

УДК 691.57

Е. В. Лукаш¹, М. И. Кузьменков¹, Н. М. Шалухо¹, Д. М. Кузьменков¹, Е. А. Яценко²¹Белорусский государственный технологический университет²Южно-Российский государственный политехнический университет**СНИЖЕНИЕ СЛЕЖИВАЕМОСТИ МЕТАСИЛИКАТОВ НАТРИЯ
РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ГИДРАТНОСТИ**

В работе проведен анализ литературных и патентных источников в области методов снижения слеживаемости при производстве гранулированных или мелкодисперсных материалов, склонных к поглощению влаги из воздуха. Приведены способы снижения слеживаемости метасиликатов натрия, изучены основные потребительские свойства (гигроскопичность, слеживаемость, рассыпчатость, время растворения) синтезированного на кафедре химической технологии вяжущих материалов безводного метасиликата натрия, а также проведена его сравнительная характеристика с водорастворимыми формами метасиликата натрия отечественного и зарубежного производства. Установлено, что обработка поверхности синтезированного безводного метасиликата натрия различными антислеживающими материалами позволяет существенно снизить показатели гигроскопичности, слеживаемости и рассыпчатости. Отмечено, что наиболее высокие показатели слеживаемости наблюдаются у 9-водного метасиликата натрия производства ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат» (35,25 мас. %), наименьшей слеживаемостью обладает безводный гранулированный метасиликат натрия (Бельгия, SILMACO) – 1,98 мас. %. Изучено влияние различных антислеживающих материалов (стеарат натрия, стеарат калия, дегтярное мыло, рапсовое масло) на гигроскопичность, слеживаемость и рассыпчатость метасиликатов натрия. Установлено, что наилучшие показатели по слеживаемости и рассыпчатости обеспечил стеарат натрия. Все исследуемые вещества позволили снизить гигроскопичность метасиликатов натрия на 3–19 мас. %. Методом ИК-спектрального анализа установлено, что использование раствора стеарата натрия концентрации 1 мас. % в качестве антислеживающего агента не приводит к химическому взаимодействию.

Ключевые слова: метасиликат натрия, обработка, гигроскопичность, слеживаемость, рассыпчатость.

Для цитирования: Лукаш Е. В., Кузьменков М. И., Шалухо Н. М., Кузьменков Д. М., Яценко Е. А. Снижение слеживаемости метасиликатов натрия различной степени гидратности // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 98–105.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-12.

E. V. Lukash¹, M. I. Kuzmenkov¹, N. M. Shalukho¹, D. M. Kuzmenkov¹, E. A. Yatsenko²¹Belarusian State Technological University²South-Russian State Polytechnic University**REDUCING THE CAKING OF SODIUM METASILICATES WITH VARIABLE
DEGREES OF HYDRATION**

The work analyzes the literature and patent sources in the field of methods for reducing tracking in the production of granular or finely dispersed materials prone to moisture absorption from the air. The methods of reducing the traceability of sodium metasilicates are presented, the main consumer properties (hygroscopicity, traceability, friability, dissolution time) of anhydrous sodium metasilicate synthesized at the Department of Chemical Technology of binders are studied, and its comparative characteristics with water-soluble forms of sodium metasilicate of domestic and foreign production are carried out. It has been established that treating the surface of synthesized anhydrous sodium metasilicate with various anti-caking materials can significantly reduce hygroscopicity, caking and friability. It was noted that the highest caking rates are observed in 9-hydrate sodium metasilicate produced by OJSC “Domanovsky Production and Trade Plant” (35,25 wt. %), the lowest caking properties are in anhydrous granular sodium metasilicate (Belgium, SILMACO) – 1,98 wt. %. The influence of various anti-caking materials (sodium stearate, potassium stearate, tar soap, rapeseed oil) on the hygroscopicity, caking and friability of sodium meta-silicates was studied. It was found that sodium stearate provided the best performance in terms of caking and friability. All studied coupling agents made it possible to reduce the hygroscopicity of sodium metasilicates by 3–19 wt. %. By the method of IR spectral analysis, it was found that the use of a solution of sodium stearate with a concentration of 1 wt. % as an anti-tracking agent does not lead to chemical interaction.

Keywords: sodium metasilicate, finishing, hygroscopicity, caking, friability.

For citation: Lukash E. V., Kuzmenkov M. I., Shalukho N. M., Kuzmenkov D. M., Yatsenko E. A. Reducing the caking of sodium metasilicates with variable degrees of hydration. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 2 (283), pp. 98–105 (In Russian). DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-12.

Введение. Метасиликаты щелочных металлов применяются в различных отраслях промышленности, в частности в производстве кислотоупорных бетонов, моющих и чистящих средств, бытовой химии, отбеливателей и др. Метасиликаты натрия при хранении интенсивно поглощают влагу из воздуха, теряют свою сыпучесть и превращаются в камнеподобную массу, что делает невозможным их дальнейшее применение без использования дополнительного измельчения. Кроме того, слежавшийся материал создает сложности при транспортировании и дозировании, а также может быть причиной поломки вращающихся рабочих органов смесителя, что является большой проблемой для производителей и потребителей. Следовательно, метасиликаты натрия нуждаются в обработке специальными веществами, придающими гидрофобность, с целью предотвращения нежелательного явления – слеживания, зависящего от многих факторов (влажности, размера и формы частиц, их прочности, давления в слое, условий, продолжительности хранения и др.). Таким образом, сохранение эксплуатационных характеристик метасиликатов натрия при транспортировании и хранении является актуальной задачей.

Проблеме слеживания различных материалов посвящен ряд публикаций [1–6]. Отмечается, что способы снижения слеживания различных материалов основаны на анализе причин, которые их вызывают. С одной стороны, они связаны со снижением гигроскопичности, с другой стороны – с использованием различного рода материалов, препятствующих проникновению влаги к частицам вещества. Применение того или иного способа зависит от свойств материала, а также условий его хранения и применения. Причинами слеживаемости являются сцепление частиц между собой под давлением, образование новых химических соединений в результате взаимодействия компонентов продукта между собой или с окружающей средой, кристаллизация из растворов, смерзаемость и др. В зависимости от причины, вызывающей слеживание, возможны и различные способы его снижения.

Анализ литературных и патентных источников показал [1–10], что для предотвращения слеживания при производстве гранулированных или мелкодисперсных материалов, склонных к поглощению влаги из воздуха, широко применяется обработка их поверхности либо жидкими, либо порошкообразными веществами, которые, сорбируясь на поверхности частиц, снижают

их слипаемость. Преимущество этого способа перед другими состоит в том, что используется небольшое количество добавки (как правило, 0,02–0,50 мас. %), необходимой для обработки материала, что позволяет существенно снизить скорость поглощения влаги из воздуха и тем самым не вызывать снижения качества продукта. Гидрофобные добавки могут наноситься разбрызгиванием с помощью форсунок в виде водных или масляных растворов.

Широко применяются анионные поверхностно-активные вещества – акриловые сульфонаты, которые предотвращают слеживание путем торможения кристаллизации на поверхности вещества и уменьшения поверхностного натяжения за счет распределения солевого раствора по поверхности в виде тонкой пленки [2–7].

Наибольшее распространение получили катионные поверхностно-активные вещества (КПАВ), обладающие максимальной эффективностью. К КПАВам относятся жирные амины с длинной углеродной цепью, такие как гекса-, гепта- и октадециламин и др. Они представляют собой маслорастворимые соединения с полярной аминной группой, которые, сорбируясь на поверхности гранул, гидрофобизируют поверхность частиц [3, 4]. Минеральные масла являются самым распространенным гидрофобным агентом, который, являясь фактически растворителем всех компонентов, обеспечивает простоту дозирования, эффективное распределение поверхностно-активного вещества по всей поверхности материала, усиление гидрофобного действия в сочетании с уменьшением пыления.

Рядом исследований [1–4] установлено, что в качестве гидрофобных материалов также эффективны составы на основе нефтепродуктов отечественного производства ОАО «Нафтан», Мозырского НПЗ: вакуумный газойль (ТУ 38.1011304-90), экстракт нефтяной (ТУ РБ 05778477-25-93) и др.

Наряду с обработкой поверхностно-активными веществами для уменьшения слеживания материалов широко применяется опудривание различными добавками. В качестве таких добавок используются различные вещества минерального происхождения: мел, гипс, диатомит, талькомагнезит, кальцит и др., которые обладают большой удельной поверхностью. Они предназначены для создания на поверхности частиц защитного слоя, что практически полностью исключает непосредственный контакт между частицами. Механизм действия опудривающих добавок состоит в том, что, адсорбируя влагу из

воздуха, они уменьшают содержание свободной влаги в частицах материала, а также создают на поверхности защитную оболочку, исключаящую контакт частиц между собой.

Опудривающие добавки должны обладать хорошей адгезионной способностью и удерживаться на поверхности гранул, иначе в процессе транспортировки может происходить их частичное осыпание с поверхности частиц материала и скапливание в нижних слоях продукта. Кроме того, при хранении опудренных гранул на складах насыпью отмечается достаточно высокая запыленность складских помещений. Эффект обеспыливания носит временный характер.

В связи с вышеизложенным разработка способов уменьшения слеживаемости метасиликатов натрия является актуальной.

Основная часть. На кафедре химической технологии вяжущих материалов (ХТВМ) разработан способ получения безводного метасиликата натрия путем сернокислого осаждения кремнезема и его последующей щелочной обработки [11, 12]. Синтез безводного мета-

силиката натрия включал следующие этапы: обработка жидкого стекла серной кислотой 50%-ной концентрации; взаимодействие полученного кремнезема с водным раствором гидроксида натрия и образование геля метасиликата натрия; промывка фильтрата и кристаллизация безводного метасиликата натрия [11].

На первом этапе исследований были изучены основные потребительские свойства синтезированного безводного метасиликата натрия, а также проведена его сравнительная характеристика с водорастворимыми формами метасиликата натрия отечественного производства: 9-водный метасиликат натрия по ТУ ВУ 391095455.005-2017 производства ОАО «Домановский ПТК» (Республика Беларусь, г. п. Доманово); 5-водный метасиликат натрия производства ЧПУП «БелХимос» (Республика Беларусь, г. Лепель). В качестве зарубежного аналога использовался гранулированный безводный метасиликат натрия (Бельгия, SILMACO) [13].

Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика свойств метасиликатов натрия различной степени гидратности

Технические характеристики	Наименование продукта и показатели свойств			
	9-водный метасиликат натрия производства ОАО «Домановский ПТК»	5-водный метасиликат натрия производства ЧПУП «БелХимос»	Безводный гранулированный метасиликат натрия (Бельгия, SILMACO)	Безводный метасиликат натрия (синтезированный образец)
Внешний вид	Мелкокристаллический порошок белого цвета с оттенками от светло-желтого до светло-коричневого	Кристаллический порошок белого цвета. Допускается сероватый оттенок	Мелкокристаллические гранулы белого цвета	Мелкокристаллический порошок белого цвета
Массовая доля общей щелочности в пересчете на Na ₂ O, %, не менее (ГОСТ 13078–81, п. 3.9)	20,5	27,5–30,0	40	51,46
Массовая доля SiO ₂ , %, не менее (ГОСТ 13078–81, п. 3.4)	19,0	26,0–29,0	45	48,22
Модуль SiO ₂ /Na ₂ O (ГОСТ 13078–81, п. 3.10)	–	0,9–1,0	0,9–1,2	0,94
Массовая доля нерастворимых в воде примесей, %, не более	–	0,1–0,06	0,2	0,2
Массовая доля общей влаги, %, не более	59,0	45,0	–	–
Насыпная плотность, г/см ³	0,85	0,95	1,05–1,35	0,94
рН 1%-ного раствора	–	–	12–13	12
Растворимость, г/100 мл	18,8	18,8	18	18
Время растворения, мин	3,00	5,10	4,30	5,20
Степень белизны, %	–	–	Не менее 85	94

Из данных табл. 1 видно, что массовые доли Na_2O и SiO_2 синтезированного безводного метасиликата натрия равны 51,46 и 48,22 мас. % соответственно, что отвечает содержанию вышеуказанных веществ в гранулированном безводном метасиликате натрия (Бельгия, SILMACO) и согласуется с литературными данными [13].

Степень белизны оценивалась коэффициентом отражения. Согласно данным табл. 1, степень белизны синтезированного безводного метасиликата натрия составляет 94%, что согласуется с [13] и имеет важное значение при его использовании в качестве стабилизатора пероксида водорода при отбеливании тканей.

Как указывалось ранее, склонность метасиликатов щелочных металлов к слеживанию является одним из основных показателей, определяющих возможность их применения.

В работе в качестве материалов для обработки поверхности синтезированного безводного метасиликата натрия использовали водные растворы дегтярного мыла, стеарата натрия, стеарата калия, рапсового масла различной концентрации.

Обработка поверхности проводилась путем распыления раствора в лабораторных условиях с помощью пульверизатора с последующим перемешиванием порошка безводного метасиликата натрия. Высота насыпного слоя материала составляла 2 мм.

Результаты исследования влияния концентрации раствора на гигроскопичность синтезированного безводного метасиликата натрия представлены на рис. 1–5. Гигроскопичность образцов определяли по стандартной методике.

В качестве контрольного образца использовался необработанный раствором синтезированный безводный порошкообразный метасиликат натрия. Методика синтеза приведена в статье [11].

Исследование сорбции влаги необработанного раствором синтезированного порошкообразного безводного метасиликата натрия показало, что при продолжительности его хранения в течение 60 сут прирост массы составил 11,8% (за счет гигроскопической влаги). Причем в первые 10 сут прирост массы имеет максимальное значение и составляет 10,5%. С увеличением продолжительности хранения более 10 сут прирост массы незначителен и составляет до 2%.

Установлено, что наименьший прирост массы с увеличением времени хранения наблюдается у образца, обработанного раствором стеарата калия концентрацией 0,5–1,0 мас. % (2,06 и 3,47% соответственно на сухое вещество). При продолжительности хранения 30 сут потеря массы составила 0,4–0,6%, что почти в 19 раз ниже по сравнению с контрольным образцом.

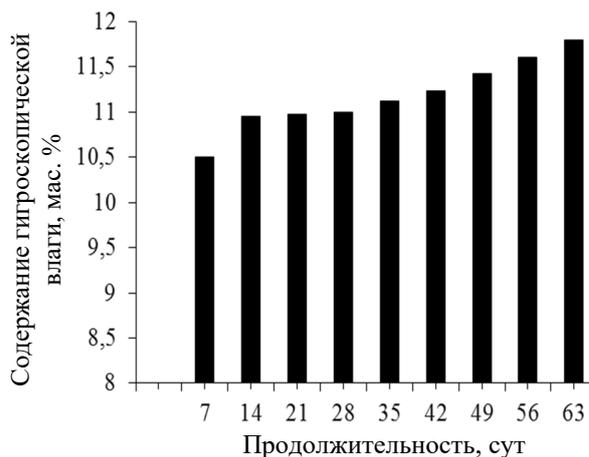


Рис. 1. Гистограмма сорбции влаги безводного синтезированного метасиликата натрия

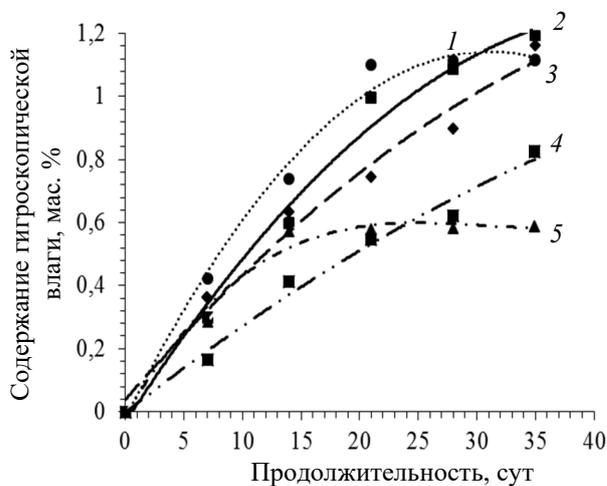


Рис. 2. Влияние концентрации раствора стеарата калия, мас. %, на гигроскопичность безводного метасиликата натрия: 1 – 0,1; 2 – 0,2; 3 – 0,3; 4 – 0,5; 5 – 1,0

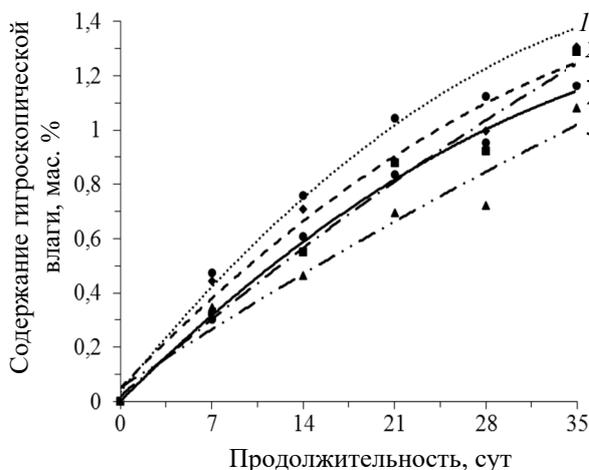


Рис. 3. Зависимость гигроскопичности безводного метасиликата натрия от концентрации раствора стеарата натрия, мас. %: 1 – 0,1; 2 – 0,2; 3 – 0,3; 4 – 0,5; 5 – 1,0

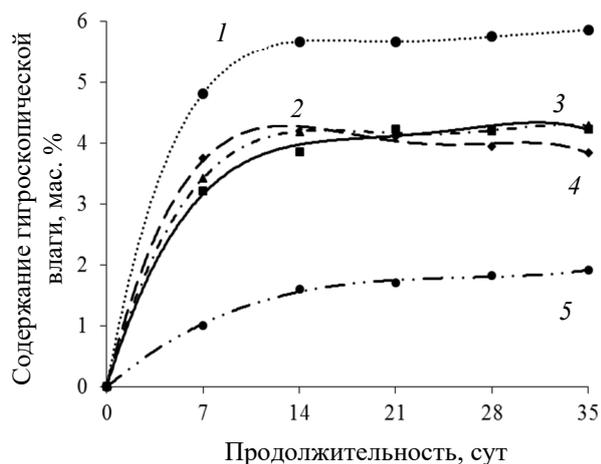


Рис. 4. Влияние концентрации раствора дегтярного мыла, мас. %, на гигроскопичность безводного метасиликата натрия: 1 – 0,1; 2 – 0,2; 3 – 0,3; 4 – 0,5; 5 – 1,0

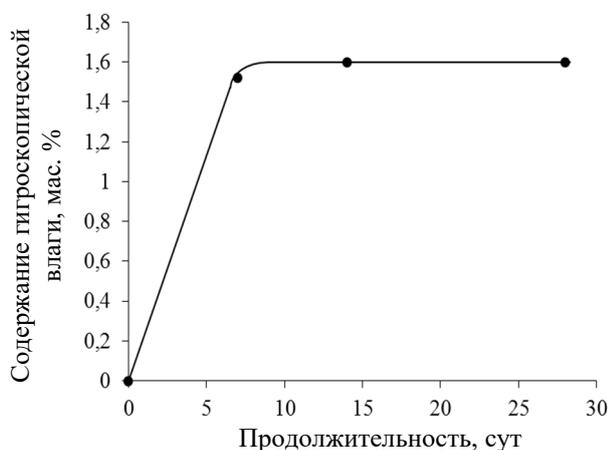


Рис. 5. Сорбция влаги порошкообразным безводным метасиликатом натрия, обработанным рапсовым маслом

Обработка более высококонцентрированным раствором стеарата калия приводит к несущественному снижению содержания гигроскопической влаги в материале по сравнению с 1%-ным раствором и является нерациональным за счет большего расхода.

Использование стеарата натрия показало, что наименьшее содержание гигроскопической влаги (1,0 мас. %) наблюдается у образца, обработанного 1%-ным раствором с массовой долей сухого вещества 5,53%.

Установлено, что применение дегтярного мыла концентрацией 0,5–1,0 мас. % обеспечивает снижение гигроскопичности материала при продолжительности хранения 10 сут – на 6,7–9,1 мас. %, 30 сут – на 7,5–9,6 мас. % по сравнению с контрольным образцом. Контрольный образец в возрасте 30 сут показал прирост массы 11,1%, что в 5,8 раз выше, чем в обработанном раствором материале. Однако использование дегтярного мыла

снижает степень белизны метасиликата натрия, что имеет важное значение при отбеливании тканей в текстильной промышленности.

Установлено, что применение рапсового масла позволяет снизить гигроскопичность синтезированного безводного метасиликата натрия примерно в 7 раз, но окрашивает материал в коричнево-желтый цвет.

На следующем этапе исследований изучалось влияние вышеуказанных растворов на слеживаемость и рассыпчатость безводного порошкообразного (синтезированный образец), гранулированного (Бельгия, SILMACO), а также 9-водного метасиликатов натрия (ОАО «Домановский ПТК»).

Определение слеживаемости и рассыпчатости исследуемых образцов проводили по методике «Экспресс-метод определения слеживаемости минеральных удобрений» ООО «ЕвроХим – Белореченские минудобрения» [14]. Согласно методике, испытанию подвергается порошкообразный или гранулированный продукт с определенным влагосодержанием и количеством антислеживающей добавки.

Для исследований использовались растворы оптимальных концентраций: стеарат калия – 0,5 мас. %, стеарат натрия – 1,0 мас. %.

В табл. 2 представлены показатели слеживаемости и рассыпчатости синтезированного по методике [11] безводного метасиликата натрия, обработанного растворами стеарата натрия и калия вышеуказанных концентраций.

Таблица 2

Слеживаемость и рассыпчатость безводного метасиликата натрия

Наименование добавки	Слеживаемость, мас. %	Рассыпчатость, мас. %
Стеарат калия	2,23	97,77
Стеарат натрия	1,07	98,93
Контрольный образец	3,48	96,52
Зарубежный аналог	1,98	98,02

В качестве контрольного образца использовался необработанный раствором синтезированный порошкообразный безводный метасиликат натрия, зарубежного аналога – безводный гранулированный метасиликат натрия (Бельгия, SILMACO) [13].

Из данных табл. 2 видно, что обработка поверхности безводного порошкообразного метасиликата натрия обеспечивает существенное снижение слеживаемости и увеличение рассыпчатости материала. Наибольшее снижение слеживаемости показал стеарат натрия. При использовании стеарата натрия слеживаемость снижается в 3,2 раза, стеарата калия – 1,5 раза.

Гранулированный образец безводного метасиликата натрия (зарубежный аналог) имеет более низкие показатели слеживаемости по сравнению с контрольным образцом (на 43,1 мас. %), вероятно, за счет меньшей поверхности контакта частиц с воздухом, т. е. округлой формы гранул.

Показатели слеживаемости и рассыпчатости 9-водного метасиликата натрия представлены в табл. 3.

Таблица 3
Слеживаемость и рассыпчатость 9-водного метасиликата натрия

Наименование добавки	Слеживаемость, мас. %	Рассыпчатость, мас. %
Стеарат калия	23,98	76,04
Стеарат натрия	15,08	84,92
Контрольный образец	35,25	64,75

В качестве контрольного образца использовался необработанный растворами антислеживающих добавок 9-водный метасиликат натрия (ОАО «Домановский ПТК»).

Как видно из табл. 3, применение стеарата натрия позволяет снизить слеживаемость 9-водного метасиликата натрия более чем на 50 мас. %. Несмотря на то, что 9-водный метасиликат натрия по сравнению с безводным имеет значительно более высокую слеживаемость, обусловленную большим содержанием кристаллогидратной воды в его составе, тем не менее применение антислеживающих материалов позволяет существенно повысить его рассыпчатость.

В Республике Беларусь метасиликаты натрия различной степени гидратности (как безводные, так и 5-водные, 9-водные) используются преимущественно в текстильной промышленности, в частности на РУПТП «Оршанский льнокомбинат» при отбеливании льняных тканей. При этом одним из важных потребительских свойств метасиликатов натрия, кроме гигроскопичности, слеживаемости и рассыпчатости, является время его растворения в воде.

В табл. 4 представлены сравнительные свойства синтезированного безводного метасиликата натрия, необработанного (контрольный образец) и обработанного (исследуемый образец) водным раствором стеарата натрия концентрацией 1,0 мас. %.

Таблица 4

Сравнительные свойства безводного метасиликата натрия

Наименование показателя	Безводный метасиликат натрия	
	Необработанный образец	Обработанный образец
Содержание гигроскопической влаги, мас. %	11,12	0,70
Время растворения, мин	5,20	6,10
Слеживаемость, мас. %	3,48	1,07
Рассыпчатость, мас. %	96,52	98,93

Время растворения определяли в соответствии с ТУ ВУ 391095455.005-2017 ОАО «Домановский ПТК». Содержание гигроскопической влаги устанавливали при продолжительности хранения 30 сут.

Установлено, что обработка поверхности безводного метасиликата натрия незначительно увеличивает время его растворения: с 5,20 до 6,10 мин. При этом содержание гигроскопической влаги и слеживаемость существенно снижается: с 11,12 до 0,70 мас. % и с 3,48 до 1,07 мас. % соответственно.

Методом ИК-спектрального анализа установлено, что использование раствора стеарата натрия концентрации 1 мас. % в качестве антислеживающего агента не приводит к химическому взаимодействию, на что указывает идентичность интенсивности полос поглощения обработанного и необработанного синтезированного безводного порошкообразного метасиликата натрия.

Заключение. В работе изучены основные потребительские свойства синтезированного безводного порошкообразного метасиликата натрия, а также проведена его сравнительная характеристика с водорастворимыми формами. Опыт производства 9-водного метасиликата натрия в ОАО «Домановский ПТК» показал, что его хранение в течение 1–3 недель неизбежно приводит к слеживанию, что является проблемой как для производителей, так и потребителей продукции. Установлено, что все исследуемые антислеживающие материалы позволяют снизить гигроскопичность синтезированного безводного порошкообразного метасиликата натрия, а также его водорастворимых форм на 3–19 мас. % по сравнению с контрольным образцом. Среди исследуемых антислеживающих материалов наиболее эффективно использование стеаратов натрия и калия.

Список литературы

1. Хамский Е. В. Кристаллизация в химической промышленности. М.: Химия, 1979. 344 с.
2. Дихтиевская Л. В., Шевчук В. В., Крутько Н. П. Разработка технологии получения гранулированных калийных удобрений с улучшенными физико-химическими и механическими свойствами // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2010. Т. 54, № 6. С. 57–61.

3. Разработка технологий кондиционирования мелкодисперсного и гранулированного хлорида калия / В. В. Шевчук [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. 2019. Т. 55, № 3. С. 288–298.
4. Щерба В. Я. Применение композиционных материалов на основе продуктов переработки нефтяных углеводородов для кондиционирования калийных удобрений // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. 2013. № 11. С. 64–68.
5. Позин М. Е., Копылев Б. А. Новые методы получения минеральных удобрений. М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1962. 235 с.
6. Хамский Е. В. Исследование в области химии и технологии минеральных солей и окислов. Л.: Наука, 1965. 316 с.
7. Кристаллизация и физико-химические свойства кристаллических веществ / Е. В. Хамский [и др.]. Л.: Наука, 1969. 135 с.
8. Лукаш Е. В., Шалухо Н. М., Некраш Н. С. Анализ способов слеживания метасиликатов щелочных металлов // Республиканская научно-практическая конференция с международным участием «Инновационные технологии переработки минерального и техногенного сырья химической, металлургической, нефтехимической отраслей и производства строительных материалов»: сб. науч. работ. Ташкент, 2022. С. 589–590.
9. Кувшинников И. М. Минеральные удобрения и соли: свойства и способы их улучшения. М.: Химия, 198. 256 с.
10. Терещенко А. Г. Гигроскопичность и слеживаемость растворимых веществ: монография. Томск: Томский политехнический университет, 2011. 79 с.
11. Лукаш Е. В., Шалухо Н. М., Качурина В. С. Получение и исследование свойств безводного метасиликата натрия // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 2 (247). С. 56–63.
12. Лукаш Е. В., Шалухо Н. М., Качурина В. С. Получение метасиликата натрия с повышенными эксплуатационными свойствами // 86-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием): сб. науч. работ. Минск, 2022. С. 75–76. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/47929> (дата обращения: 20.02.2024).
13. ICSC 0359. CAS 6834-92-0. Sodium metasilicate (anhydrous). URL: <https://www.chembk.com> (дата обращения: 01.02.2024).
14. Добра В. М. Методика. Экспресс-метод определения слеживаемости минеральных удобрений / ООО «ЕвроХим – БМУ». Белореченск, 2009. 5 с.

References

1. Khamsky E. V. *Kristalizatsiya v khimicheskoy promyshlennosti* [Crystallization in the chemical industry]. Moscow, Khimiya Publ., 1979. 344 p (In Russian).
2. Dikhtievskaya L. V., Shevchuk V. V., Krutko N. P. Development of technology for obtaining granular potash fertilizers with improved physico-chemical and mechanical properties. *Doklady Nacional'noy akademii nauk Belarusi* [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus], 2010, vol. 54, no. 6, pp. 57–61 (In Russian).
3. Shevchuk V. V., Dikhtievskaya L. V., Shlomina L. F., Krutko N. P., Markin A. D. Development of technologies for conditioning finely dispersed and granular potassium chloride. *Vesti Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya khimicheskikh nauk* [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of chemical sciences], 2019, vol. 55, no. 3, pp. 288–298 (In Russian).
4. Shcherba V. Ya. The use of composite materials based on petroleum hydrocarbon processing products for conditioning potash fertilizers. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Polotsk State University], Ser. V, Industry. Applied sciences, 2013, no. 11, pp. 64–68 (In Russian).
5. Pozin M. E., Kopylev B. A. *Novyye metody poluchenija mineral'nykh udobrenij* [New methods of obtaining mineral fertilizers]. Moscow, State Scientific and Technical Publishing House of Chemical Literature, 1962. 235 p. (In Russian).
6. Khamsky E. V. *Issledovaniye v oblasti khimii i tekhnologii mineral'nykh soley i okislov* [Research in the field of chemistry and technology of mineral salts and oxides]. Leningrad, Nauka Publ., 1965. 316 p. (In Russian).
7. Khamsky E. V., Podozerskaya E. A., Freydin B. M., Bykova A. N. *Kristalizatsiya i fiziko-khimicheskiye svoystva kristallicheskiykh veshchestv* [Crystallization and physico-chemical properties of crystalline substances]. Leningrad, Nauka Publ., 1969. 135 p. (In Russian).
8. Lukash E. V., Shalukho N. M., Nekrash N. S. Analysis of methods for tracking alkali metal metasilicates. *Respublikanskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem "Innovatsionnyye tekhnologii pererabotki mineral'nogo i tekhnogennogo syr'ya khimicheskoy, metallurgicheskoy,*

neftekhimicheskoy otrasley i proizvodstva stroitel'nykh materialov": sbornik nauchnykh rabot [Republican scientific and practical conference with international participation "Innovative technologies for processing mineral and man-made raw materials of chemical, metallurgical, petrochemical industries and production of construction materials": collection of scientific papers]. Tashkent, 2022, pp. 589–590 (In Russian).

9. Kuvshinnikov I. M. *Mineral'nyye udobreniya i soli: svoystva i sposoby ikh uluchsheniya* [Mineral fertilizers and salts: properties and ways to improve them]. Moscow, Khimiya Publ., 1987. 256 p. (In Russian).

10. Tereshchenko A. G. *Gigroskopichnost' i slezhivaemost' rastvorimykh veshchestv: monografiya* [Hygroscopicity and traceability of soluble substances: monograph]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2011. 79 p. (In Russian).

11. Lukash E. V., Shalukho N. M., Kachurina V. S. Preparation and investigation of properties of anhydrous sodium metasilicate. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU] issue 2, Chemical Technologies, Biotechnologies, Geocology, 2022, no. 2 (247), pp. 56–63 (In Russian).

12. Lukash E. V., Shalukho N. M., Kachurina V. S. Obtaining sodium metasilicate with enhanced performance properties. *86-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem): sbornik nauchnykh rabot* [86th scientific and technical conference of faculty, researchers and postgraduates (with international participation): collection of scientific papers]. Minsk, 2022, pp. 75–76 (In Russian). Available at: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/47929> (accessed 20.02.2024).

13. ICSC 0359. CAS 6834-92-0. Sodium metasilicate (anhydrous). Available at: <https://www.chembk.com> (accessed 01.02.2024).

14. Dobra V. M. *Metodika. Ekspress-metod opredeleniya slezhivaemosti mineral'nykh udobreniy* [Methodology. Express method for determining the traceability of mineral fertilizers]. Belorechensk, 2009. 5 p. (In Russian).

Информация об авторах

Лукаш Елена Вацлавовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химической технологии вяжущих материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ellukash@belstu.by

Кузьменков Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической технологии вяжущих материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kuzmenkov.bgtu@mail.ru

Шалухо Наталия Михайловна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химической технологии вяжущих материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: shalukho@belstu.by

Кузьменков Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: 310_chtvm@mail.ru

Яценко Елена Альфредовна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой общей химии и технологии силикатов. Южно-Российский государственный политехнический университет (346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, Российская Федерация). E-mail: yatsenko@mail.ru

Information about the authors

Lukash Elena Vatslavovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Chemical Technology of Binding Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ellukash@belstu.by

Kuzmenkov Mikhail Ivanovich – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Chemical Technology of Binding Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: kuzmenkov.bgtu@mail.ru

Shalukho Natalia Mikhailovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Chemical Technology of Binding Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shalukho@belstu.by

Kuzmenkov Dmitry Mikhailovich – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Life Safety. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: 310_chtvm@mail.ru

Yatsenko Elena Alfredovna – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of General Chemistry and Silicate Technology. South-Russian State Polytechnic University (132, Prosvescheniya str., Novocherkassk, Rostov region, 346428, Russian Federation). E-mail: yatsenko@mail.ru

Поступила 25.03.2024