

УДК 661.832'032.1.022.3-026.772

**О. М. Волчек<sup>1</sup>, Н. А. Высоцкая<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Барановичский государственный университет<sup>2</sup>ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»**ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО ГАЛУРГИЧЕСКОГО ХЛОРИДА КАЛИЯ**

Для практического применения удобрений необходимо обеспечение неизменности характеристик в процессе транспортировки и хранения гранул. В связи с этим требуется решение задачи получения гранулированных удобрений с улучшенными физико-механическими и физико-химическими свойствами.

В статье рассматривается возможность снижения водопоглощения гранул галургического хлорида калия при условии сохранения их требуемой прочности и разрушимости. Показано, что применение в качестве модификатора кальцинированной соды при обработке перед прессованием отмытого от хлоридов кальция и магния хлорида калия позволяет снизить влагопоглощение на 80% и уменьшить общую пористость при незначительном увеличении прочности гранул, причем следует строго соблюдать стехиометрию по отношению к поверхностному слою при обработке гранул на стадии облагораживания. Сульфат натрия, используемый в качестве модификатора, приводит к снижению влагопоглощения на 30–40% при незначительном изменении прочности и пористости. Исследовано влияние расхода поверхностно-активного модификатора на склонность к разрушению гранул хлорида калия. Результаты опытов продемонстрировали, что для обеспечения требуемых свойств гранул достаточно 50–100 г поверхностно-активного вещества на 1 т удобрения.

**Ключевые слова:** хлорид калия, прочность, склонность к разрушению, облагораживание, гранулы, реагент, модификатор.

**Для цитирования:** Волчек О. М., Высоцкая Н. А. Влияние модификаторов на физико-химические свойства гранулированного галургического хлорида калия // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 2 (259). С. 26–31.

**O. M. Volchek<sup>1</sup>, N. A. Vysotskaya<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Baranovichi State University<sup>2</sup>JSC “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production”**INFLUENCE OF MODIFIERS ON THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF GRANULAR HALURGIC POTASSIUM CHLORIDE**

For the practical use of fertilizers, it is necessary to ensure the stability of the characteristics during the transportation and storage of granules. In this regard the problem of obtaining granular fertilizers with improved physical-mechanical and physical-chemical properties is necessary to solve. The article considers the possibility of reducing the water absorption of halurgical potassium chloride granules, provided that their required strength and destructibility are maintained. It is shown that the use of soda ash as a modifier in the processing of potassium chloride washed from calcium and magnesium chlorides before pressing makes it possible to reduce moisture absorption by 80% and reduce the overall porosity with a slight increase in the strength of the granules, and one should strictly observe the stoichiometry with respect to the surface layer when processing the granules at the refinement stage. Sodium sulfate used as a modifier results in a 30–40% decrease in moisture absorption with a slight change in strength and porosity. The influence of the surface-active modifier consumption on the caking and destructibility of potassium chloride granules has been studied. The results of the experiments have shown that 50–100 grams of surfactant per 1 ton of fertilizer are sufficient to ensure the required properties of the granules.

**Key words:** potassium chloride, strength, caking, granules, refinement, reagent, modifier.

**For citation:** Volchek O. M., Vysotskaya N. A. Influence of modifiers on the physico-chemical properties of granular halurgic potassium chloride. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoeontology*, 2022, no. 2 (259), pp. 26–31 (In Russian).

**Введение.** Основной способ получения гранулированного хлорида калия предполагает использование валковых прессов и последующее

дробление получаемой на них плитки. Ранее выполнен ряд исследований по определению требуемых физико-механических характеристик

гранул непосредственно после компактирования [1–3]. Однако для практического применения полученного удобрения требуется обеспечить неизменность полученных характеристик в процессе транспортировки и хранения гранул [4]. В связи с этим нужно решить задачу получения гранулированных удобрений с улучшенными физико-механическими и физико-химическими свойствами, которая до настоящего времени не решена.

**Основная часть.** Гранулы хлорида калия представляют собой поликристаллы, полученные путем прессования его дисперсий в плитку и последующим ее дроблением и классификацией с выделением товарной фракции размером от 2 до 4 мм. Прессование хлорида калия в процессе гранулирования, который, как и все галогениды щелочных металлов, имеет высокую энергию кристаллической решетки (703 кДж/моль) [5, с. 197], является технологически трудным и энергоемким процессом. При прессовании по местам контактов спрессованных зерен образуются многочисленные мелкие дефекты, которые за счет процессов рекристаллизации преобразуются в более крупные, формируя пористую структуру гранул, в значительной мере определяющую их физико-механические и физико-химические свойства. Механическая прочность поликристаллов определяется не прочностью самих кристаллов, а количеством и прочностью межфазных контактов между ними. Наличие пор между кристаллами снижает количество межфазных контактов и уменьшает их прочность. Они являются концентраторами напряжений при механическом воздействии и резко снижают пластичность гранул.

Получение механически стойкого продукта достигается облагораживанием гранул путем последовательности операций их окатывания, обработки водой или водными растворами реагентов, термозакалки в аппаратах кипящего слоя с отдуvkой пылящих фракций [6, 7]. Эффект облагораживания объясняется тем, что в результате орошения и интенсивного перемешивания происходит растворение и закругление углов и кромок частиц, а затем рекристаллизация поверхности частиц. Однако облагораживанием изменяются лишь поверхностные свойства частиц. Гранулы при хранении и перевозках подвергаются влиянию статических и ударных нагрузок, что приводит к их разрушению, изменению гранулометрического состава. Наиболее подвержены разрушению они при повышенной влажности воздуха. Следовательно, необходимо повысить влагостойкость гранулированного продукта, снизить его гигроскопичность.

На физико-химические свойства гранул (гигроскопичность, слеживаемость, прочность)

определяющее влияние оказывает состояние поверхностного слоя гранул KCl толщиной 0,2 мм. Для уменьшения дефектности поверхностного слоя гранул хлорида калия проводят их облагораживание. Промышленное облагораживание гранул заключается в механической их шлифовке с удалением мелкодисперсных частиц в аппарате кипящего слоя, обработке водой в количестве 0,8% и последующей сушке до остаточной влажности 0,1%, что позволяет улучшить прочностные характеристики гранул на 1–2 единицы и достичь снижения пылимости при их складировании. Однако, как показывает практика, этого недостаточно.

Наиболее распространенным путем улучшения физико-механических свойств удобрений является их кондиционирование реагентами (поверхностно-активными веществами различных типов, парафинами, маслами, минеральными добавками), которые предотвращают слеживаемость калийных удобрений благодаря формированию на поверхности частиц хлористого калия гидрофобного водоотталкивающего покрытия, препятствующего поглощению влаги гранулами и образованию фазовых контактов между частицами удобрений [8]. Комплексное действие этих реагентов на гранулы до конца не изучено, причем оно может быть как положительным, так и отрицательным.

Для кондиционирования удобрений в настоящее время применяются следующие технологии:

- обработка удобрений минеральными веществами и модифицирующими композициями на их основе;
- использование поверхностно-активных веществ (ПАВ), их композиций с другими ПАВ, высокомолекулярными соединениями и продуктами переработки нефти;
- поверхностное омасливание гранул;
- обработка гидрофильными соединениями.

При анализе качества получаемых гранул анализируются пылимость, влагопоглощение, степень гидрофобизации, статическая прочность, разрушенность и слеживаемость получаемого продукта [9, 10].

В статьях [11–13] представлены результаты исследования влияния модификаторов на свойства флотационного гранулированного хлорида калия. Установлено, что наиболее эффективными модификаторами являются смеси органических и неорганических модификаторов. При этом нужно строго соблюдать стехиометрическое соотношение. В данной работе исследовано влияние некоторых неорганических и органических модификаторов на основные физико-химические свойства гранулированного галургического хлорида калия.

С целью снижения высокой гигроскопичности гранул и повышенного поглощения атмосферной

влаги, связанных с наличием в хлориде калия примесей хлоридов кальция и магния, предложено воздействовать на гранулы водными растворами модификаторов, изменяющих гигроскопические свойства поверхности гранул хлорида калия и обеспечивающих трансформацию хлоридов магния и кальция в малорастворимые или негигроскопичные соединения. По экономическим и технологическим причинам здесь наиболее перспективно применение водных растворов неорганических солей с низкой гигроскопичностью или дающих низкогигроскопичные продукты при реакции с примесными солями [13].

Для анализа влияния модификаторов на основные физико-химические свойства гранулированного галургического хлорида калия исследований использовались мелкокристаллический хлорид калия, а также полученные в результате экспериментов и промышленные гранулы галургического хлорида калия 4-й СОФ ОАО «Беларуськалий» – хлористый калий марки хч (химически чистый).

В статье [12] отмечается, что использование в качестве модификаторов кальцинированной соды (карбоната натрия) и сульфата натрия позволяет добиться существенного улучшения качества получаемых гранул. Выполнены исследования по определению влияния расхода кальцинированной соды на физико-химические свойства полученных гранул.

Материалом для модельных таблеток KCl послужил мелкокристаллический хлорид калия, обработанный определенным количеством модификатора в виде водного раствора с расчетом введения 2% влаги, который высушивали при 120°C. Затем при температуре 60°C из полученного продукта в течение 1 мин прессовали таблетки при давлении в системе 15 МПа.

Результаты проведенных опытов по определению влияния кальцинированной соды, вводимой в хлорид калия перед прессованием гранул, представлены в табл. 1. Они показывают, что сода при обработке перед прессованием *отмытого от хлоридов кальция и магния* хлорида калия обеспечивает снижение влагопоглощения до 80% и уменьшение общей пористости, а также незначительное увеличение прочности гранул. При обработке содой *неотмытого от хлоридов кальция и магния* хлорида калия наблюдается стабилизация прочности гранул.

Как показывают результаты работы [12], на свойства гранул наиболее существенное влияние оказывает их поверхностный слой толщиной 0,2 мм. Поэтому при определении расхода модификатора оценивалось его влияние именно на этот объем, который в 5–10 раз меньше полного объема гранулы.

Таким образом, при использовании в качестве модификатора кальцинированной соды следует строго соблюдать ее расход, который не должен превышать стехиометрию по отношению к объему при обработке кека центрифуг или стехиометрию по отношению к поверхностному слою при обработке гранул на стадии облагораживания.

Сульфат натрия, используемый в качестве модификатора хлорида калия перед прессованием, приводит к снижению влагопоглощения на 30–40% и незначительному увеличению прочности модельных гранул из отмытого KCl. Прочность гранул из неотмытого KCl под влиянием сульфата натрия практически не меняется. Общая пористость гранул галургического хлористого калия в присутствии сульфата натрия снижается на 2–3%.

Таблица 1

**Влияние кальцинированной соды, вводимой в хлористый калий перед прессованием, на физико-химические характеристики модельных гранул галургического хлорида калия**

Расход соды, %	Влагопоглощение ( <i>W</i> ) и степень гидрофобизации ( <i>H</i> ) при времени выдержки образцов, сут				Давление разрушения модельных гранул, кГс/см <sup>2</sup>	Общая пористость, %		
	1		6					
	<i>W</i>	<i>H</i>	<i>W</i>	<i>H</i>				
KCl – (отмытый) $\text{Ca}^{2+} = 0,018\%$ , $\text{Mg}^{2+} = 0,012\%$ , стехиометрия – 0,07%								
Исходный	0,24	0	0,57	0	73	6,3		
0,03	0,17	37	0,40	31	75	6,4		
0,07	0,07	65	0,26	50	77	4,7		
0,09	0,08	63	0,30	44	75	5,9		
KCl – (неотмытый) $\text{Ca}^{2+} = 0,061$ , $\text{Mg}^{2+} = 0,046$ – стехиометрия 0,3% соды								
Исходный	0,58	0	1,33	0	79	8,3		
0,05	0,43	21	1,20	9	79	8,0		
0,10	0,36	34	0,94	26	80	7,5		
0,15	0,24	55	0,70	45	79	6,7		

При обработке на стадии облагораживания в стехиометрии в содержании примесей в поверхностном слое наблюдается снижение общей пористости, влагопоглощения и слеживаемости гранул. Особенно заметны эти явления для отмытого KCl. Даже значительный избыток сульфата натрия не приводит к ухудшению физико-химических свойств гранулята: влагопоглощение остается на низком уровне, что соответствует результатам, приведенным в работе [12].

Таким образом, применение неорганических модификаторов при гранулировании хлорида калия, отмытого и неотмытого от хлоридов кальция и магния, а также в процессе облагораживания спрессованных гранул обеспечивает снижение их влагопоглощения и не оказывает отрицательного влияния на слеживаемость и разрушаемость гранул. Однако использование неорганических модификаторов не позволяет в полной мере достичь требуемых свойств гранул, поэтому нужна их дополнительная обработка модификаторами органической природы.

Наиболее эффективными антислеживателями хлорида калия являются высшие алифатические амины и их соли. Однако амины, обладающие ярко выраженными поверхностно-активными свойствами на границах раздела фаз [14], в присутствии влаги способствуют понижению прочности гранул и повышению их разрушаемости. Поэтому требуется так оптимизировать расход поверхностно-активного модификатора, чтобы при достаточном снижении слеживаемо-

сти обеспечивалось минимальное разрушение гранул хлорида калия [11].

Предварительный анализ использования композиций на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) и органических модификаторов подтвердил, что модифицирующие составы реагентов на основе смеси жирного амина (ЖА) с вакуумным газойлем (ВГ) или экстрактом нефтяным (ЭН) по сравнению с составляющими их компонентами оказывают более сильное влияние на влагостойкость и прочностные параметры гранул хлорида калия. Так, их истираемость при обработке реагентной смесью ЖА-ВГ или ЖА-ЭН при разных расходах составляет 5–7%, в то время как при индивидуальном применении названных реагентов она находится в пределах 13–17%.

Проведенные опыты показали, что при использовании смесей аминов с аполярными веществами (табл. 2) для создания прочной подложки посредством химического закрепления аминов или кислот своими полярными группами поверхности хлорида калия достаточно 50–100 г ПАВ на 1 т удобрения. Углеводород же за счет дисперсионных взаимодействий с гидрофобными радикалами ПАВ усиливает образование плотного гидрофобного покрытия поверхности хлорида калия, защищающего его от воздействия влаги. Причем наличие ПАВ с солидофильтрной группой способствует как кинетической устойчивости органических композиций, так и созданию более прочной пленки на поверхности KCl.

Таблица 2

**Влияние использования композиций на основе ПАВ и органических модификаторов на физико-химические характеристики модельных гранул галургического хлорида калия**

Кондиционирующий состав	Влагопоглощение ( $W$ ) и степень гидрофобизации ( $H$ ) при влажности воздуха 80% и температуре 20°C для времени выдержки образцов				Предел статической прочности гранул, кг/гранул, при влажности гранул, %		Разрушаемость, %, при влажности гранул, %		Слеживаемость, кгс/см <sup>2</sup> , при увлажнении гранул до 3%	
	1 сут		7 сут		0 усл.	0,2	0 усл.	0,2		
	$W$	$H$	$W$	$H$						
Исходный	0,155	0	0,349	0	8,0	6,5	1,0	1,4	3,0	
Амин 50 г/т	0,140	10	0,323	5	8,2	5,2	1,1	2,2	2,2	
Амин 100 г/т	0,132	13	0,305	9	8,4	5,2	1,5	3,8	1,9	
Амин 200 г/т	0,126	15	0,297	10	8,7	4,5	2,0	4,7	0,8	
Амин 400 г/т	0,116	17	0,289	11	9,1	4,5	2,2	7,7	0,8	
Амин 50 г/т в композиции с ВГ 0,5 кг/т	0,106	27	0,245	22	9,0	6,2	1,2	1,8	1,1	
Амин 75 г/т в композиции с ВГ 1,0 кг/т	0,096	34	0,223	30	9,0	6,2	1,1	2,0	0,8	
Амин 100 г/т в композиции с ВГ 1,0 кг/т	0,080	45	0,200	38	9,2	6,0	1,1	2,4	0,7	
Амин 200 г/т в композиции с ВГ 1,0 кг/т	0,077	47	0,189	40	9,1	6,0	1,2	3,0	0,6	
Амин 100 г/т в композиции со ЭН 1,0 кг/т	0,080	45	0,197	39	9,3	5,8	1,0	2,4	0,7	

Наблюдается снижение разрушаемости гранул KCl до 2–2,4%, уменьшение слеживаемости до 0,5–0,7 кг/см<sup>2</sup>, предел статической прочности гранул стабилизируется на 6 кг/гранулу.

**Заключение.** Установлено, что облагороженные неорганическими солями и смесью ПАВ углеводородов гранулы галургического хлорида калия сохраняют низкую влагопоглощаемость, высокую гидрофобность и малую степень истираемости достаточно продолжительное время. При расходе модификатора (кальцинированной соды) 0,12% и гидрофобизатора – 0,15% образцы, которые выдержива-

лись 50 сут при относительной влажности воздуха 82% и температуре 25°C, имели степень гидрофобности 75%.

Таким образом, предварительное облагораживание гранул галургического KCl водными растворами неорганических солей с последующим модифицированием гидрофобизирующими композициями на основе аполярных углеводородов и алифатических аминов позволяет улучшить физико-химические и механические свойства гранул на продолжительное время, что дает возможность повысить качество производимых минеральных удобрений.

### Список литературы

1. Прушак В. Я., Данилов В. А., Кондратчик Н. Ю. Конструктивные пути повышения эффективности прессования хлористого калия // Горная механика и машиностроение. 2016. № 3. С. 82–86.
2. Чижик С. А., Волчек О. М., Прушак В. Я. Усовершенствованная модель прессования порошковой смеси в валковом прессе // Известия Национальной академии наук Беларуси. Сер. физико-технических наук. 2021. Т. 66, № 3. С. 288–297.
3. Zheng Z. X., Xia W., Zhou Z. Y. Experimental and numerical modeling for powder rolling // Reviews on advanced materials science. 2013. Vol. 33, no. 4. P. 330–336.
4. Федотова О. А., Потапов И. С., Пойлов В. З. Моделирование изменений физико-химических характеристик калийных удобрений в процессах хранения и транспортировки // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2 (29). С. 32–42.
5. Зубович И. А. Неорганическая химия. М.: Высш. шк., 1989. 432 с.
6. Рудаковская Т. Г., Жданович И. Б., Шевчук В. В. Влияние пористой структуры гранул хлорида калия на их физико-химические свойства // Журнал прикладной химии. 2009. Т. 82, № 11. С. 1913–1915.
7. Рухля И. Е. Технологические схемы получения калия хлористого из сильвинита и их описание. Минск: БНТУ, 2011. 25 с.
8. Исследование влияния температуры на размеры флокул аминов / В. В. Вахрушев [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2016. № 3. С. 102–111.
9. 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.
10. Черепанова М. В. Технология гранулирования циклонной пыли хлорида калия методом окатывания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.01. Санкт-Петербург, 2013. 20 с.
11. Модификаторы регулирования физико-химических и механических свойств калийных удобрений / Н. И. Позняк [и др.] // Инновационные материалы и технологии: материалы докладов Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. Минск: БГТУ, 2019. С. 389–393.
12. Шевчук В. В., Дихтиевская Л. В., Шломина Л. Ф. Разработка технологий кондиционирования мелкодисперсного и гранулированного хлорида калия // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. наука. 2019. Т. 55, № 3. С. 288–298.
13. Дихтиевская Л. В., Шевчук В. В., Крутько Н. П. Разработка технологии получения гранулированных калийных удобрений с улучшенными физико-химическими и механическими свойствами // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2010. Т. 54, № 6. С. 57–61.
14. Грушова Е. И., Юсевич А. И. Применение добавок химических соединений для интенсификации процессов экстракции, флотации, адсорбции. Минск: БГТУ, 2006. 172 с.

### References

1. Prushak V. Ya., Danilov V. A., Kondratchik N. Yu. Constructive Ways to Increase the Efficiency of Potassium Chloride Pressing. *Gornaya mekhanika i mashinostroyeniye* [Mining mechanics and mechanical engineering], 2016, no. 3, pp. 82–86 (In Russian).
2. Chizhik S. A., Volchek O. M., Prushak V. Ya. An improved model for pressing a powder mixture in a roller press. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus], series of Physical and Technical Sciences, 2021, vol. 66, no. 3, pp. 288–297 (In Russian).

3. Zheng Z. X., Xia W., Zhou Z. Y. Experimental and numerical modeling for powder rolling. *Reviews on advanced materials science*, 2013, vol. 33, no. 4, pp. 330–336.
4. Fedotova O. A., Potapov I. S., Pojlov V. Z. Modeling of changes in the physicochemical characteristics of potash fertilizers during storage and transportation. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Don Engineering Gazette], 2014, no. 2 (29), pp. 32–42 (In Russian).
5. Zubovich I. A. *Neorganicheskaya khimiya* [Inorganic chemistry]. Moscow, Vysshaya skola Publ., 1989. 432 p. (In Russian).
6. Rudakovskaya T. G., Zhdanovich I. B., Shevchuk V. V. Influence of the porous structure of potassium chloride granules on their physical and chemical properties. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of Applied Chemistry], 2009, vol. 82, no. 11, pp. 1913–1915 (In Russian).
7. Ruhlya I. E. *Tekhnologicheskiye shkemy polucheniya kaliya khloristogo iz sil'vinita i ikh opisaniye* [Technological schemes for obtaining potassium chloride from sylvite and their description]. Minsk, BNTU Publ., 2011. 25 p. (In Russian).
8. Vahrushev V. V., Kazancev A. L., Potapov I. S., Pojlov V. Z., Aliferova S. N. Study of the effect of temperature on the size of amine flocs. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology], 2016, no. 3, pp. 102–111 (In Russian).
9. Shcherba V. Ya. The use of composite materials based on products of petroleum hydrocarbon processing for conditioning potash fertilizers. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Polotsk State University], series V. Industry. Applied Science, 2013, no. 11, pp. 64–68 (In Russian).
10. Cherepanova M. V. *Tekhnologiya granulirovaniya tsiklonnoy pyli khlorida kaliya metodom okatyvaniya. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Technology of granulation of cyclone dust of potassium chloride by the pelletizing method. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. St. Petersburg, 2013. 18 p. (In Russian).
11. Poznyak N. I., Dihtievskaya L. V., Shevchuk V. V., Krut'ko N. P. Modifiers for regulating the physicochemical and mechanical properties of potash fertilizers. *Innovatsionnye materialy i tekhnologii: materialy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [Innovative materials and technologies: materials of reports of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists]. Minsk, BGTU Publ., 2019, pp. 389–393 (In Russian).
12. Shevchuk V. V., Dihtievskaya L. V., Shlomina L. F. Development of conditioning technologies for fine and granular potassium chloride. *Vesti Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus], series of Chemical Sciences, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 288–298 (In Russian).
13. Dihtievskaya L. V., Shevchuk V. V., Krut'ko N. P. Development of technology for obtaining granular potash fertilizers with improved physical, chemical and mechanical properties. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus], 2010, vol. 54, no. 6, pp. 57–61 (In Russian).
14. Grushova E. I., Yusevich A. I. *Primeneniye dobavok khimicheskikh soyedineniy dlya intensifikatsii protsessov ekstraktsii, flotatsii, adsorbsii* [The use of additives of chemical compounds to intensify the processes of extraction, flotation, adsorption]. Minsk, BGTU Publ., 2006. 172 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Волчек Ольга Михайловна** – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация производства». Барановичский государственный университет (225404, г. Барановичи, ул. Войкова, 21, Республика Беларусь). E-mail: barsu@brest.by

**Высоцкая Надежда Александровна** – аспирант, начальник отдела научно-технической информации. ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» (223710, г. Солигорск, ул. Козлова, 69, Республика Беларусь). E-mail: onti@sipr.by

### Information about the authors

**Volchek Ol'ga Mikhaylovna** – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of “Equipment and Automation of Production”. Baranovichi State University (21, Voykova str., 225404, Baranovichi, Republic of Belarus). E-mail: barsu@brest.by

**Vysotskaya Nadezhda Aleksandrovna** – PhD student, Head of the Department of Scientific and Technical Information. JSC “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production” (69, Kozlova str., 223710, Soligorsk, Republic of Belarus). E-mail: onti@sipr.by

Поступила 13.06.2022