

УДК 666.923

**В.А. Шаманов, В.А. Голубев,
Е.А. Зверев, С.В. Леонтьев**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ИЗВЕСТИ ИЗ ОТХОДОВ КАМНЕДРОБЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОСИЛИКАТА

Развитие промышленности, перерабатывающей минеральное сырье, привело к образованию многомиллионных, невостребованных техногенных отходов горно-обогатительного комбината. Одним из перспективных способов утилизации этих отходов можно считать их переработку и получение извести для строительных целей. Показана возможность получения строительной извести из отходов камнедробления, пригодной для производства изделий из автоклавного газобетона.

Ключевые слова: известь, газосиликат, полиминеральное сырье, стандарт.

Высококачественная известь с активностью более 80 % является востребованным сырьем как в Пермском крае, так и в России в целом. По результатам анализа дефицит извести на рынке будет увеличиваться с темпами 3–5 % в год (рис. 1). Это обусловлено ростом сегментов потребителей извести, к которым относятся, в числе прочих, производители строительных материалов на основе автоклавного синтеза [1].

Примечательно, что в г. Перми расположены три действующих завода по производству силикатных материалов и изделий. Кроме того, Пермский край имеет несколько разрабатываемых месторождений карбонатного сырья (рис. 2), однако они имеют повышенную доломитизацию, не отличаются стабильным минералогическим составом и перерабатываются, как правило, в строительный щебень. В то же время большинство карьеров имеют огромные хранилища техногенных отходов, состоящих из продуктов дробления карбонатных пород с высоким содер-

жанием вредных примесей [2]. Эти насыпи располагаются в непосредственной близости от карьеров и, зачастую, рек, водоемов, представляя тем самым экологическую угрозу.



Рис. 1. Анализ объемов производства извести в России

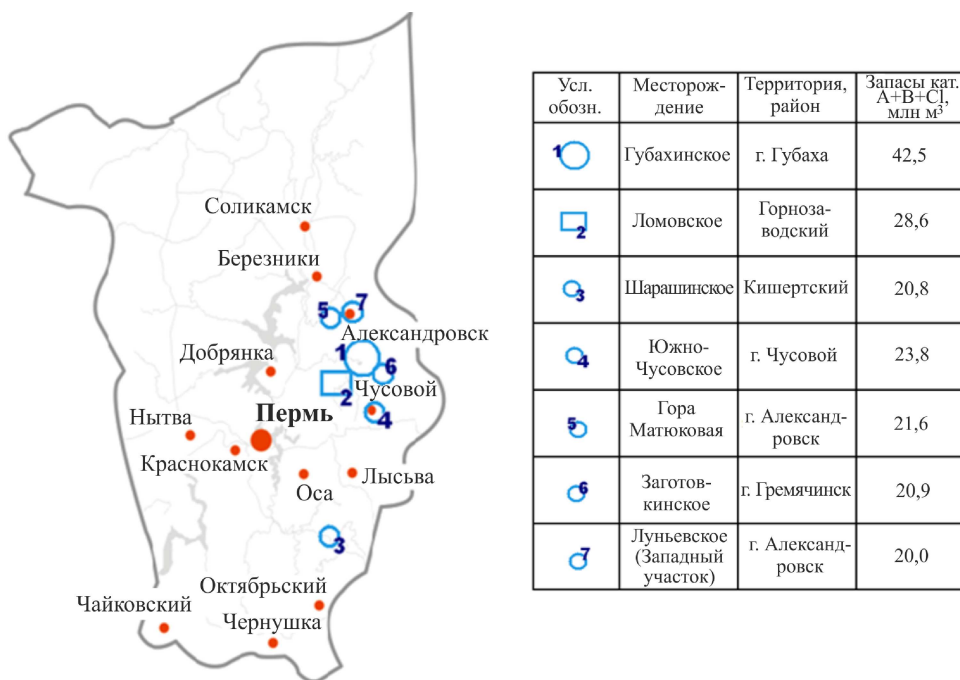


Рис. 2. Основные месторождения карбонатных пород Пермского края

Одним из способов решения данной проблемы является рекультивация земель, связанная с корректировкой ландшафта или захоронением складированных отходов, что, по сути, не способствует рациональному природопользованию и улучшению экологической ситуации. Более перспективным способом утилизации техногенных отходов можно считать их переработку и получение извести для строительных целей. Однако для реализации данного способа необходимо проведение комплекса исследований процесса подготовки и обжига мелкозернистых отходов дробления карбонатных пород, а также анализ возможности получения строительной извести различного назначения, например, для газобетона автоклавного твердения.

Стоит отметить, что получение газосиликата происходит в специальных установках – автоклавах, при избыточном давлении 0,8–1,2 МПа и температуре более 170 °С. В таких условиях между исходными материалами – известью и кремнеземистым компонентом – происходит взаимодействие с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция, которые придают газобетону высокую прочность и малую усадку. На полноту протекания реакции влияет множество факторов, в том числе качество исходного сырья и технологические параметры тепловлажностной обработки. При этом требования к качеству компонентов четко оговорены в ГОСТ 31359 [3]. Например, в качестве вяжущего для производства автоклавных ячеистых бетонов регламентировано применение извести негашеной кальциевой по ГОСТ 9179, имеющей скорость гашения 5–25 мин и содержащей активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ не менее 70 %. Однако известны случаи получения газосиликатов и на основе доломитовой извести [4]. При этом полученные образцы соответствуют требованиям к качеству изделий не только отечественных, но и зарубежных стандартов.

Таким образом, очевидно, что для производства автоклавного газобетона возможно применение не только кальциевой, но и доломитовой извести, отвечающей требованиям ГОСТ 9179. А положительным результатом эксперимента можно будет считать получение строительной извести активностью более 70 %, имеющей время гашения 5–25 мин.

На начальном этапе реализации эксперимента был изучен комплексный состав отходов, а также определен температурный диапазон разложения изучаемого сырья. Как показали данные

химического анализа, содержание оксида кальция в карбонат-содержащей смеси составляет 35–40 %, содержание оксида магния находится в пределах от 11 до 14 %, суммарное содержание окислов металлов не превышает 6 %. Как видно на рис. 3, полное разложение магнезита наблюдается при температуре около 750 °С, а диссоциация карбоната кальция начинается в интервале 830–860 °С.

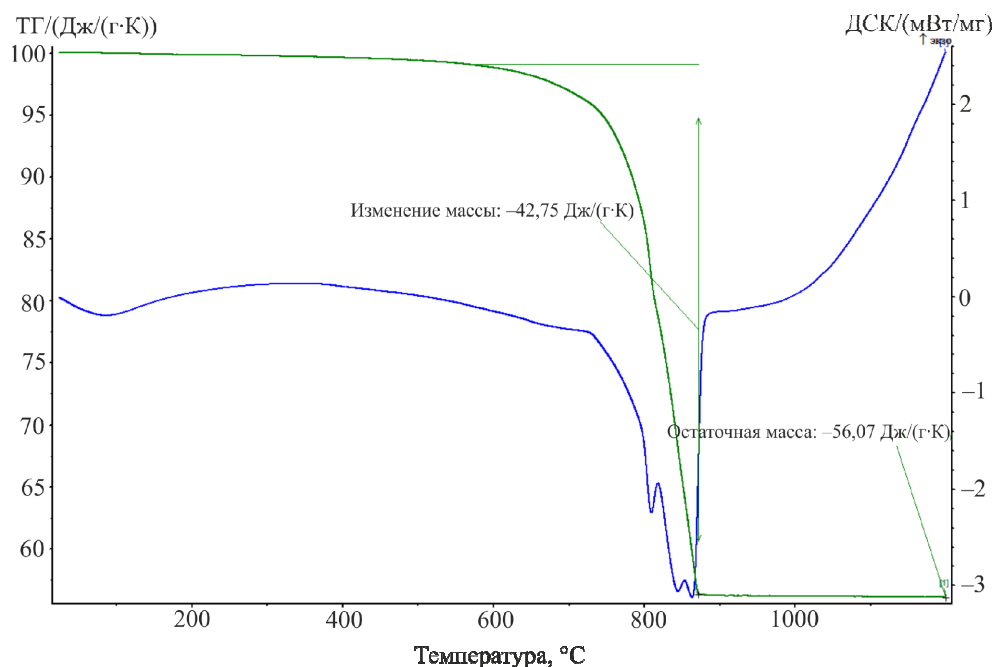


Рис. 3. Дериватограмма разложения известняков Чусовского карьера

С учетом особенностей протекания реакции декарбонизации в лабораторных условиях предположено, что полное разложение известняка начнет проходить при температуре 880–910 °С. На основании полученных данных были выбраны температурные интервалы обжига, варьируемые от 900 до 1000 °С. В связи с тем, что при производстве извести используются печи кипящего слоя, временной интервал обжига изменялся от 40 до 80 мин.

В ходе реализации плана эксперимента были получены адекватные воспроизводимые зависимости (рис. 4).

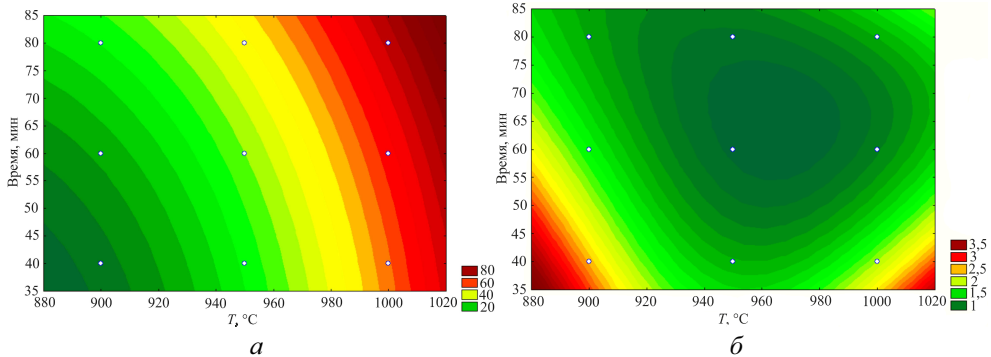


Рис. 4. Зависимость изменения активности (*a*) и времени гашения (*б*) извести от температуры и времени обжига

Исследование влияния температуры обжига известняка ($T_{\text{обж}}$) в пределах от 900 до 1000 °С, при времени обжига ($t_{\text{обж}}$) 40–80 мин на качество получаемой извести показало, что практически полная диссоциация карбоната кальция достигается в пределах $T_{\text{обж}}=980\dots1000$ °С при наибольшем $t_{\text{обж}}$. При этом активность полученной извести была максимальной и составила чуть менее 80 %. Таким образом, решая задачу оптимизации технологических параметров получения извести из отходов камнедробления, удалось получить известь 2-го сорта согласно ГОСТ 9179.

Принимая во внимание полученные зависимости, можно утверждать, что есть возможность получения высокоактивной строительной извести 1-го сорта. Описанные выше зависимости были приняты за основу оптимизации технологических параметров обжига известняка. При этом наибольший интерес вызывают такие целевые параметры, как активность извести (CaO+MgO, %) и время ее гашения ($t_{\text{гаш}}$, мин), а задача оптимизации сводится к подбору таких значений изменяемых факторов ($T_{\text{обж}}$, $t_{\text{обж}}$), при которых активность извести будет наибольшей и время гашения оптимальным (т.е. в пределах 10–15 мин).

Оптимизация параметров обжига известняка была проведена с помощью пакета «Поиск решения» программного комплекса Microsoft Office Excel. Стоит отметить, что для решения задачи оптимизации были описаны следующие условия:

- температура обжига должна быть минимальной и находиться в пределах 900–1000 °С;
- время обжига должно быть минимальным и находиться в пределах 40–80 мин;

- значение активности извести должно быть максимальным (целевая ячейка) и находиться в пределах 70–100 %;
- время гашения извести должно находиться в пределах 10–15 мин.

При решении первоначальной условной задачи оптимизации инструмент «Поиск решения» МО Excel выдавал некорректные значения. Предположительно это было связано с невозможностью удовлетворения условию нахождения значений времени гашения извести в узких пределах, превышающих опытные данные (так называемая «неразведанная область» функции). В итоге первоначальное условие было заменено на условие $t_{\text{гаш}} \leq 15$ мин. При этом были получены адекватные значения, соответствующие анализируемому графическим данным: наибольшее значение активности извести, равное 78,28 %, наблюдается при значении времени обжига известняка 80 мин и температуре обжига 1000 °С, а расчетное значение времени гашения извести составило 1,27 мин (1 мин 16 с).

В процессе поиска значений факторов, при которых активность будет больше или равна 85 %, были указаны новые условные ограничения оптимизации:

- значение температуры обжига 980–1050 °С;
- время обжига должно быть минимальным и не превышать значения 60 мин;
- значение активности извести должно быть максимальным (целевая ячейка): больше либо равно 85 %.

Результаты поиска и предсказания оптимальных значений для функции активности извести отражены в таблице.

Результаты поиска и предсказания значений факторов

Задача	Изменяемый фактор	Значение фактора	Значение функции	
			CaO+MgO, %	$t_{\text{гаш}}$, мин
Оптимизация	$T_{\text{обж}}$, °С	1000	78,26	1,27
	$t_{\text{обж}}$, мин	80		
Поиск	$T_{\text{обж}}$, °С	1037	86,2	4,69
	$t_{\text{обж}}$, мин	54		

В результате были получены следующие данные: при температуре 1037 °С и времени обжига 54 мин с вероятностью 95 % будет получена строительная известь 1-го сорта с активностью чуть более 85 %. Кроме того, при изменении параметров обжига можно получать известь с требуемыми характеристиками.

В заключение хотелось бы акцентировать внимание на следующем: особенностью рынка извести в России является то, что практически в каждом регионе страны имеются предприятия, производящие данную продукцию. Следует отметить, что свыше 80 % от общего объема производства приходится на долю технологической извести, которая практически в полном объеме используется ее производителями для собственных нужд. В связи с дефицитом сырьевой базы и растущим спросом на высокосортную известь очевидна востребованность проводимых исследований не только на территории Пермского края, но и всей России. На данный момент возможность получения строительной извести для производства автоклавных изделий показана при использовании отходов только одного карьера – Чусовского. В ближайшее время авторами планируется изучить составы карбонат-содержащих отходов других месторождений и разработать комплексную методику по их переработке.

Библиографический список

1. Волошина О.А. Тенденции российского рынка извести в посткризисный период // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2010. – № 6. – С. 23–29.
2. Зверев Е.А. Изучение возможности получения строительной извести из отходов горнодобывающей промышленности // Тез. докл. 64-й Всерос. науч. конф., г. Челябинск, 19–21 апр. 2012 г. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2012. – С. 57–60.
3. Шаманов В.А. Обзор требований государственных стандартов разных стран к сырьевой базе для производства автоклавного газобетона // Тез. докл. 64-й Всерос. науч. конф., г. Челябинск, 19–21 апр. 2012 г. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2012. – С. 36–39.
4. Подлuzский Е.Я., Новиков В.С., Сенатова К.С. Доломитовая известь из сырья Республики Беларусь // Материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 26–28 мая 2010 г. – Минск: СЛАВУТИЧ, 2010. – С. 112–115.

Получено 12.10.2012

V. Shamanov, V. Golubev, E. Zverev, S. Leontev

**ANALYSIS OF THE SUITABILITY LIME FROM
WASTE-LIMESTONE TO PRODUCE AAC**

Industrial development, mineral processing, has led to the formation of multi-million, unclaimed industrial waste mine. One of the promising methods for disposal of these wastes can be regarded as the processing and receipt of lime for construction purposes. This article shows the possibility of the construction of the waste lime lithoclasty suitable for the production of autoclaved aerated concrete.

Keywords: lime, aircrete, polymineral raw, standard.

Шаманов Виталий Альбертович (Пермь, Россия) – ассистент кафедры строительного инжиниринга и материаловедения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614010, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109, e-mail: vitshamanov@gmail.com).

Голубев Виктор Алексеевич (Пермь, Россия) – доцент кафедры строительного инжиниринга и материаловедения, декан строительного факультета, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614010, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109, e-mail: dekstf@pstu.ac.ru).

Зверев Елисей Алексеевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры строительного инжиниринга и материаловедения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614010, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109, e-mail: zea_smst@mail.ru).

Леонтьев Степан Васильевич (Пермь, Россия) – студент V курса, кафедра строительного инжиниринга и материаловедения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614010, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109, e-mail: n1306cl@ya.ru).

Shamanov Vitalij (Perm, Russia) – assistant of Department of building Engineering and Materials Perm National Research Polytechnic University (614010, Perm, Kuibyshev st., 109 vitshamanov@gmail.com).

Golubev Viktor (Perm, Russia) – assistant professor of Department of building Engineering and Materials Perm National Research Polytechnic University (614010, Perm, Kuibyshev st., 109, e-mail: dekstf@pstu.ac.ru).

Zverev Elisej (Perm, Russia) – Graduate student of Department of building Engineering and Materials Perm National Research Polytechnic University (614010, Perm, Kuibyshev st., 109, e-mail: zea_smst@mail.ru).

Leontev Stepan (Perm, Russia) – student of Department of building Engineering and Materials Perm National Research Polytechnic University (614010, Perm, Kuibyshev st., 109, e-mail: n1306cl@ya.ru).