonov avtoklavnogo tverdeniya*]. Belgorod: BSTU publishing house. 2012, 150 p. (rus)
14. Potgieter J.H., Potgieter S.S. An empirical study of factors influencing lime slaking. Part II: lime constituents and water composition. Water SA. 2003. Vol. 29. Pp 157–161.
15. Levchenko V.N. NAAG: 5 years of progressive development [*NAAG: 5 let postupatel'nogo razvitiya*]. SIC “Modern autoclaved aerated concrete”. Krasnodar. 2013. Pp. 4–8. (rus)

*Information about the authors*

**Kudayarova, Nina P.** PhD, Professor. E-mail: kudayarova@intbel.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukov, 46.

**Ozhereleva, Anastasiya Y.** Master. E-mail: ozhereljewa2010@yandex.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukov, 46.

---

Received in April 2019

**Для цитирования:**

Кудеярова Н.П., Ожерельева А.Ю. Влияние добавки гипса на качество композиционного вяжущего для изделий ячеистой структуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 96–101. DOI: 10.34031/article\_5d0a380978a0d8.85307277

**For citation:**

Kudayarova N.P., Ozhereleva A.Y. Effect of gypsum additive on quality of compositional binding for products of cellular structure. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 96–101. DOI: 10.34031/article\_5d0a380978a0d8.85307277