

2. Ю.А. Рогова, Программно-аппаратный комплекс раннего оповещения о пожаре на основе дистанционного наблюдения и интеллектуального нейросетевого распознавания // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. №2 (40). 2022. С. 165-170
3. O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox. U-net: convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI. 2015. Pp. 234–241.
4. С.А.К. Диане, Е.А. Лесив, Методология автоматического синтеза обучающих множеств в задачах нейросетевого управления автономными роботами // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019): материалы XII междунар. конфер, 1–3 окт. 2019 г., Москва / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. –
5. М.: ИПУ РАН, 2019., С. 369 - 372

УДК 666.682:666.683

И.М. Терещенко, А.П. Кравчук

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

**ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕЦИКЛИНГА
КРЕМНЕГЕЛЯ – ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПРОИЗВОДСТВА
ФТОРИСТОГО АЛЮМИНИЯ**

Аннотация. Показана возможность создания высокоэффективных технологий получения технических продуктов: жидкого стекла, пеностекла и белой сажи на основе активированного кремнегеля

I.M. Tereshchenko, A.P. Kravchuk
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

**EFFICIENT RECYCLING TECHNOLOGIES FOR THE
SILICA GEL – BY-PRODUCT OF THE ALUMINUM FLUORIDE
PRODUCTION**

Abstract. The possibility of creating highly efficient technologies of technical products has been shown: liquid glass, foam glass and white soot based on activated silica gel

Кремнегель (далее – КГ) представляет собой побочный продукт производства минеральных удобрений и фтористых солей, выпадающий в осадок и отделяющийся от маточных растворов фильтрованием. Это дисперсная система, содержащая до 90 % аморфного SiO_2 , наряду с примесями алюминия и фтора и, при влажности 65–75 %, сохраняющая порошкообразное состояние, обладает высоким уровнем сорбционных свойств. Сочетание высокого содержания аморфного кремнезема в совокупности с его дисперсностью делает КГ перспективным сырьем для производства растворимых и нерастворимых силикатов, а также пеностекла и белой сажи на их основе. Однако эффективной промышленной технологии переработки КГ до недавнего времени создать не удавалось вследствие чего получаемый продукт в основном направляется в отвалы. Открытое складирование КГ наносит огромный ущерб окружающей среде в результате повышения содержания ионов Al^{3+} и F^- в почве, грунтовых водах и естественных водоемах. Употребление воды с избыточным содержанием упомянутых ионов приводит к нарушению метаболизма в живых организмах, вследствие чего необходимо снижать объем отвальных отходов, который превышает 500 тыс. тонн/год для стран СНГ [1]. В связи с этим промышленная переработка кремнегеля является перспективной и востребованной, хотя и не простой задачей. Анализ данных литературы [2, 3] и промышленной практики позволяет выделить основные факторы, обуславливающие громоздкость и неэффективность предложенных способов использования КГ в промышленности:

- высокое содержание воды (до 75 %). Термическое обезвоживание КГ требует больших затрат энергии (~850 кВт·ч/т), что отрицательно сказывается на экономической эффективности технологий на его основе;

- сохранение порошкообразного состояния при указанной влажности, в таком состоянии КГ химически пассивен и не реагирует, например, даже со щелочами;

- негативное влияние примесей в КГ (соединений F^- и Al^{3+}) на синтез продуктов. При этом в большинстве публикаций именно последнее обстоятельство выдвигается в качестве основной причины химической пассивности кремнезема – основного компонента КГ (89–90%).

В ходе исследований, проводимых в БГТУ установлено, что аналогичная проблема (пассивность кремнезема) имеет место при использовании природного кремнеземистого сырья – диатомитов в технологиях прямого растворения породы в щелочах. При этом, например, реакция между SiO_2 и NaOH практически не протекает при использовании кремнеземсодержащего сырья с карьерной влажностью более 35 %. После его сушки проблема исчезает, несмотря на большее содержание примесных компонентов в диатомите в сравнении с КГ.

Проведенные эксперименты с высушенным до 20% влаги кремнегелем показали, что для низкомолекулярных композиций ($M \leq 3,7$) достигается полное растворение кремнегеля в NaOH в течение 25 мин при температуре 80 °С и атмосферном давлении. Таким образом, примеси КГ, конечно, влияют на синтез щелочных силикатов, однако гораздо большее влияние оказывает мицеллярное строение водных дисперсий кремнезема, к которым безусловно, относится кремнегель. Мицеллярная структура, значительная толщина водных оболочек, высокая степень агрегации частиц кремнезема и есть основная причина химической пассивности как кремнегеля, так и природного кремнеземсодержащего сырья. Второй важный вывод – исходное кремнеземсодержащее сырье, включая КГ, следует предварительно активировать, но не термическим либо химическим способами, которые приводят к затратным и громоздким технологиям, а использовать процессы, не требующие значительных затрат энергии.

Как известно, в основе физических способов активации веществ, например, ультразвуковой обработки, лежит диспергация структурных составляющих и увеличение количества контактов между отдельными фазами.

При достаточной мощности ультразвуковых полей в дисперсных системах протекают изменения в жидкой среде, происходящие вследствие схлопывания и пульсирования кавитационных полостей, которые определяются совокупностью механических, тепловых, химических и электрических эффектов. В начальный период озвучивания ударное воздействие ультразвуковой волны, интенсивные колебания частиц и столкновения их друг с другом вызывают кавитационный разрыв связей между дисперсной фазой и дисперсионной средой и образование более совершенных гидратных оболочек. Одновременно происходит диспергирование частиц. Ультразвуковые колебания в процессе диспергирования частиц до определенной величины создают значительное увеличение свободной поверхностной энергии, более чем в 10 раз, при этом возросшие силы молекулярного действия препятствуют дальнейшему разрушению

материала. Далее диспергирование замедляется и образуется коагуляционная структура, устойчивая во времени.

Описанные выше процессы имеют место при ультразвуковом воздействии мощностью 100 Вт и частотой 26 кГц на влажный кремнегель. В ходе проведенных экспериментов выявлено следующее:

- исходный кремнегель с влажностью более 65 % быстро разжижается при затратах энергии 23–25 кВт·ч/т;

- переход КГ в текучее состояние с вязкостью 12–14 с по Энглеру осуществляется за счет перевода части (около 35 %) связанной воды в свободную. При этом суспензия остается стабильной во времени;

- происходит диспергация частиц SiO₂ и разрушение мицелл;

- резко возрастает химическая активность кремнезема (полное растворение в NaOH в течение 20–25 мин при температуре 80 °С). Примеси F⁻ и Al³⁺ при этом связываются в нерастворимые соединения.

Ниже приведены данные по изменению гранулометрического состава кремнегеля с влажностью 72 % после ультразвукового облучения в течение 10 мин (таблица 1.).

Как видно из приведенных данных, при 10 минутном ультразвуковом воздействии достигается содержание частиц размером менее 10 мкм более 60 %, что обеспечивает высокую реакционную способность кремнезема. Увеличение продолжительности ультразвукового воздействия до 15 минут практически не приводит к увеличению содержания мелких частиц.

Таблица 1- Распределение частиц по фракциям

Кремнегель	Объемное содержание, %						
	<2,0 мкм	2,0–5,0 мкм	5,0–10,0 мкм	10,0– 30,0	30,0– 60,0	60,0– 100,0	>100,0
исходный	1,8027	4,53	5,98	14,71	25,29	31,11	16,57
Обработанный УЗ (10 мин)	13,831	27,94	20,62	35,52	2,12	–	–

Применение ультразвуковой активации кремнегеля позволяет повысить реакционную способность кремнезема за счет снижения размера частиц, образования свежих поверхностей, разрыва водородных и силанольных связей и, как следствие, отделение свободной влаги. Результат, близкий к полученному в ходе ультразвуковой обработки КГ, был достигнут также при его механической активации. Эти факты позволили перейти к разработке промышленных вариантов эффективных одностадийных технологий производства многотоннажных продуктов на основе КГ, а именно растворимых силикатов щелочных металлов с силикатным модулем

1,5–3,7, а также осажденного нанодисперсного кремнезема (белая сажа).

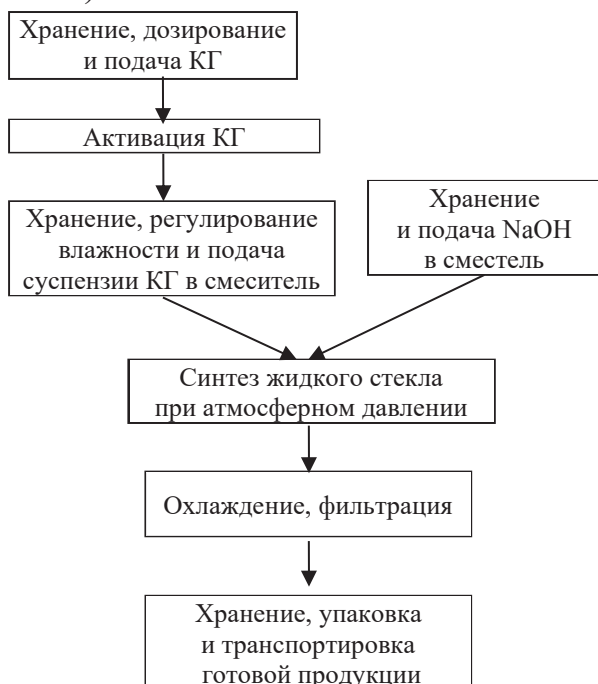


Рис. 3 - Функциональная блок-схема получения жидкого стекла на основе активированного кремнегеля

На рис. 3 приведена функциональная блок-схема получения жидкого стекла на основе КГ одностадийным безавтоклавным способом. При этом для получения щелочесиликатных растворов с силикатным модулем 1,5–3,7 предусматривается прямое растворение кремнезема едким натром при атмосферном давлении и температуре менее 100°C. Используется влажный кремнегель без подсушивания (влажность 65–70 %). Отделяемая в ходе активации вода является средой, в которой осуществляется синтез – щелочной компонент вводится в реактор в сухом состоянии, что упрощает технологический процесс.

Предложенная технология выгодно отличается от традиционной двухстадийной (дуплекс-способ), характеризующейся высокой энергоемкостью (250–350 кг. усл. топлива/т), использованием сложного технологического оборудования, наличием выбросов в атмосферу оксидов серы, углерода, оксидов азота и шламовых отходов.

Проведенные экономические расчеты показывают, что цеховая себестоимость жидкого стекла, получаемого по предложенной технологии, составляет 162,6 руб./т против 350 руб./т жидкого стекла, получаемого Домановским ПТК.

Кроме того, на основе активированного кремнегеля возможно получение силикатов щелочных металлов с модулем более 4 – граничного значения между растворимыми и нерастворимыми силикатами (полисиликатами). Получены натриевые силикаты с модулем до 7,3, которые вспениваются при температурах 300–450 °С, что позволяет их использовать для получения водостойких гранулированных материалов с плотностью ниже 200 кг/м³.

Таким образом, разработаны промышленные варианты

технологий получения как растворимых (силикатный модуль $M = 1,5-3,7$), так и нерастворимых ($M = 4,2-7,3$) щелочных силикатов на основе активированного кремнегеля. Активация кремнегеля позволяет регулировать водный баланс процессов синтеза щелочных силикатов, полностью устраняя основные проблемы, препятствующие его использованию в многотоннажных производствах, что создает предпосылки для получения важных в техническом отношении продуктов: жидкого стекла, вспененных гранулированных теплоизоляционных материалов и белой сажи по энергоэффективным, одностадийным, с замкнутым циклом, экологически чистым технологиям.

Список использованных источников

1. Донских В.И. Влияние фтора и его соединений на здоровье населения // Бюллетень ЕСНЦ СО РАМН. – №13, 2013. – Ч.2. – С. 179–185.
2. Мурашкевич А. Н., Жарский И. М. Кремнийсодержащие продукты комплексной переработки фосфатного сырья. Минск: БГТУ, 2002. – 386 с.
3. Мамченков Е.А. [и др.]. Физико-химические характеристики диоксида кремния – побочного продукта производства фторида алюминия // Вести КГУ им. А.И. Некрасова. – №6, 2013. – С. 17–20.

УДК 681.5:519.217

И.А. Третьяков

Донецкий государственный университет
Донецк

ВАРИАЦИИ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ В АСНИ ОБРАБОТКИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

Аннотация. В работе рассмотрены вариации скрытых марковских моделей (СММ) с нулевыми переходами и связанными параметрами, а также обоснована целесообразность и эффективность их применения в автоматизированных системах научных исследований (АСНИ) обработки речевых сигналов.