

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

DOI: 10.15593/2224-9400/2019.4.08

УДК 661/832/321

Д.А. Мунин, М.В. Черепанова, В.З. Пойлов, А.С. Подтынова

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ АГЛОМЕРИРОВАННОГО ФЛОТАЦИОННОГО ХЛОРИСТОГО КАЛИЯ

Образующийся в промышленности пылевидный флотационный хлорид калия (КС1) на стадии сушки в циклонном аппарате смешивают с готовым продуктом, что приводит к его пылимости и слеживаемости, а также повышению гигроскопичности и потерям при транспортировании. Агломерация формованием флотационного хлорида калия с циклонной пылью КС1 позволит улучшить реологические свойства получаемого гранулята. Исследование особенностей агломерации с различными связующими веществами позволит изучить их влияние на эффективность процесса и качество получаемого продукта.

Проблема утилизации пылевидной фракции хлорида калия, образующейся при сушке готового продукта и транспортировке, является важным вопросом, от которого зависит сохранение товарных характеристик удобрения при доставке потребителю.

В статье рассмотрен процесс агломерации пылевидного флотационного хлорида калия, установлены особенности агломерации увлажненной тукосмеси с использованием различных связующих веществ.

Качество получаемого продукта оценивали путем определения гранулометрического состава с применением ситового метода анализа и измерения динамической прочности получаемого агломерированного продукта на приборе контроля пылимости гранул.

Установлено, что повышение влажности гранулируемой смеси способствует увеличению содержания фракции менее 1,25 более 0,90 на 15,5 % и динамической прочности; использование связующего вещества (раствор галургического хлорида калия) оказывает положительное влияние на качество получаемого продукта, повышая прочность агломератов и уменьшая выход мелкой фракции (менее 0,140 мм) до 0,69 %. Применение раствора галургического КС1 позволяет получить агломераты с размером, близким к товарной фракции и с достаточно высокой динамической прочностью (изменение среднего размера частиц после испытания на динамическую прочность до 17,6 %).

Ключевые слова: пылевидный флотационный хлорид калия, гранула, агломерация, формование, динамическая прочность, товарная фракция, частица.

D.A. Munin, M.V. Cherepanova, V.Z. Poilov, A.S. Podtynova

Perm National Research Polytechnic University, Perm Russian Federation

PRODUCING METHOD AGGLOMERATED FLOTATION POTASSIUM CHLORIDE

Dusty flotation potassium chloride formed when drying in a cyclone apparatus is mixed with the final product which causes dustiness, caking, increased hygroscopicity and product losses during transportation. Flotation potassium chloride agglomeration by extrusion with cyclone dust KCl improve the resulting granulate rheological properties. The re-search of agglomeration features with various binders allows to study their influence on the process efficiency and the resulting product quality.

The remove problem of the potassium chloride powdery fraction formed when the fi-nal product drying and transportation is an important issue on which preservation of the fertilizer commodity characteristics depends when delivered to consumer.

Purpose: the agglomeration process research of dusty flotation potassium chloride and to establish features of moist mixed fertilizers agglomeration using binders variety.

The resulting product quality was evaluated using sieve analysis and dynamic strength measurement method on the granule dust control device (GDGD).

It was found that increasing the granulated mixture humidity contributes to increase in the fraction content less 1.25 more 0.90 by 15.5 % and to increase dynamic strength; the use of a binder (solution of halurgic potassium chloride) has a positive effect on the quality of the product, increasing the agglomerates strength and reducing the fine fraction output (less than 0.140 mm) to 0.69%. The halurgic KCl solution use allows to obtain agglomerates with size close to the commodity fraction and with sufficiently high dynamic strength (change in the average particle size after the dynamic strength test to 17.6%).

Keywords: *dusty flotation potassium chloride, granule, agglomeration, extrusion, dynamic strength, commodity fraction, particle.*

В настоящее время на предприятиях калийной промышленности Российской Федерации в процессе сушки и кондиционирования хлорида калия образуется до 8 % некондиционной пылевидной фракции – циклонной пыли (ЦП). Циклонная пыль представляет собой тонкодисперсный порошок, имеет низкое содержание основного вещества и повышенное количество аминов. Из-за высокой пылимости и слеживаемости такой некондиционный продукт трудно транспортировать, перегружать и вносить в почву в качестве удобрения [1].

Циклонная пыль флотационного хлорида калия, используемого в качестве удобрения, существенно ухудшает качество готового продукта, ведет к перерасходу пылеподавляющих реагентов. В связи с этим актуальной проблемой является разработка технологии гранулирования пылевидного продукта KCl [2].

Влажное гранулирование может быть применено для повышения однородности вещества, увеличения плотности смеси, сыпучести и сжимаемости порошковой смеси, уменьшения пыли во время производственного процесса.

На основании проведенного анализа научно-технической и патентной литературы установлено, что проблему переработки пылевидной фракции флотационного хлорида калия можно решить путем предварительного смешивания ЦП с влажным флотационным хлоридом калия, с последующими процессами агломерации и сушки. Поскольку он обладает высокой производительностью и простым аппаратным оформлением.

Процесс заключается в смешении сухого порошка в смесителе, где при интенсивном перемешивании ему придаются пластические свойства, с последующим смачиванием, которое представляет собой добавление и равномерное распределение жидкости по всей смеси. Зародышеобразование происходит, когда жидкость объединяет близкие первичные частицы в слабые структуры, зародыши. За этим следует рост гранул, который обычно происходит в соответствии с индукционным механизмом. По мере роста гранул они консолидируются из-за перемешивающих сил. Уплотнение увеличивает прочность гранул и вытесняет излишки жидкости на поверхность. Перемешивание может привести к разрушению слабых или плохо сформированных гранул [4]. Затем пластифицированная масса под давлением продавливается через специальные матрицы или сита. Качество гранул зависит от влажности материала, содержания и типа связующего, размера и числа отверстий сита [3]. Высушенные гранулы также могут подвергаться истиранию и/или разрушению во время обработки. Как правило, гранулирование выполняется главным образом для предотвращения сегрегации компонентов порошка, улучшения свойств текучести, характеристик уплотнения, внешнего вида, минимизации пыли и уплотнения материала [4].

Раствор связующего вещества, смешанный с порошком, может образовывать связи между его частицами, которые достаточно прочны, чтобы соединить их вместе. Однако после высыхания жидкости некоторые порошки могут развалиться. В таких случаях требуется жидкий раствор, содержащий связующее вещество [4]. В качестве связующего выбирают различные жидкости, способствующие сцеплению частиц. Чаще всего это дешевые доступные вещества, используемые в технологии получения данного продукта (вода, раствор продукта, плав одно-

го из компонентов и т.п.). Иногда используют смолы, бентонит, глину, гипс и другие инертные связующие вещества, способствующие затвердеванию.

После того, как растворитель был удален или высушен, порошковая смесь образует более плотную массу. В традиционном методе влажной грануляции увлажненную массу пропускают через сито для получения предварительно влажных гранул, которые затем сушат. Последующая стадия после сушки, просеивания/измельчения разбивает агломераты на гранулы с желаемым размером и распределением части [4].

Для решения проблемы разработки технологии гранулирования пылевидного продукта КСl необходимо решить следующие задачи: изучить влияние степени увлажнения и содержания растворов связующих веществ при агломерации на динамическую прочность и гранулометрический состав получаемого гранулята, определить влияние температуры сушки на проведение процесса.

Материалы и методы исследования. Методика эксперимента по исследованию процесса агломерации флотационного хлорида калия заключалась в следующем: исходный концентрат КСl с влажностью 5,4 % смешивали с горячей циклонной пылью флотационного хлорида калия (90 °С) и расчетным количеством 10%-го раствора галургического хлорида калия (КСl) (2,5; 3,75 и 5 %). Полученную туко смесь перемешивали до однородного состояния, после чего подвергали формованию на лабораторном вертикальном грануляторе «Гранулятор–30» через сетку с размером ячеек 1,0 мм. После этого агломерированный КСl сушили при температуре 100 °С в течение 20 мин. Гранулометрический состав определяли с помощью ситового анализа, динамическую прочность агломерированного продукта измеряли на приборе ПКПГ по известной методике [5]. Эффективность процесса агломерационного формования оценивали по следующим показателям: содержанию фракции менее 0,140 мм, динамической прочности и среднему размеру частиц продукта.

В качестве объекта исследования использовали пылевидный флотационный хлорид калия, который образуется на стадии сушки. Пылевидный флотационный КСl – мелкие кристаллы бледно-розового цвета размером менее 0,140 мм следующего состава (% мас.): КСl – 95,5; NaCl – 4; H₂O – 0,5.

Результаты исследований. Первоначально исследовали влияние содержания циклонной пыли флотационного хлорида калия и связую-

щего вещества, вводимых на стадии смешения, на гранулометрический состав полученного гранулята. Также был измерен гранулометрический состав флотационного концентрата КСl и циклонной пыли (табл. 1). После чего проводили испытания на динамическую прочность (ДП). Результаты исследований представлены в табл. 2–4.

Таблица 1

Гранулометрический состав концентрата и циклонной пыли флотационного хлорида калия

Размер фракции, мм	Содержание фракций ЦП флотационного хлорида калия, вес. %	Содержание фракций концентрата флотационного КСl, вес. %
+1,25	–	1,0
–1,25+0,90	–	3,3
–0,90+0,64	–	10,6
–0,64+0,315	5,4	31,7
–0,315+0,140	26,0	35,0
–0,140	68,6	18,4
Средний размер частиц, мм	0,13	0,38

Таблица 2

Гранулометрический состав флотационного КСl с различным содержанием ЦП КСl при введении 10%-го раствора галургического КСl в количестве 2,5 %

Размер фракции, мм	Гранулометрический состав гранулята КСl, %							
	КСl с 5 % ЦП		КСl с 10 % ЦП		КСl с 15 % ЦП		КСl с 20 % ЦП	
	после гранул.	после испыт. на ДП	после гранул.	после испыт. на ДП	после гранул.	после испыт. на ДП	после гранул.	после испыт. на ДП
+1,25	5,59	3,12	14,48	1,67	11,99	1,31	8,24	1,42
–1,25 +0,90	11,9	6,04	16,02	1,55	17,92	1,9	13,74	1,69
–0,90 +0,64	34,7	22,79	29,83	11,3	31,12	11,59	34,03	10,5
–0,64 +0,315	35,15	45,86	28,9	54,12	28,95	53,62	32,76	58,93
–0,315 +0,140	11,44	20,06	9,42	29,94	8,67	29,56	9,76	26,1
–0,140	1,22	2,12	1,36	1,43	1,36	2,04	1,47	1,28
Средний размер частиц, мм	0,68	0,56	0,79	0,46	0,78	0,45	0,72	0,46

Как видно из табл. 2 при подаче 2,5%-го раствора галургического КС1 к концентрату возрастает содержание фракции –0,140 мм на 50 %, а средний размер частиц уменьшается на 37 % по сравнению с гранулятом, не прошедшим испытание на ДП.

Из табл. 3 видно, что при подаче 3,75 % раствора галургического КС1 к концентрату увеличивается содержание фракции –0,140 мм на 48 %, а средний размер частиц снижается на 45 %.

Таблица 3

Гранулометрический состав флотационного КС1 с различным содержанием ЦП КС1 при введении 10%-го раствора галургического КС1 в количестве 3,75 %

Размер фракции, мм	Гранулометрический состав гранулята КС1, %							
	КС1 с 5% ЦП		КС1 с 10% ЦП		КС1 с 15% ЦП		КС1 с 20% ЦП	
	после гранул.	после испыт. на ДП	после гранул.	после испыт. на ДП	после гранул.	после испыт. на ДП	после гранул.	после испыт. на ДП
+1,25	15,52	10,51	17,84	8,8	24,7	3,19	22,26	3,11
-1,25 +0,90	13,8	6,34	15,59	9,4	20,32	1,99	13,58	1,83
-0,90 +0,64	29,96	19,74	27,77	22,06	25,15	12,19	31,49	11,87
-0,64 +0,315	29,82	48,64	27,15	45,98	21,9	54,32	23,16	57,29
-0,315 +0,140	9,95	14,39	8,86	12,82	6,95	26,85	8,09	25,17
-0,140	0,95	0,37	0,72	0,94	0,98	1,46	1,42	0,87
Средний размер частиц, мм	0,79	0,65	0,82	0,66	0,93	0,49	0,88	0,49

Как видно из табл. 4, при подаче 5,0%-го раствора галургического КС1 содержание фракции –0,140 мм практически не меняется, а средний размер частиц снижается на 20 %.

Исследования динамической прочности полученного гранулята флотационного хлорида калия с 5 до 20 % ЦП КС1 и от 2,5 до 5,0 % галургический КС1 показали, что после проведения испытаний происходит перераспределение содержания основных фракций. Происходит значительное уменьшение содержания фракций более 1,25 (–1,25+0,9)

и $(-0,9+0,64)$ мм, а содержание $(-0,64+0,315)$, $(-0,315+0,14)$ увеличивается в 2 и более раз.

Таблица 4

Гранулометрический состав флотационного КСІ с различным содержанием ЦП КСІ при введении 10%-го раствора галургического КСІ в количестве 5 %

Размер фракции, мм	Гранулометрический состав гранулята КСІ, %							
	КСІ с 5 % ЦП		КСІ с 10 % ЦП		КСІ с 15 % ЦП		КСІ с 20 % ЦП	
	после гранул.	после испыт. на ДП	после гранул.	после испыт. на ДП	после гранул.	после испыт. на ДП	после гранул.	после испыт. на ДП
+1,25	30,46	14,87	25,73	12,88	25,54	16,71	24,91	15,7
-1,25 +0,90	19,72	10,64	21,29	10,28	18,33	9,49	14,87	8,11
-0,90 +0,64	22,12	18,83	23,24	21,49	24,01	18,07	26,89	19,98
-0,64 +0,315	19,92	37,4	21,93	44,21	22,95	41,52	23,84	44,83
-0,315 +0,140	6,96	17,49	7,12	10,41	8,22	13,58	8,48	10,95
-0,140	0,83	0,78	0,69	0,74	0,97	0,63	1,02	0,44
Средний размер частиц, мм	0,99	0,72	0,95	0,72	0,92	0,74	0,9	0,73

Как видно из сравнительного анализа данных табл. 2–4, при проведении агломерации концентрата с влажностью 5,4 % и циклонной пыли (влажность 0,4 %) флотационного хлорида калия с 10%-м раствором галургического КСІ в количестве 5 % происходит значительное повышение среднего размера частиц и понижение содержания фракции менее 0,140 мм по сравнению с 2,5 и 3,75 % добавляемого КСІ.

Заключение. В ходе проведенных исследований было необходимо получить продукт с минимальным содержанием фракции $-0,140$ мм и с наибольшим средним размером частиц.

Дополнительная подача галургического хлорида калия позволяет агломерировать большее количество ЦП КСІ и улучшить реологические свойства флотационного хлорида калия.

Исследования динамической прочности полученного гранулята показали, что после проведения испытаний происходит перераспреде-

ление содержания основных фракций, а также значительное истирание крупных фракций. Наблюдается сильное уменьшение содержания фракций +1,25 до 89 % ($-1,25+0,9$) до 90 % и ($-0,9+0,64$) мм до 69 %, и увеличение содержания ($-0,64+0,315$), ($-0,315+0,14$) в 2 и более раз.

Применение галургического хлорида калия в качестве связующего благоприятно сказывается на укрупнении состава (увеличивается процентное содержание фракции более 1,25) за счет родственных ионов и на уменьшении пылевидной фракции. Так, при введении циклонной пыли 5 % и связующего КСl в количестве 5 % в продукте содержание фракции +1,25 – 30,46 %, а средний размер частиц составляет 0,99 мм.

Список литературы

1. Пат. 2556939 Рос. Федерация, МПК C01D3/08, C01D3/06. Способ получения хлористого калия / Сафрыгин Ю.С., Букша Ю.В., Тимофеев В.И., Осипова Г.В., Паскина А.В. – № 2013139981/05; заявл. 27.08.2013; опубл. 20.07.2015.

2. Гранулирование циклонной пыли хлорида калия методом окатывания / О.А. Федотова, В.З. Пойлов, Э.Г. Сидельникова, М.В. Сыромятникова, А.В. Новоселов // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 3. – С. 29–34.

3. Кочетков В.Н. Гранулирование минеральных удобрений. – М.: Химия, 1975. – 224 с.

4. Narang Sherif Ajit S., Badawy I.F. Handbook of Pharmaceutical Wet Granulation: Theory and Practice in a Quality by Design Paradigm. – New York: Informa healthcare, 2019 – 890 p.

5. ГОСТ 21560.3–82. Удобрения минеральные. Метод определения динамической прочности и истираемости. – М., 1983. – С. 1–3.

6. Влияние условий хранения и транспортировки на физико-механические свойства гранулированного хлорида калия / М.В. Черепанова, И.С. Потапов, В.З. Пойлов, К.В. Попова, С.Н. Алиферова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2012. – № 13. – С. 35–42.

7. Матусевич Л.Н. Кристаллизация из растворов в химической промышленности. – М.: Химия, 1968. – 304 с.

8. Пат. 95106213 Рос. Федерация, МПК C05D1/02. Способ получения гранулированного хлористого калия / Сквирский Л.Я., Поликша А.М., Сабинов Р.Х., Чернов В.С., Фролов Н.П., Вахрушев А.М., Козел З.Л. – № 95106213/25; заявл. 19.04.1995; опубл. 20.01.1997.

9. Пат. 2428379 Рос. Федерация, МПК B01J2/00, C01D3/22. Способ получения хлористого калия с улучшенными реологическими свойствами / Ан-

дреева Н.К., Букша Ю.В., Осипова Г.В., Сафрыгин Ю.С., Тимофеев В.И. – № 2009140851/05; заявл. 03.11.2009; опубл. 10.09.2011.

10. Пат. 2213078 Рос. Федерация, МПК С01D3/04. Способ получения агломерированного хлористого калия / Букша Ю.В., Перминов Л.М., Дерябин П.А., Фролов С.Б., Гержберг Ю.И. – № 2001124027/12; заявл. 29.08.2001; опубл. 27.09.2003.

11. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование. – М.: Химия, 1991. – 240 с.

12. Процессы гранулирования в промышленности / Н.Г. Вилесов, В.Я. Схрипков, В.Л. Ломазов, И.М. Танченко. – М.: Техника, 1976. – 192 с.

13. Мунин Д.А., Кузина Е.О., Кузьминых К.Г. Исследование процесса укрупнения пылевидной фракции галургического хлорида калия // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2016. – № 4. – С. 135–136.

14. Черепанова М.В., Мунин Д.А., Пойлов В.З. Исследование процесса рекристаллизации пылевидного галургического хлорида калия // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2017. – № 3. – С. 144–153.

15. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования. – М.: Химия, 1982. – 272 с.

References

1. Safrygin U.S., Buksha U.V., Timofeev V.I., Osipova G.V., Paskina A.V. Sposob polucheniia khloristogo kaliia [Method for producing potassium chloride]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2556939 (2015).

2. Fedotova O.A., Poilov V.Z., Sidelnikova E.G., Syromiatnikova M.V., Novoselov A.V. Granulirovanie tsiklonnoi pyli khlorida kaliia metodom okatyvaniia [Granulation of potassium chloride cyclone dust by pelletizing]. Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2011, no. 3, pp. 29-34.

3. Kochetkov V.N. Granulirovanie mineralnykh udobrenii [Granulation of mineral fertilizers]. Moscow, Khimiia, 1975, 224 p.

4. Praveen Hiremath, Kalyan Nuguru, Vivek Agrahari Material Attributes and Their Impact on Wet Granulation Process Performance. Handbook of Pharmaceutical Wet Granulation, Theory and Practice in a Quality by Design Paradigm, 2019, pp. 263-315.

5. GOST 21560 3-82 Udobreniia mineralnye. Metod opredeleniia dinamicheskoi prochnosti i istiraemosti. [Mineral fertilizers. Method for determination of dynamic strength and abrasion]. 1983, pp. 1-3.

6. Cherepanova M.V., Potapov I.S., Poilov V.Z., Popova K.V., Aliferova S.N. Vliianie uslovii khraneniia i transportirovki na fiziko-mekhanicheskie svoistva granulirovanogo khlorida kaliia [Influence of storage and transportation conditions on physical and mechanical properties of granular potassium chloride]. Vestnik PNIPU. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia, 2012, no. 13, pp. 35-42.

7. Matusevich L.N. Kristallizatsiia iz rastvorov v khimicheskoi promyshlennosti [Crystallization from solutions in the chemical industry]. Moscow, Khimiia, 1968, 304 p.

8. Skvirskii L.Ia., Poliksha A.M., Sabirov R.Kh., Chernov V.S., Frolov N.P., Vakhrushev A.M., Kozel Z.L. Sposob polucheniia granulirovannogo khloristogo kaliia [Method for producing granular potassium chloride]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 95106213 (1997).

9. Andreeva N.K., Buksha Iu.V., Osipova G.V., Safrygin I.U.S., Timofeev V.I. Sposob polucheniia khloristogo kaliia s uluchshennymi reologicheskimi svoistvami [Method for producing potassium chloride with improved rheological properties]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2428379 (2011).

10. Buksha Iu.V., Perminov L.M., Deriabin P.A., Frolov S.B., Gerzhberg Iu.I. Sposob polucheniia aglomerirovannogo khloristogo kaliia [Method for producing agglomerated potassium chloride]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2213078 (2003).

11. Klassen P.V., Grishaev I.G., Shomin I.P. Granulirovanie [Granulation]. Moscow, Khimiia, 1991, 240 p.

12. Vilesov N.G., Skhripkov V.Ia., Lomazov V.L., Tanchenko I.M. Protsessy granulirovaniia v promyshlennosti [The process of pelletization in the industry]. Moscow, Tekhnika, 1976, 192 p.

13. Munin D.A., Kuzina E.O., Kuzminykh K.G. Issledovanie protsessa ukрупneniia pylevidnoi fraktsii galurgicheskogo khlorida kaliia [Investigation of the process of enlargement of the pulverized fraction of halurgic potassium chloride]. Vestnik PNIPU. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia, 2016, no. 4, pp. 135-136.

14. Cherepanova M.V., Munin D.A., Poilov V.Z. Issledovanie protsessa rekristallizatsii pylevidnogo galurgicheskogo khlorida kaliia [Investigation of the process of recrystallization of pulverized halurgic potassium chloride]. Vestnik PNIPU. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia, 2017, no. 3, pp. 144-153.

15. Klassen P.V., Grishaev I.G. Osnovy tekhniki granulirovaniia [Basics of pelletizing technique]. Moscow, Khimiia, 1982, 272 p.

Получено 31.10.2019

Об авторах

Мунин Дмитрий Андреевич (Пермь, Россия) – аспирант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: demon011093@yandex.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).

Пойлов Владимир Зотович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).

Подтынова Александра Сергеевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского

го политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ipodtynova@yandex.ru).

About the authors

Dmitriy A. Munin (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: demon011093@yandex.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).

Vladimir Z. Poilov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).

Aleksandra S. Podtynova (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: ipodtynova@yandex.ru).