

УДК 691.57

Е. В. Лукаш, Н. М. Шалухо, В. С. Качурина
Белорусский государственный технологический университет
**ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕЗВОДНОГО
МЕТАСИЛИКАТА НАТРИЯ**

В работе рассмотрены способы производства безводного метасиликата натрия, определены основные этапы его получения: первый – синтез кремнезема путем взаимодействия серной кислоты и жидкого стекла; второй – щелочная обработка осажденного кремнезема раствором гидроксида натрия; третий – кристаллизация безводного метасиликата натрия. Отмечается преимущество производства безводных метасиликатов щелочных металлов по сравнению с девяти- и пятиводными метасиликатами за счет достижения лучших эксплуатационных свойств, таких как высокое содержание основного вещества, более низкая гигроскопичность и время растворения.

Установлены оптимальные параметры переработки жидкого стекла на безводный метасиликат натрия путем сернокислотного осаждения кремнезема и его последующей щелочной обработки:

– сернокислотное осаждение кремнезема: соотношение жидкое стекло : серная кислота – 1 : 2; концентрация серной кислоты – 50%; температура процесса – 20°C; продолжительность – 1,5 ч;

– щелочная обработка: твердожидкое отношение – 1 : 6; концентрация раствора гидроксида натрия – 350 г/л; температура проведения синтеза – $95 \pm 1^\circ\text{C}$; время щелочной обработки – 90 мин.

Изучены основные потребительские свойства синтезированного безводного метасиликата натрия, в частности гигроскопичность и время растворения. Проведен сравнительный анализ вышеуказанных свойств метасиликатов натрия различной степени гидратности. Отмечено влияние формы частиц на основные потребительские свойства продукта.

Ключевые слова: метасиликат натрия, щелочной раствор, жидкое стекло, серная кислота, кремнезем.

Для цитирования: 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 (259). С. 56–63.

E. V. Lukash, N. M. Shalukho, V. S. Kachurina
Belarusian State Technological University
**OBTAINING AND INVESTIGATION OF PROPERTIES
ANHYDROUS SODIUM METASILICATE**

The paper considers the existing methods for the production of anhydrous sodium metasilicate, identifies the main stages of its production: the first is the synthesis of silica by the interaction of sulfuric acid and liquid glass; the second is alkaline treatment of precipitated silica with sodium hydroxide solution; the third is the crystallization of anhydrous sodium metasilicate. The advantage of the production of anhydrous alkali metal metasilicates in comparison with nine- and five-water metasilicates is noted due to the achievement of better performance properties, such as a high content of the main substance, lower hygroscopicity and dissolution time. The optimal parameters for the processing of liquid glass into anhydrous sodium metasilicate by sulfuric acid precipitation of silica and its subsequent alkaline treatment have been established:

– sulfuric acid precipitation of silica: the ratio of water glass : sulfuric acid – 1 : 2; sulfuric acid concentration – 50%; process temperature – 20°C; duration – 1.5 hours;

– alkaline treatment: solid-liquid ratio – 1 : 6; concentration of sodium hydroxide solution – 350 g/l; synthesis temperature – $95 \pm 1^\circ\text{C}$; alkaline treatment time – 90 min.

The main consumer properties of the synthesized anhydrous sodium metasilicate, in particular, hygroscopicity and dissolution time, have been studied. A comparative analysis of the above properties of sodium metasilicates of various degrees of hydration has been carried out. A significant influence of the particle shape on the main consumer properties is noted.

Key words: sodium metasilicate, alkaline solution, water glass, sulfuric acid, silica.

For citation: Lukash E. V., Shalukho N. M., Kachurina V. S. Obtaining and investigation of properties anhydrous sodium metasilicate. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2022, no. 2 (259), pp. 56–63 (In Russian).

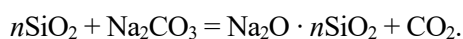
Введение. Метасиликаты щелочных металлов находят широкое применение в различных отраслях промышленности: в производстве жаростойких и кислотоупорных бетонов, как наполнитель в облегченных цементных растворах для цементирования буровых скважин, добавки в моющие средства и мыло, компонент жаростойких красок и др. В Республике Беларусь водорастворимые метасиликаты натрия (девяти- и пятиводные) преимущественно используются в текстильной промышленности на РУПТП «Оршанский льнокомбинат» как текстильно-вспомогательные вещества.

Основными производителями метасиликатов щелочных металлов различной степени гидратности в Республике Беларусь являются ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат» (аг. Доманово), а также ЧПУП «Белхимос» (г. Лепель). Безводные метасиликаты щелочных металлов в республике не производятся, а потребность в них покрывается за счет импорта в основном из Китая и Бельгии. Промышленное производство осуществляется в России, Армении, Бельгии, Китае. Кристаллические метасиликаты промышленного производства относятся к кристаллогидратам: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ (безводный), $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (пятиводный) и $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (девятиводный).

Несмотря на более высокую стоимость безводных метасиликатов щелочных металлов по сравнению с водорастворимыми формами, их применение является экономически целесообразным, поскольку обеспечивает более низкую дозировку в составе композиционных материалов за счет высокого содержания основного вещества, а также более низкие затраты на транспортировку, лучшие эксплуатационные свойства, в частности гигроскопичность и время растворения.

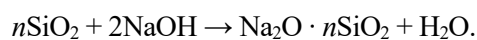
Сведения по получению безводных метасиликатов щелочных металлов в доступной литературе ограничены. Проведенный анализ литературных и патентных источников по способам получения безводных метасиликатов щелочных металлов позволил выделить два основных способа [1–14]: «сухой» способ, основанный на высокотемпературном взаимодействии кремнезема с карбонатом или сульфатом натрия; «мокрый» способ, заключающийся в растворении кремнезема в растворе каустической соды при атмосферном давлении и температурах ниже температуры кипения раствора щелочи.

При «сухом» способе подвергают сплавлению кремнеземсодержащие породы (например, кварцевый песок) и кальцинированную соду или сульфат натрия при температуре 1000–1200°C:



Такой способ является достаточно энергоемким.

При «мокроем» способе в результате взаимодействия аморфного кремнезема с раствором гидроксида натрия образуется водный раствор метасиликата натрия по реакции



Полученный раствор подвергают фильтрации и выпариванию.

Известны способы получения кристаллогидратов метасиликата натрия из различного нетрадиционного кремнеземсодержащего сырья (кремнеземсодержащие аморфные породы осадочного происхождения: опока, трепелы, диатомиты) [2, 13]. Из указанного кремнеземсодержащего сырья можно получить низкомолекулярные растворы силиката натрия, из которых могут быть в последующем выделены кристаллы девяти- и пятиводного метасиликата натрия. Однако в большинстве случаев использование горных пород ввиду наличия в их составе примесей, снижающих выход готового продукта, не получило широкого распространения.

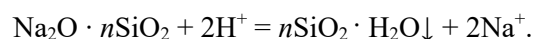
Получение безводной соли путем нагревания кристаллогидратов при температуре 100–300°C сопровождается определенными технологическими трудностями (налипание материала на стенки аппарата) и требует контроля колебаний температуры.

Целью настоящей работы является получение безводного метасиликата натрия путем сернокислотного осаждения кремнезема из жидкого стекла с его последующей щелочной обработкой и исследование свойств готового продукта.

Основная часть. Поисковые исследования по определению оптимальных режимов получения безводного метасиликата натрия были условно разделены на следующие этапы: первый – синтез кремнезема путем взаимодействия серной кислоты и жидкого стекла; второй – щелочная обработка осажденного кремнезема раствором гидроксида натрия; третий – кристаллизация безводного метасиликата натрия [1, 2].

Разработка режима сернокислотного осаждения кремнезема. Сернокислотный синтез осажденного SiO_2 предусматривает следующие стадии: осаждение кремнезема в лабораторном реакторе; фильтрация и промывка полученного продукта; сушка.

Взаимодействие кислот с раствором силиката натрия сводится к реакции [12, 14]



Известно, что в зависимости от способности аниона сорбироваться на поверхности кремнезема полная или частичная нейтрализация жидкого стекла кислотой визуально может давать различные результаты: выпадение объемного аморфного осадка (коагуляция), образование

студнеобразной массы (гелеобразование), помутнение раствора (образование золя) [14]. Чем выше концентрация и температура силикатного раствора, тем вероятней выпадение осадка кремнезема или гелеобразование.

На первом этапе исследований необходимо было установить влияние основных технологических параметров на выход, состав и качество целевого продукта.

Для проведения эксперимента в качестве исходных сырьевых материалов были использованы натриевое жидкое стекло с силикатным модулем $n = 3,1$ производства ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат» (аг. Доманово) и серная кислота квалификации «хч». Натриевое жидкое стекло представляет собой водный щелочной раствор силикатов $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, в которых анионная часть представлена в виде поликремниевых кислот различной полимерности [12]. Применение жидких стекол с силикатным модулем более 4 нецелесообразно, поскольку они труднорастворимы в воде либо не образуют с ней устойчивых систем. При дальнейшем повышении концентрации силикатные растворы последовательно проходят состояния малоподвижных жидкостей, желеобразных масс и хрупкого стекловидного тела [12].

С целью определения оптимальных условий осаждения кремнезема из жидкого стекла изучены следующие параметры: концентрация осадителя – серной кислоты, температура и продолжительность проведения процесса.

В промышленности кремнезем получают смешиванием силикатных растворов с избытком кислоты, промывкой и сушкой полученного продукта [14].

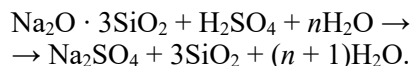
В лабораторный реактор подавалось жидкое стекло и серная кислота (в различном диапазоне концентраций) в соотношении 1 : 2 частей по массе при постоянном перемешивании (450 об^{-1}). Соотношение жидкое стекло : $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{конц}}$ (частей по массе) при различных концентрациях серной кислоты представлено в табл. 1. Стехиометрическое соотношение жидкое стекло : $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{конц}}$ составляет 1,0 : 0,4.

Таблица 1
Зависимость соотношения жидкое стекло : $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{конц}}$ от концентрации серной кислоты

Концентрация серной кислоты, мас. %	Соотношение жидкое стекло : $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{конц}}$
30	1 : 0,20
40	1 : 0,29
50	1 : 0,39
60	1 : 0,50
70	1 : 0,62

Полученный гель SiO_2 отфильтровывался и промывался водой от осадка Na_2SO_4 , после чего высушивался в сушильном лабораторном шкафу при температуре $105 \pm 5^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

Сернокислотное осаждение SiO_2 осуществляется по реакции



Однако в химии растворимого и жидкого стекла результат взаимодействия трудно, а иногда невозможно свести к ряду химических реакций. Это обусловлено сложным полимерным составом щелочного раствора силикатов, неизвестным характером полимерных превращений в ходе взаимодействия, аморфным состоянием продуктов реакции [12]. Результат взаимодействия реагентов будет зависеть от ряда факторов: концентрации, интенсивности перемешивания реагентов, температуры проведения процесса и т. д.

В связи с вышеизложенным на первом этапе работы было исследовано влияние концентрации серной кислоты (в диапазоне от 30 до 70 мас. %) на выход SiO_2 (рис. 1). За 100% принимали выход SiO_2 по стехиометрическому расчету.

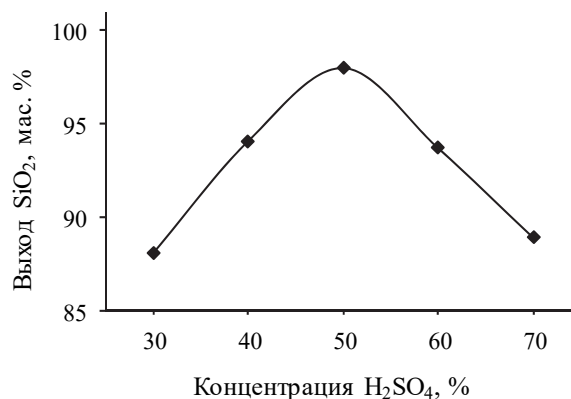


Рис. 1. Зависимость выхода SiO_2 от концентрации серной кислоты

Установлено, что в зависимости от изменения концентрации серной кислоты выход кремнезема составил 88,1–98,0%.

Наибольший выход продукта получен при концентрации серной кислоты 50%, что объясняется ее большей реакционной способностью по сравнению с более высококонцентрированной кислотой и влияет на полноту протекания реакции. При концентрации кислоты менее 50% степень извлечения SiO_2 снижается, что, вероятно, связано с неполнотой протекания процесса сернокислотного взаимодействия.

Изучение влияния температуры процесса на осаждение SiO_2 проводилось при следующих параметрах: температура – $20\text{--}50^\circ\text{C}$; концентрация

серной кислоты – 50%; продолжительность процесса – 90 мин (рис. 2).

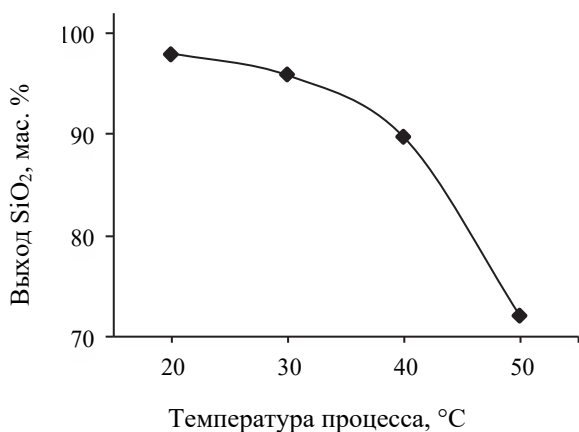


Рис. 2. Влияние температуры осаждаемой суспензии на выход целевого продукта

Установлено, что с увеличением температуры процесса выход продукта уменьшается с 98 до 72%. Это может быть связано с обратным частичным растворением наиболее мелкодисперсной части осадка. Оптимальной температурой является 20°C, при которой выход SiO₂ в осадок составляет 98%.

Изучение влияния продолжительности процесса осаждения на выход SiO₂ проводилось при следующих технологических параметрах: температура – 20°C; концентрация осадителя – 50%. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние продолжительности процесса осаждения на выход SiO₂

Продолжительность процесса осаждения, ч	Выход SiO ₂ , мас. %
1,0	89,3
1,5	98,0
2,0	96,5

Увеличение продолжительности процесса осаждения от 1 до 1,5 ч приводит к повышению выхода кремнезема от 89,3 до 98,0%, что свидетельствует о полноте протекания реакции сернокислотного разложения силикатного раствора.

Дальнейшее увеличение длительности процесса осаждения до 2 ч приводит к некоторому снижению выхода SiO₂ (с 98,0 до 96,5%), что может быть связано с обратным растворением мелкодисперсной части осадка.

Оптимальной продолжительностью процесса можно считать 1,5 ч.

Таким образом, сернокислотное осаждение кремнезема целесообразно осуществлять при

следующих технологических параметрах: соотношение жидкое стекло : серная кислота – 1 : 2; концентрация серной кислоты – 50%; температура процесса – 20°C; продолжительность – 1,5 ч.

Проведенный рентгенофазовый анализ образцов осажденного кремнезема подтвердил аморфную структуру полученного продукта, что предопределяет его быстрое взаимодействие с раствором гидроксида натрия с образованием геля метасиликата натрия.

Щелочная обработка кремнезема раствором гидроксида натрия. Щелочная обработка кремнезема является основным процессом в гидротермальном синтезе силикатов натрия [3]. Кинетика процесса щелочной обработки подчиняется сложным закономерностям и зависит от многих факторов, характер изменения которых интерпретировать однозначно не представляется возможным.

При исследовании оптимальных условий щелочной обработки изучены следующие параметры: концентрация раствора NaOH, соотношение SiO₂ : щелочной раствор и температура проведения процесса.

Щелочная обработка кремнезема раствором гидроксида натрия осуществлялась в реакторе на водяной бане при температуре 95 ± 1°C в течение 90 мин. Полученный раствор метасиликата натрия упаривали до сиропообразного состояния, после чего гель метасиликата высушивался в сушильном шкафу при температуре 105 ± 5°C. Из литературных данных [3, 13, 15, 16] известно, что удаление кристаллогидратной влаги из метасиликатов натрия различной степени гидратности начинается уже при температуре 100°C.

На первом этапе исследования определяли влияние соотношения твердой и жидкой (щелочной раствор) фаз на выход метасиликата натрия (табл. 3). За 100% принимали выход метасиликата натрия по стехиометрическому расчету. Стехиометрическое соотношение SiO₂ : NaOH (частей по массе на сухое вещество) составило 0,75 : 1,0.

Анализ литературных и патентных источников [3–10] показал, что концентрация раствора NaOH может находиться в диапазоне 100–400 г/л; соотношение SiO₂ : щелочной раствор – 1 : 2–1 : 8; температура проведения синтеза – 85–100°C.

При проведении эксперимента использовали как высушенный порошкообразный аморфный SiO₂, так и гель кремнезема с влажностью 65%, образующийся в процессе синтеза. Температура процесса щелочной обработки составляла 95 ± 1°C, время синтеза – 90 мин,

концентрация щелочного раствора – 300 г/л. Установлено, что при концентрации щелочного раствора 300 г/л наибольший выход целевого продукта был получен при отношении SiO_2 : щелочной раствор, равном 1 : 6 – 91,20% (при использовании порошкообразного аморфного SiO_2) и 87,5% (при использовании геля кремнезема).

Таблица 3
Зависимость выхода метасиликата натрия от соотношения твердой и жидкой фаз

Отношение SiO_2 : щелочной раствор	Отношение SiO_2 : NaOH (частей по массе на сухое вещество)	Форма	Выход метасиликата натрия, мас. %
1:1	0,75 : 0,19	Порошок	Агломерация
		Гель	
1:2	0,75 : 0,37	Порошок	55,6
		Гель	
1:3	0,75 : 0,55	Порошок	61,7
		Гель	58,8
1:4	0,75 : 0,74	Порошок	71,8
		Гель	69,8
1:5	0,75 : 0,93	Порошок	73,1
		Гель	71,9
1:6	0,75 : 1,11	Порошок	91,2
		Гель	87,5
1:7	0,75 : 1,32	Порошок	Избыток NaOH
		Гель	Избыток NaOH

При отношении SiO_2 : щелочной раствор 1 : 7 выход метасиликата натрия составил более 100%, что свидетельствует об избытке щелочи в целевом продукте. Следовательно, получение низкомолекулярных растворов (менее 0,6) нежелательно, поскольку приводит к тому, что выделяемый кристаллогидрат содержит избыточное количество щелочи и требует его дополнительной очистки. На следующем этапе работы варьировали концентрацией раствора NaOH в диапазоне 100–400 г/л (табл. 4).

Установлено, что наибольший выход метасиликата натрия (98,83%) получен при концентрации раствора NaOH 350 г/л, что объясняется полной протекания реакции. При концентрации NaOH более 350 г/л в целевом продукте появляется избыток щелочи.

Анализ литературных данных [1–14] показал, что температура процесса щелочной обработки может варьироваться от 85 до 100°C. Установлено, что при температуре 85°C выход целевого продукта снижается до 94%. Это, вероятно, связано с неполной протекания процесса. При температуре выше 95°C выход безводного метасиликата натрия существенно не изменяет-

ся, поэтому за оптимальную температуру процесса щелочной обработки принята $95 \pm 1^\circ\text{C}$.

Таблица 4
Зависимость выхода целевого продукта от концентрации щелочного раствора

Концентрация раствора NaOH (жидкой фазы), г/л	Выход метасиликата натрия, мас. %
100	53,51
200	70,61
300	91,20
350	98,83
400	Избыток NaOH

Таким образом, разработаны оптимальные параметры процесса щелочной обработки кремнезема: отношение SiO_2 : щелочной раствор – 1 : 6; концентрация щелочного раствора NaOH – 350 г/л; температура проведения синтеза – $95 \pm 1^\circ\text{C}$; время щелочной обработки – 90 мин. Методом химического анализа установлен вещественный состав полученного продукта, мас. %: Na_2O – 48,22; SiO_2 – 51,46; примеси – остальное, что согласуется с литературными данными [16] и соответствует безводному метасиликату натрия. Основными потребительскими свойствами безводного метасиликата натрия являются гигроскопичность (метасиликаты натрия подвержены слеживанию) и время растворения в воде.

Определение времени растворения осуществлялось при концентрации раствора метасиликата натрия 306,25 г/л (в соответствии с данными по ТУ ВУ 391095455.005-2017 ОАО «Домановский ПТК»). При определении времени растворения установлено, что наиболее высокая скорость растворения наблюдается у девятиводного метасиликата натрия, что обусловлено значительным содержанием кристаллогидратной воды в его составе (табл. 5). Опытный образец безводного метасиликата натрия показал наибольшее время растворения, равное 5,20 мин.

Метасиликаты натрия, являясь водорастворимыми при хранении (даже относительно краткосрочном), под воздействием влаги, содержащейся в определенном количестве в воздухе, растворяются в поверхностном слое. В дальнейшем при изменении температурных условий хранения происходит спонтанная (самопроизвольная) кристаллизация, т. е. выпадение кристаллов указанных солей.

Продукты, обладающие высокой слеживаемостью, при длительном хранении и транспортировке переходят из сыпучего состояния в комкообразное или монолитное, что значительно снижает их потребительские свойства [17]. Поэтому на следующем этапе исследований необходимо было изучить гигроскопичность полученного продукта.

Таблица 5

Основные потребительские свойства метасиликатов натрия различной степени гидратности

Наименование вещества	Форма	Время растворения, мин	Гигроскопичность, мас. %
Безводный метасиликат натрия (Бельгия)	Гранулы	4,30	2,96
Безводный метасиликат натрия (опытный образец)	Порошок	5,20	4,21
Пятиводный метасиликат натрия ЧПУП «БелХимос»	Порошок	5,10	6,09
Девятиводный метасиликат ОАО «Домановский ПТК»	Порошок	3,00	7,33

Гигроскопичность образцов метасиликатов натрия различной степени гидратности определялась после их нахождения в воздушно-сухих условиях в течение 30 сут. Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Установлено, что наибольшей гигроскопичностью (7,33%) обладает девятиводный метасиликат натрия, наименьшей (2,96%) – безводный гранулированный метасиликат натрия, что обусловлено меньшей поверхностью контакта зерен с воздухом, т. е. округлой формой гранул. Показатель гигроскопичности опытного образца в 1,7 раза меньше по сравнению с девятиводным метасиликатом натрия, однако в 1,4 раза больше по сравнению с гранулированным безводным метасиликатом.

Проблема разработки способов снижения слеживаемости метасиликатов натрия является весьма актуальной, поскольку повышенная гигроскопичность затрудняет их использование у потребителей.

Склонность метасиликатов щелочных металлов к слеживанию является одним из основных показателей, определяющих возможность их применения. Таким образом, сохранение эксплуатационных характеристик при транспортировании и хранении является актуальной задачей.

Закключение. В работе проведен анализ способов получения безводного метасиликата натрия. Изучены основные потребительские свойства метасиликатов натрия различной степени гидратности: гигроскопичность и время растворения. Установлено влияние формы частиц на основные потребительские свойства метасиликата натрия.

Определены оптимальные параметры процесса сернокислотного осаждения кремнезема и последующей его щелочной обработки. Разработана технология получения безводного метасиликата натрия, что позволит обеспечить импортозамещение.

Список литературы

1. Качурина В. С., Лукаш Е. В. Получение безводного метасиликата натрия // 72-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: в 2 ч. Минск, 12–23 апр. 2021 г. Минск: БГТУ, 2021. Ч. 2. С. 207.
2. Качурина В. С., Лукаш Е. В. Переработка жидкого стекла на безводный метасиликат натрия // Химическая технология и биотехнология в XXI веке: XXV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых. Шимкент, 23–26 нояб. 2021 г. Шимкент, 2021. С. 78–79.
3. Выбор оптимальных условий термической обработки диатомита Инзенского месторождения Ульяновской области для синтеза кристаллических силикатов натрия / Е. Н. Филиппович [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 5. С. 83–86.
4. Способ получения безводного гранулированного метасиликата натрия: пат. 586123 СССР, МПК С01В 33/32; заявл. 01.07.1976; опубл. 30.12.1977.
5. Способ получения метасиликата натрия: пат. 16118660 СССР, МПК С01В 33/32; заявл. 21.07.1988; опубл. 07.12.1990.
6. Способ получения метасиликата натрия: пат. 164584 СССР, МПК С01В; № 846690/29-14; заявл. 01.07.1963; опубл. 10.10.1964.
7. Способ получения метасиликата натрия: пат. 434060 СССР, МПК С01В; № 1685381/23-26; заявл. 20.07.1971; опубл. 05.03.1974.
8. Способ получения метасиликата натрия: пат. 103754890 Китай, МПК С01В 033/32; № 0691724; заявл. 17.12.2013; опубл. 30.04.2014.
9. Способ получения безводного метасиликата и элементарной серы из шлака обработанного сернокислотного обожженного: пат. 102092733 Китай, МПК В09В–003/00; № 0569126; заявл. 01.12.2010; опубл. 15.06.2011.
10. Способ получения безводного метасиликата натрия: пат. 105197948 Китай, МПК С01В 33/32(2006.01); № 201510566249.3; заявл. 08.09.2015; опубл. 30.12.2015.
11. Способ получения метасиликата натрия: пат. 20120111 Армения, МПК С01В 33/00; № 2799; заявл. 24.07.2012; опубл. 29.01.2014.

12. Жидкое стекло. Получение, состав, структура и свойства: метод. указания к выполнению лабораторной работы / сост. Н. В. Шальнева, О. В. Агейкина; Тюменский индустриальный университет. 1-е изд. Тюмень: Издательский центр БИК: ТИУ, 2016. 36 с.

13. Способ получения кристаллогидратов метасиликата натрия пятиводных, шестиводных, девятиводных: пат. RU 2473465 C01B 33/32 / B01J 2/00; заявл. 08.12.2010, опубл. 27.01.2013.

14. Брыков А. С. Химия силикатных и кремнеземсодержащих вяжущих материалов: учеб. пособие. СПб.: СПбГТИ, 2011. 147 с.

15. Филиппович Е. Н. Технология кристаллогидратов метасиликата натрия из диатомита Инзенского месторождения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.01. ФГБОУ ВПО «КНИТУ». Казань, 2011. 19 с.

16. Метасиликат натрия девятиводный: ТУ 2145-035-05761270-2002. Новосибирск: ЗАО «СоюзХимПром», 2002. 7 с.

17. Хамский Е. В. Кристаллизация в химической промышленности. М.: Химия, 1979. 344 с.

References

1. Kachurina V. S., Lukash E. V. Obtaining anhydrous sodium metasilicate. *72-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsia uchaschchikhsya, studentov i magistrantov* [72nd scientific and technical conference of pupils, students and undergraduates]. Minsk, 2021. P. 207 (In Russian).

2. Kachurina V. S., Lukash E. V. Processing of liquid glass into anhydrous sodium metasilicate. *Khimi-cheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya v XXI veke: XXV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya studentov i molodykh uchennykh* [Chemical technology and biotechnology in the XXI century: XXV International Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists]. Shimkent, 2021, pp. 78–79 (In Russian).

3. Filippovich E. N., Khatsrinov A. I., Skvortsov A. V., Suleimanova A. Z. Choice of optimal conditions for heat treatment of diatomite from the Inzensky deposit of the Ulyanovsk region for the synthesis of crystalline sodium silicates. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2010, no. 5, pp. 83–86 (In Russian).

4. Shikhov B. A., Dolkart A. F., Chernyakova N. A., Karpenko V. G. The method of obtaining anhydrous granular sodium metasilicate. Patent USSR 586123, 1977 (In Russian).

5. Afanaseva V. A., Levitin L. Ya. Method for obtaining sodium metasilicate. Patent USSR 16118660, 1990 (In Russian).

6. Melkonyan G. S. Method for obtaining sodium metasilicate. Patent USSR 164584, no. 846690/29-14, 1964 (In Russian).

7. Gogishvili V. G., Politova Yu. V., Urushadze V. V., Amirkhanova N. G. Method for obtaining sodium metasilicate. Patent USSR 434060, no. 1685381/23-26, 1974 (In Russian).

8. Venkin Y. Method for obtaining sodium metasilicate. Patent China 103754890, no. 0691724, 2014 (In Russian).

9. Xia H. Method for obtaining anhydrous metasilicate and elemental sulfur from processed sulfuric acid burnt slag. Patent China 102092733, no. 0569126, 2011 (In Russian).

10. Jingwei V., Beibei Ch. Method of obtaining anhydrous sodium metasilicate. Patent China 105197948, no. 201510566249.3, 2015 (In Russian).

11. Sagarunyan S., Gasparyan V. Method for obtaining sodium metasilicate. Patent Armenia 20120111, no. 2799, 2014 (In Russian).

12. *Zhidkoye steklo. Polucheniye, sostav, struktura i svoystva* [Liquid glass. Obtaining, composition, structure and properties: guidelines for laboratory work] / ed. by N. V. Shalneva, O. V. Ageikin; Tyumen', Izdatel'skiy tsentr BIK: TIU Publ., 2016. 36 p. (In Russian).

13. Maryin S. A. Method of obtaining crystal hydrates of sodium metasilicate pentahydrate, six-water, nine-water. Patent RU2473465, 2013 (In Russian).

14. Brykov A. S. *Khimiya silikatnykh i kremnezemsoderzhashchikh vyazhushchikh materialov* [Chemistry of silicate and silica-containing binders]. St. Petersburg, SPbGTI Publ., 2011. 147 p. (In Russian).

15. Filippovich Ye. N. *Tekhnologiya kristallogidrata metasilikata natriya iz diatomita Inzenskogo mestorozhdeniya. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Technology of crystalline hydrates of sodium metasilicate from diatomite of the Inzensky deposit. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Kazan', 2011. 19 p. (In Russian).

16. ТУ 2145-035-05761270-2002. Nine-water sodium metasilicate. Novosibirsk, CJSC "СоюзХимПром" Publ., 2002. 7 p. (In Russian).

17. Khamskiy E. V. *Kristallizatsiya v khimicheskoy promyshlennosti* [Crystallization in the chemical industry]. Moscow, Khimiya Publ., 1979. 344 p. (In Russian).

Информация об авторах

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

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

Качурина Валерия Сергеевна – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: koridorova.as@gmail.com

Information about the authors

Lukash Elena Vatslavovna – PhD (Engineering), 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

Shalukho Nataliya 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

Kachurina Valeriya Sergeyevna – Student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: koridorova.as@gmail.com

Поступила 15.05.2022