

DOI: 10.15593/2224-9400/2020.3.10

УДК 66.014

**А.В. Чернышев, А.Н. Галлямов,
М.В. Черепанова, О.А. Федотова**

Пермский национальный исследовательский
политехнический институт, Пермь, Россия

УМЕНЬШЕНИЕ ДЕСТРУКЦИИ ГЕКСАЦИАНОФЕРАТА (II) КАЛИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА

Минеральные соли при транспортировке и хранении требуют особых условий для того, чтобы готовая продукция сохраняла свои свойства для потребителя. Важнейшим свойством кристаллических и зернистых минеральных солей является сыпучесть – способность свободно вытекать под действием гравитационных сил. Под действием больших масс нижние слои соли подвержены сдавливанию, число взаимодействий между частицами увеличивается, вследствие чего материал уплотняется и теряет сыпучесть.

Применение кондиционирующих добавок в процессе производства удобрений способствует улучшению сыпучести и предотвращению слипания частиц. Для увеличения сыпучести и предотвращения слипания кристаллов хлористого калия на стадии кондиционирования применяют эффективную добавку гексацианоферрат (II) калия (ЖСК – железосинеродистый калий). Однако ЖСК с течением времени и в зависимости от различных факторов среды подвержен деструкции. Деструкция ЖСК приводит к уменьшению его количества примерно на 20 % в обработанном продукте и, как следствие, снижение антислеживающих свойств данной добавки.

Использование ультразвуковых воздействий оказывает значительное влияние на увеличение скорости и эффективности различных процессов. Возможно ускорение перемешивания жидких несмешивающихся фаз, разрушение агрегированных частиц, повышение степени дисперсации эмульсий, используемых на различных стадиях изготовления минеральных удобрений (хлористого калия, в частности). Применение ультразвука в различных отраслях промышленности способствует облегчению протекания тех или иных процессов и увеличивает качество получаемых продуктов.

В данной статье представлены возможные пути сокращения деструкции гексацианоферрата (II) калия и увеличения сыпучести хлористого калия с использованием ультразвука как способа повышения эффективности процесса обработки вещества растворами ПАВ.

Ключевые слова: *слеживаемость, антислеживатель, ультразвук, ультразвуковая обработка, гексацианоферрат (II) калия, хлорид калия.*

**A.V. Chernyshev, A.N. Gallyamov,
M.V. Cherepanova, O.A. Fedotova**

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

REDUCING THE DESTRUCTION OF POTASSIUM HEXACYANOFERRATE (II) BY USING ULTRASOUND

Mineral salts during transportation and storage require special conditions in order for the finished product to retain its properties for the consumer. The most important property of crystalline and granular mineral salts is flowability – the ability to flow freely under the action of gravitational forces. Under the action of large masses, the lower layers of salt are subject to compression, the number of interactions between particles increases, as a result of which the material is compacted and loses its flowability.

The use of conditioning additives in the fertilizer production process improves flowability and prevents particle adhesion. To reduce the caking of potassium chloride at the conditioning stage, an effective addition of potassium hexacyanoferrate (II) is used (HSC – potassium iron-sulphide).

However, HBC over time and depending on various environmental factors is subject to destruction. The destruction of HBC leads to a decrease in its amount by about 20% in the processed product and, as a result, a decrease in the anti-caking properties of this additive.

The use of ultrasonic influences has a significant effect on increasing the speed and efficiency of various processes. It is possible to accelerate the mixing of liquid immiscible phases, the destruction of aggregated particles, increasing the degree of dispersion of emulsions used at various stages of the manufacture of mineral fertilizers (potassium chloride, in particular). The use of ultrasound in various industries helps to facilitate the flow of certain processes and increases the quality of the resulting products.

This article presents possible ways to reduce the destruction of potassium hexacyanoferrate (II) and increase the flowability of potassium chloride using ultrasound as a way to increase the efficiency of the process of processing substances with surfactant solutions.

Keywords: *caking, anti-caking agent, ultrasound, ultrasonic treatment, potassium hexacyanoferrate (II), potassium chloride.*

В качестве одного из самых востребованных удобрений как в мелком частном хозяйстве, так и в промышленных сельскохозяйственных масштабах используют хлористый калий (KCl). Причины востребованности хлористого калия следующие: хорошая растворимость; доступность и быстрота миграции в почве по сравнению с другими калийными; способствует росту и укреплению корней, усиливает их зимостойкость и засухоустойчивость и т.д. Помимо сельского хозяйства находит свое применение во многих отраслях: в медицине, парфюмерии, металлургии, нефтегазовой промышленности в качестве реагента

для приготовления буровых растворов и др. Также он является сырьем для промышленного производства других соединений калия: K_2SO_4 , KOH , $KClO_3$, K_2CO_3 , KCN , KNO_3 и пр.

Преимущественным способом получения хлористого калия является флотационный способ обогащения сильвинитовых руд, который основан на различной смачиваемости компонентов и способности закрепляться на границе раздела фаз с применением флотационных реагентов. Для увеличения разности в смачиваемости необходимо использование поверхностно-активных веществ (ПАВ) – реагентов-собирателей и реагентов-флокулянтов, вспенивателей. Важное значение флотационных методов обогащения в настоящее время обусловлено вовлечением в переработку бедных, тонко вкрапленных и трудно-обогатимых руд.

Применение кондиционирующих добавок в процессе производства удобрений способствует улучшению сыпучести и предотвращению слипания частиц. Для снижения слеживаемости хлористого калия на стадии кондиционирования применяют эффективную добавку гексацианоферрат (II) калия (ЖСК – железосинеродистый калий). Однако ЖСК с течением времени и в зависимости от различных факторов среды подвержен деструкции.

Химическая деструкция ЖСК заключается в способности данного соединения проявлять разносторонние химические свойства. В составе готового продукта – хлористого калия – присутствуют остаточные количества других растворимых солей, в частности хлориды кальция и магния. После обработки продукции водным раствором ЖСК (система ЖСК–вода– Na_2CO_3) он способен вступать в реакцию с примесями, содержащимися в составе хлористого калия; сернистым газом, следы которого находятся в природном газе, используемом для сушки; с углекислым газом. Данные нежелательные реакции даже в небольшом количестве способны привести к разрушению структуры анти-слеживателя.

В связи с этим была проведена оценка термодинамической вероятности протекания данных реакций в диапазоне температур от 0 до 60 °С с использованием программного обеспечения HSC Chemistry 6.0. Выбор данного диапазона температур был сделан исходя из средних температур получения ЖСК, обработки им хлорида калия и транспортировки обработанного продукта до места требования. Удобрения транспортируют в разных климатических условиях с различной темпе-

ратурой, и температура на складе или в вагонах в летнее время может достигать 35–40 °С [1].

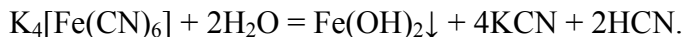
По результатам анализа (таблица) видно, что термодинамически возможны реакции взаимодействия ЖСК с хлоридом кальция, хлоридом магния и карбонатом натрия во всем изучаемом диапазоне температур (0–60 °С), с хлороводородом возможна при температуре выше 40 °С. Это значит, что ЖСК способен реагировать даже с малым количеством хлоридов, оставшихся в результате процесса обогащения (в частности, обесшламливания). Следовательно, во избежание деструкции антислеживателя необходимо более эффективно проводить процесс обесшламливания (при необходимости в несколько стадий) и соблюдать температурный режим.

Результаты термодинамического анализа взаимодействия ЖСК с примесями

Вещество	Температура, °С	Энергия Гиббса ΔG , кДж
HCl	0	39,087
	20	17,659
	40	-3,879
	60	-25,637
CaCl ₂	0	-122,623
	20	-114,163
	40	-106,255
	60	-98,895
MgCl ₂	0	-236,715
	20	-225,604
	40	-215,049
	60	-205,044
H ₂ SO ₃	0	161,597
	20	158,941
	40	155,187
	60	150,364
Na ₂ CO ₃	0	-69,719
	20	-72,923
	40	-75,667
	60	-77,982

По данным литературных источников [2], длительное хранение растворов ЖСК сопровождается их медленным разложением, что визуально отмечается по усилению желтой окраски раствора. Процесс весьма сложный и зависит от концентраций, pH, температуры, освещения, наличия кислорода и др.

В процессе разложения в присутствии кислорода воздуха образуются ионы CN^- , появление которых выражается в виде реакции



В результате данной реакции образуется нерастворимый осадок в виде гидроксида железа (II) и образуется синильная кислота. Температура кипения синильной кислоты составляет 26,7 °С. Как правило, при кондиционировании используются горячие растворы реагентов, поэтому синильная кислота может выделяться при нагревании, что и обуславливает разрушение ЖСК при высоких температурах.

Однако во избежание повышенных температур при кондиционировании предлагается использование ультразвуковой обработки. Использование ультразвука в технологии обогащения и флотации связано с рядом нелинейных специфических явлений, сопровождающихся распространением ультразвуковых колебаний в жидких средах. Среди этих явлений главное – кавитация. Ультразвуковая обработка позволяет освобождать поверхность рудных частиц от всевозможных минеральных покрытий, снижать диффузионные сопротивления в растворах, ускорять обновление растворов вокруг частиц [3]. Кроме того, ультразвуковое воздействие приводит к разрушению частиц, возникающих в результате адгезионного склеивания.

Очень важно получить однородную суспензию при смешивании как взаимно реагирующих, так и взаимно нереагирующих жидких сред. Изобретение, описанное в патентном документе [4], относится к технологии ультразвукового эмульгирования – приготовления с помощью ультразвуковой кавитации жидких дисперсных систем, состоящих из взаимно нерастворимых компонентов. Целью данного изобретения является получение эмульсий одинаково высокой дисперсности независимо от физических свойств ее компонентов, их пропорции и типа эмульсии.

Для интенсивного смешивания как взаимно реагирующих, так и взаимно нереагирующих жидких сред с получением растворов, устойчивых эмульсий или суспензий, в частности суспензий твердых частиц, образующихся при реакции смешиваемых растворов, смешиваемые среды пропускают одновременно через гидроакустический преобразователь под давлением, превышающим порог кавитации. Способ позволяет в протоке, в кавитационной области на выходе гидроакустического преобразователя, за счет эффектов кавитации смешивать несмешивающиеся жидкости, получать суспензии частиц твердо-

го тела в жидкости, эмульсии типа вода–масло, а также позволяет ускорить процесс смешивания жидких фаз [5].

Введение в жидкую фазу ПАВ способствует, согласно эффекту Ребиндера, снижению механической прочности срастания частиц минералов различной природы. В результате происходит их селективное разделение, снижается количество сростков [6]. При использовании ультразвука погружного типа достигается повышение эффективности обработки антислеживателем за счет оптимизации расхода раствора поверхностно-активных веществ.

Для повышения эффективности кавитационного воздействия на обрабатываемую жидкую среду при одновременном ограничении мощности ультразвуковых излучателей предлагается формировать режим акустической кавитации одновременно на двух или нескольких разных частотах. Механическая колебательная система (прямоугольная мембрана) выполнена в виде последовательно расположенных мембран, имеющих разные частоты основной гармоника колебаний. При этом повышение эффективности кавитации гораздо больше, чем при линейном суммировании действия каждого из полей различных частот [7].

Предлагается использование ультразвуковой установки погружного типа, предложенной в работах [8, 9] (рисунок).

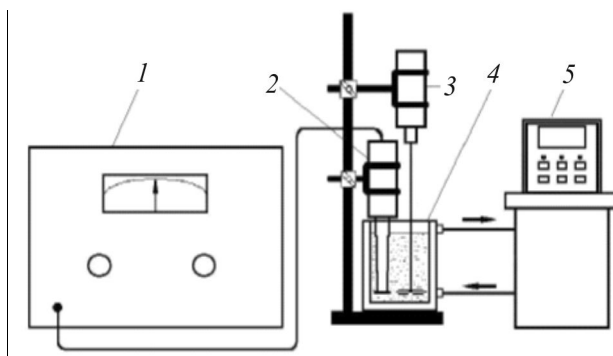


Рис. Установка для изучения кинетики обработки жидких сред ультразвуком:
1 – генератор ультразвука; 2 – погружной ультразвуковой излучатель;
3 – реактор с рубашкой; 4 – термостат; 5 – механическая мешалка

Для исключения застойных зон внутри реактора используется мешалка, скорость вращения которой зависит от вязкости исследуемого раствора.

Помимо получения высокодисперсных, однородных и химически чистых эмульсий за счет ультразвукового эмульгирования, свойствен-

ного огромному количеству веществ [10], возможно применение ультразвуковой обработки для совершенствования отдельных стадий производства калийных удобрений (флотационное обесшламливание [11], приготовление флотореагентов [12], удаление хлорида натрия из флотоконцентрата [13], обработка антислеживателями [14]). В работах [12, 14] рассматриваются подробно пути повышения эффективности используемых флотореагентов (эмульсии солянокислого амина) и антислеживателей (аминомасляной эмульсии) соответственно. Наряду с совершенствованием реагентных режимов возможным путем повышения эффективности является уменьшение размеров флокул, например, путем диспергации ультразвуком высокой интенсивности. В обоих случаях уменьшение частоты ультразвуковой обработки до 22 кГц и увеличение продолжительности и интенсивности УЗ-воздействия приводит к увеличению степени диспергации флокул эмульсии (снижению среднего размера флокул).

С учетом литературных данных [15], согласно которым размер молекул амина может достигать величин порядка нескольких нанометров, можно заключить, что указанный режим ультразвукового воздействия позволяет получать эмульсию солянокислого амина, содержащую не только флокулы, но и отдельные молекулы октадециламина. Подобные данные можно получить и для исследуемого ЖСК, проводя серии опытов по аналогичной методике.

Таким образом, в ходе работы были рассмотрены возможные причины деструкции ЖСК, используемого в качестве антислеживателя, а также пути повышения эффективности эмульгирования с применением ультразвуковой обработки в жидких средах. С целью защиты ЖСК от разрушения необходимо снизить температуру обработки хлористого калия, повысить однородность покрытия продукта антислеживателем при обработке и разработать метод нейтрализации примесных компонентов, которые могут реагировать с гексацианоферратом (II) калия.

В свою очередь, ультразвук оказывает большое влияние на повышение скорости и эффективности процесса с участием жидких фаз. Ускоряется перемешивание жидких несмешивающихся фаз, происходит разрушение склеенных в результате адгезии частиц, повышается степень диспергации эмульсий, используемых на различных стадиях изготовления минеральных удобрений (хлористого калия, в частности) и многое другое.

Анализ патентной литературы показал, что область использования ультразвуковой обработки жидких сред достаточно широка и можно повысить эффективность использования данного способа, например, за счет сокращения времени обработки ультразвуком. Воздействие ультразвуковых волн в различных отраслях промышленности способствует облегчению протекания тех или иных процессов и увеличивает качество получаемых продуктов. Предварительная обработка растворов ПАВ повышает эффективность, так как оптимизируется расход поверхностно-активного вещества. При извлечении руд наблюдается интенсификация процессов извлечения и, как следствие, повышение эффективности связанных процессов.

В итоге можно утверждать, что использование ультразвука в промышленности является перспективным методом интенсификации и отличным инструментом, увеличивающим технологические возможности производств.

Список литературы

1. Федотова О.А., Потапов И.С., Пойлов В.З. Моделирование изменений физико-химических характеристик калийных удобрений в процессах хранения и транспортировки [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2. – С. 2–13. – URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_63_Fedotova.pdf_2390.pdf (дата обращения: 16.07.2020).

2. Химия ферроцианидов / И.В. Тананаев, Г.Б. Сейфер, Ю.Я. Харитонов, В.Г. Кузнецов, А.П. Корольков. – М.: Наука, 1971. – 320 с.

3. Пат. 2522921 Рос. Федерация, МПК С22В 11/08. Способ извлечения золота из руд и концентратов / Стрижко Л.С., Бобоев И.Р., Гурин К.К., Трещетенков Е.Е., Саруханова Я.Р., Трещетенкова И.Л., Чурикова О.А., Алексин А.В. – № 2013111290/02; заявл. 14.03.2013; опубл. 20.07.2014.

4. Пат. 2304460 Рос. Федерация, МПК В01F 11/02. Способ приготовления эмульсии / Шестаков С.Д. – № 2006127093/15; заявл. 26.07.2006; опубл. 20.08.2007.

5. Пат. 2626355 Рос. Федерация, МПК В01F 3/00. Способ смешивания жидких сред / Горшенев В.Н., Телешев А.Т., Колесов В.В., Акопян В.Б., Бамбура М.В., Богомолова М.Л., Саруханов Р.Г. – № 2016139246; заявл. 06.10.2016; опубл. 26.07.2017.

6. Пат. 2641527 Рос. Федерация, МПК В02С 19/18. Способ измельчения минерального сырья / Лобанов В.Г., Замотин П.А., Абдрахманов И.С., Павченко А.С., Колмачихина О.Б., Оношнян В.И. – № 2017109264; заявл. 20.03.2017; опубл. 18.01.2018.

7. Пат. 2477650 Рос. Федерация, МПК В01J 19/10, В01F 11/02. Способ ультразвуковой кавитационной обработки жидких сред / Геталов А.А., Дедюхин Е.Е., Гиниятуллин М.М., Сироткин А.С. – № 2011130933/05; заявл. 25.07.2011; опубл.20.03.2013.

8. Обесшламливание сильвинитовой руды при ультразвуковой обработке [Электронный ресурс] / В.В. Вахрушев, В.А. Рупчева, В.З. Пойлов, О.К. Косвинцев // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4. – С. 1–4. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1369> (дата обращения: 16.07.2020).

9. Кинетика обесшламливания сильвинитовой руды при ультразвуковой обработке [Электронный ресурс] / В.В. Вахрушев, В.З. Пойлов, О.К. Косвинцев, О.А. Федотова // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 3. – С. 1–7. – URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1638> (дата обращения: 16.07.2020).

10. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред. – М.: Наука, 1982. – 337 с.

11. Косвинцев О.К., Миронова С.А., Лановецкий С.В. Исследование влияния ультразвукового воздействия на стадии шламовой флотации сильвинитовой руды [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2. – С. 1–11. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3024> (дата обращения: 16.07.2020).

12. Влияние ультразвуковой обработки на водную эмульсию солянокислого амина / А.Э. Осипович, В.В. Вахрушев, А.Л. Казанцев, В.З. Пойлов, С.Н. Алиферова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2014. – № 3. – С. 89–96.

13. Вахрушев В.В., Пойлов В.З., Косвинцев О.К. Удаление хлорида натрия из флотоконцентрата KCl при ультразвуковой обработке // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 3. – С. 15–18.

14. Исследование влияния ультразвукового воздействия на диспергацию флокул стеариламина в аминомасляной эмульсии [Электронный ресурс] / В.В. Вахрушев, А.Л. Казанцев, Т.А. Горожанинова, В.Д. Шипков, В.З. Пойлов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4. – С. 1–11. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3425> (дата обращения: 16.07.2020).

15. Курмаев Р.Х. Флотационный способ получения хлорида калия из сильвинита / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1993. – 84 с.

References

1. Fedotova O.A., Potapov I.S., Poilov V.Z. Modelirovanie izmenenii fiziko-khimicheskikh kharakteristik kaliinykh udobrenii v protsessakh khraneniia i transportirovki [Modeling of changes in physical and chemical characteristics of

potash fertilizers in storage and transportation processes]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2014, № 2, pp. 2-13, available at: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_63_Fedotova.pdf_2390.pdf (accessed 16 July 2020)

2. Tananev I.V., Seifer G.B., Kharitonov Iu.Ia, Kuznetsov V.G., Korol'kov A.P., Khimiia ferrotsianidov [Chemistry of ferrocyanides]. Moscow, Nauka, 1971, 320 p.

3. Strizhko L.S., Boboev I.R., Gurin K.K., Treshchetenkov E.E., Sarukhanova Ia.R., Treshchetenkova I.L., Churikova O.A., Aleksakhin A.V., Sposob izvlecheniia zolota iz rud i konsentratov [The method of extracting gold from ores and concentrates]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2522921 (2014).

4. Shestakov S.D. Sposob prigotovleniia emul'sii [The method of preparation of the emulsion]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2304460 (2007).

5. Gorshenev V.N., Teleshev A.T., Kolesov V.V., Akopian V.B., Bambura M.V., Bogomolova M.L., Sarukhanov R.G., Sposob smeshivaniia zhidkikh sred [The method of mixing liquid media]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2626355 (2017).

6. Lobanov V.G., Zamotin P.A., Abdrakhmanov I.S., Pavchenko A.S., Kolmachikhina O.B., Onoshnian V.I., Sposob izmel'cheniia mineral'nogo syr'ia [The method of grinding mineral raw materials]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2641527 (2018).

7. Getalov A.A., Dediukhin E.E., Giniiatullin M.M., Sirotkin A.S., Sposob ul'trazvukovoi kavitatsionnoi obrabotki zhidkikh sred [The method of ultrasonic cavitation treatment of liquid media]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2477650 (2013).

8. Vakhrushev V.V., Rupcheva V.A., Poilov V.Z., Kosvintsev O.K. Obesshlamlivanie sil'vinitovoi rudy pri ul'trazvukovoi obrabotke [The desliming of sylvinite ores desliming with ultrasonic treatment]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2012, no. 4, pp. 1-4, available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1369> (accessed 16 July 2020).

9. Vakhrushev V.V., Poilov V.Z., Kosvintsev O.K., Fedotova O.A. Kinetika obesshlamlivaniia sil'vinitovoi rudy pri ul'trazvukovoi obrabotke [Kinetics of sylvinite ores desliming with ultrasonic treatment]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2013, №3, pp. 1-7, available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1638> (accessed 16 July 2020).

10. Brekhovskikh L.M., Goncharov V.V. Vvedenie v mekhaniku sploshnykh sred [Introduction to the continuum mechanics]. Moscow, Nauka, 1982. 337 p.

11. Kosvintsev O.K., Mironova S.A., Lanovetskii S.V. Issledovanie vliianiia ul'trazvukovogo vozdeistviia na stadii shlamovoi flotatsii sil'vinitovoi rudy [Investigation of the influence of ultrasonic action at the stage of sylvinite ore sludge flotation]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2015, № 2, pp. 1-11, available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2p2y2015/3024> (accessed 16 July 2020).

12. Osipovich A.E., Vakhrushev V.V., Kazantsev A.L., Poilov V.Z., Aliferova S.N. Vliianie ul'trazvukovoi obrabotki na vodnuiu emul'siiu solianokisllogo amina [Effect of ultrasonic treatment on the aqueous emulsion of hydrochloric acid amine]. *Vestnik PNIPU. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia*. 2014. no. 3. pp. 89-96.

13. Vakhrushev V.V., Poilov V.Z., Kosvintsev O.K. Udalenie khlorida natriia iz flotokontsentrata KCl pri ul'trazvukovoi obrabotke [Removal of sodium chloride from KCl flotation concentrate during ultrasonic treatment]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2013, iss. 322, no. 3. pp. 15-18.

14. Vakhrushev V.V., Kazantsev A.L., Gorozhaninova T.A., Shipkov V.D., Poilov V.Z. Issledovanie vliianiia ul'trazvukovogo vozdeistviia na dispergatsiiu flokul stearilamina v aminomaslianoi emul'sii [Investigation of the effect of ultrasonic action on the dispersion of stearylamine floccules in an aminobutyric emulsion]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2015, №4, pp. 1-11, available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3425> (accessed 16 July 2020).

15. Kurmaev R.Kh. Flotatsionnyi sposob polucheniia khlorida kaliia iz sil'vinita [The flotation process for potassium chloride preparation from sylvinite]. Perm, Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 1993. 84 p.

Получено 13.07.2020

Об авторах

Чернышев Алексей Владимирович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: AlexCher-1997@yandex.ru).

Галлямов Андрей Николаевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: andrewg96@mail.ru).

Черепанова Мария Владимировна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: syromyatnikova.maria@yandex.ru).

Федотова Ольга Александровна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: chydinova.olga@rambler.ru).

About the authors

Aleksey V. Chernyshev (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student of the Department of Chemical Technologies of the Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: AlexCher-1997@yandex.ru).

Andrey N. Gallyamov (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student of the Department of Chemical Technologies of the Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: andrewg96@mail.ru).

Maria V. Cherepanova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: syromyatnikova.maria@yandex.ru).

Olga A. Fedotova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: chydinova.olga@rambler.ru).