

УДК 661.832.321

# ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИСХОДНОГО ПРОДУКТА



**Н. К. АНДРЕЕВА,**  
старший научный сотрудник,  
канд. техн. наук,  
АО «ВНИИ Галургии»,  
Санкт-Петербург, Россия,  
alekskim@mail.ru

## Введение

Современный мировой рынок хлористого калия характеризуется заметным превышением потенциальных возможностей мировых производителей по отношению к реальным объемам сбыта, что резко обостряет борьбу за завоевание новых потребителей. Соблюдение жестких требований по гранулометрическому составу, прочности, пылимости, обеспечение необходимых реологических свойств калийной продукции — важнейшие условия высокой конкурентоспособности на мировом рынке.

Как показывает анализ опыта работы калийных предприятий и результаты исследований [1–7], невозможно добиться хороших физико-механических свойств мелкого и гранулированного прессованием хлористого калия только за счет реагентной обработки сухой продукции.

Поскольку основной задачей калийной промышленности является выпуск широкого ассортимента продукции с хорошими механическими свойствами, необходима разработка простых, универсальных и гибких технологических процессов производства. Это было осуществлено автором с учетом основных положений физико-химической механики дисперсных структур [8–16].

## Совершенствование технологического процесса производства хлористого калия на основе физико-химической механики дисперсных структур

Калийная продукция всех выпускаемых марок представляет собой дисперсный материал, основными характеристиками которого являются сыпучесть и гранулометрический состав. Как известно [8], дисперсный материал обладает хорошими механическими свойствами, если он способен сохранять их под воздействием влаги и температуры окружающей среды во время транспортирования и хранения. Дисперсный материал будет обладать хорошими механическими свойствами, если составляющие его природные зерна кристаллов, гранулы и агломераты имеют равновесную совершенную структуру. Такая структура лишена вну-

Выполнено обоснование и разработан технологический процесс производства хлористого калия, обеспечивающий улучшение физико-механических свойств продукта на основе физико-химической механики дисперсных структур, в соответствии с которой механические свойства дисперсных материалов определяются и зависят от энергетического состояния их зерен, кристаллов, гранул, агломератов.

Согласно разработанной технологии, совершенствование кристаллической структуры предложено проводить в специальном аппарате — скоростном турболопастном смесителе-грануляторе, обеспечивающем тесное контактное взаимодействие частиц концентрата хлорида калия. Полученный в процессе агломерации влажный дисперсный материал, имеющий совершенную, равновесную, лишённую избыточной энергии структуру, подвергают сушке в аппарате любой конструкции при температуре не выше 110 °С. В турболопастной смеситель-гранулятор, наряду с влажным KCl, подают сухой горячий продукт, циклонную пыль со стадии сушки, а при необходимости — раствор реагента агломерации.

**Ключевые слова:** дисперсный материал, агломерация, дислокации, равновесная структура, сыпучесть, влагостойкость, турболопастной смеситель-гранулятор, пластическая деформация.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.15>

тренных и поверхностных дефектов, и поэтому не имеет избыточной внутренней и поверхностной энергии, которые приводят к разрушению агломератов и гранул дисперсного материала, обуславливают потерю сыпучести.

Согласно законам физико-химической механики, дисперсный материал стремится избавиться от избыточной энергии и самостоятельно ее реализует. Результатом такой реализации становятся разрушенные и слежавшиеся на складах и при транспортировании в трюмах гранулы, агломераты, кристаллические зерна хлористого калия. Не разрушается и не слеживается дисперсный материал, отдельные гранулы, агломераты, зерна которого обладают совершенной структурой и характеризуются минимумом избыточной внутренней и поверхностной энергии. Технология получения дисперсного материала должна обеспечивать совершенствование его структуры. В противном случае дисперсный материал «самостоятельно занимается» совершенствованием своей структуры, поскольку этот процесс энергетически выгоден и протекает самопроизвольно. Результатом такой «самодетальности» будет слежавшийся дисперсный материал, разрушившиеся агло-

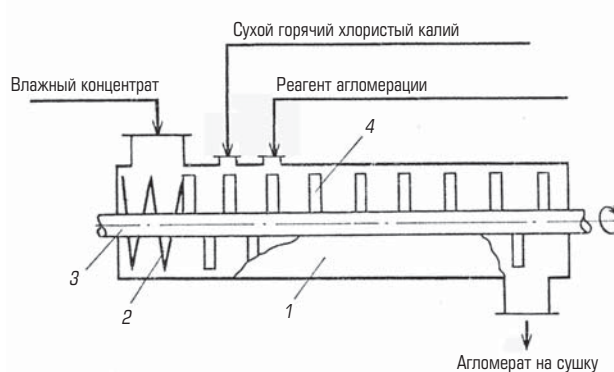
мераты и гранулы. Указанный процесс является самопроизвольным и необратимым.

Начиная с 2000 г. во ВНИИ Галургии при разработке технологических процессов производства разных марок хлористого калия из флотационного и галургического концентрата учитывали основные положения физико-химической механики дисперсных структур [17, 18].

Разрушение гранул и агломератов дисперсного материала, потеря им сыпучести являются сложными термодинамическими диффузионными процессами, обусловленными несовершенной (неравновесной, дефектной) структурой. Косвенным критерием и оценкой совершенства структуры дисперсного материала — калийной продукции выпускаемых марок — является его влагостойкость, т. е. способность сохранять основные механические свойства до и после увлажнения материала, например в климатическом шкафу. В реальных условиях структура дисперсного материала далека от равновесной. Согласно основам физико-химической механики дисперсных систем, именно дисперсным частицам можно просто придать равновесную структуру (форму) в результате их принудительного уплотнения и агрегации (агломерации под воздействием внешнего механического усилия). В процессе принудительного уплотнения необходимо обеспечить условия для реализации избытка поверхностной энергии частиц (силы адгезии), т. е. внешнего уплотняющего механического воздействия для тесного контактного взаимодействия частиц (их агломерации). Мощность внешнего механического воздействия должна обеспечивать пространственно-временную однородность в разрушении и образовании совершенной структуры материала. Интенсивность и длительность операций уплотнения и агломерации должны соответствовать предельному разрушению исходной структуры и образованию новой — совершенной.

Эффективность внешнего механического воздействия на дисперсную структуру определяется условиями деформации, преимущественно сдвиговой. Во влажном дисперсном материале уменьшается внутреннее трение порошка, и результат пластической деформации внешнего механического воздействия на него становится более эффективным. Пластическая прочность влажного дисперсного материала при этом растет и при определенном влагосодержании достигает максимума. Она является параметром, характеризующим влияние физико-механических свойств дисперсного материала на процесс его уплотнения.

Полученные автором экспериментальные результаты определения пластической прочности для пылевых фракций флотоконцентрата и галургического хлористого калия показали наличие двух интервалов влажности с максимальным значением этого показателя. Для исследованных образцов шихты хлористого калия максимальная пластическая прочность находится в интервалах влажности 3–4 и 10–12 %. Именно при этих значениях влажности шихты наиболее целесообразно осуществлять агломерацию пылевых фракций хлористого калия. В области малой влажности шихты агломерацию целесообразно осуществлять путем внешнего интенсивного уплотняющего механического воздействия на материал. При влажности шихты 10–12 % агломерирование частиц



**Схема турболопастного смесителя-гранулятора:**

1 — корпус аппарата; 2 — шнек; 3, 4 — вал и пальцы ротора соответственно

происходит за счет капиллярно-адсорбционных и кристаллизационных сил, поэтому в этих условиях не представляется возможным получение плотной структуры агломератов (гранул) без значительной добавки связующего вещества.

Формирование контакта между частицами в результате внешнего механического уплотняющего воздействия (пластической деформации) происходит по дислокационному механизму. Дислокацию можно рассматривать как смещение на межатомное расстояние плоскости кристалла. Пластическая деформация сплошных твердых кристаллических тел является результатом направленного перемещения дислокаций под воздействием внешних уплотняющих сил. Внешнее механическое воздействие в процессе уплотнения кристаллического дисперсного материала необходимо для преодоления сил трения, которые препятствуют перестроению частиц в более плотную упаковку. Изменение прочности индивидуальных контактов при внешнем поджиге зависит от упругопластических свойств частиц. С увеличением прочности индивидуальных контактов возрастает сопротивление обрабатываемого дисперсного материала сжатию.

Обеспечить дисперсную систему на стадии коагуляционной структуры (влажный концентрат хлористого калия) необходимым запасом энергии, достаточным для завершения процесса структурообразования, можно путем интенсивного механического воздействия на нее в турболопастном смесителе-грануляторе (ТЛГ), например ТЛГ-080-К01, разработанном в г. Дзержинске [19]. Принципиальная схема ТЛГ, использованного в процессе лабораторных и опытно-промышленных испытаний, представлена на рисунке. Процесс структурообразования полученных в ТЛГ агломератов хлористого калия завершается на последующей стадии сушки по конвективному механизму в аппарате любой конструкции, при этом обезвоживание проводят при температуре не выше 110 °С.

В условиях опытно-промышленных испытаний на предприятиях ОАО «Беларуськалий» с использованием ТЛГ на основе физико-химической механики дисперсных структур был отработан процесс производства из общей массы флотоконцентрата (крупность –2 мм) мелкого хлористого калия марки «0» (обеспыленный), не обладающего вторичной пылимостью. Внедрена

**Характеристика мелкого галургического хлористого калия, полученного по схеме с агломерацией влажного материала в турболопастном смесителе-грануляторе (средние данные)**

Наименование образца	Массовая доля, %, отдельных фракций, мм					Влажность образца, %	Температура образца после сушки, °С	Текучесть, г/с	Пылимость, г/кг	Насыпной вес, кг/м³	Угол естественного откоса, градус	Истирание (-0,2 мм), %	Статическая прочность (-0,2 мм), %
	0,8	0,5	0,25	0,1	-0,1								
Хлористый калий в процессе получения	1,8	5,0	39,5	49,6	4,1	0,13	102	248	0,124	985	26	17	21
Хлористый калий после 15 дней складирования	1,5	2,4	30,2	61,3	4,6	0,14	—	234	0,150	967	27	21	25

схема получения из мелкодисперсного (-0,25 мм) флотоконцентрата и циклонной пыли гранулированного прессованием продукта (наряду с мелким непылящим), который при складировании имел следующие характеристики: средний диаметр зерен частиц продукта — 0,49 мм; пылимость — 0,272 г/кг; текучесть — 287 г/с. Качественная характеристика отгруженной партии этого продукта без обработки антислеживателем и пылеподавателем после двухнедельного хранения на складе не изменилась, продукт был отгружен как калий хлористый марки «М» (мелкий).

В **таблице** приведена характеристика мелкого хлористого калия, полученного в ОАО «Беларуськалий» из галургического концентрата, поступившего с вакуум-кристаллизационной установки (ВКУ). Продукт был получен на опытно-промышленной установке, состоящей из ТЛГ (см. рисунок) и печи кипящего слоя (КС). Сушку структурированного продукта осуществляли при температуре не выше 110 °С. Необходимо заметить, что в настоящее время на калийных предприятиях галургический концентрат с ВКУ сушат при температуре не ниже 130 °С [20]. Полученный хлористый калий складировали без обработки антислеживателем — амином. Влажность материала, обрабатываемого в турболопастном смесителе-грануляторе, составляла 4,3–4,7 %. Исходный влаж-

ный концентрат с центрифуг содержал следующие фракции: 0,25 мм — 23,5 %; 0,1 мм — 63,9 %; -0,1 мм — 12,6 %.

**Заключение**

Полученные результаты позволили установить оптимальные условия проведения стадии структурообразования, обеспечивающие рост сдвиговой пластической деформации для успешного завершения агломерации кристаллических частиц влажного материала в процессе совершенствования структуры. Использование положений физико-химической механики дало возможность разработать в лабораторных условиях и проверить в ходе опытно-промышленных испытаний технологию получения удобрительного хлористого калия — мелкого и гранулированного прессованием из флотоационного и галургического концентрата с хорошими реологическими свойствами и способного сохранять их под воздействием влаги и температуры окружающей среды. Разработанный технологический процесс является экономически эффективным за счет снижения температуры сушки и сокращения расходов на органические реагенты — антислеживатель и пылеподаватель. На территории Российской Федерации и Республики Беларусь рассмотренная технология защищена патентами [21–23].

**Библиографический список**

1. Ломакин А. Г. Рынок калийных удобрений: проблемы и перспективы. — СПб. : ООО «ИПК «НП-Принт», 2004. С. 168–187.
2. Букша Ю. В., Козел З. Л., Рогозин М. Д. Проблемы стабилизации качества хлористого калия // Актуальные вопросы добычи и переработки природных солей: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИ Галургии». Т. 2. Переработка природных солей / под ред. Ю. В. Букши. — СПб. : Информ. издат. агент. «ЛИК», 2001. С. 7–11.
3. Герцберг Ю. И., Дерябин П. А. Агломерация как способ улучшения физико-механических свойств хлорида калия // Актуальные вопросы добычи и переработки природных солей: сб. науч. тр. ЗАО «ВНИИ Галургии». Т. 2. Переработка природных солей / под ред. Ю. В. Букши. — СПб. : Информ. издат. агент. «ЛИК», 2001. С. 70–85.
4. Козел З. Л., Рогозин М. Д., Гайко Н. А., Алиферова С. Н. Физико-механические свойства гранулированного хлористого калия // Актуальные вопросы добычи и переработки природных солей: сб. науч. тр. ЗАО «ВНИИ Галургии» / под ред. Ю. В. Букши. — СПб. : НИИЗК СПбГУ, 2006. С. 181–195.
5. Березин А. Л., Герцберг Ю. И. Агломерация мелкодисперсных фракций хлористого калия в скоростных турболопастных аппаратах // Актуальные вопросы добычи и переработки природных солей: сб. науч. тр. ЗАО «ВНИИ Галургии» / под ред. Ю. В. Букши. — СПб. : НИИЗК СПбГУ, 2006. С. 214–224.
6. Газалеева Г. И., Цыпин Е. Ф., Червяков С. А. Рудоподготовка — дробление, грохочение, обогащение. — Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2014. С. 392–405.
7. Шемякина М. Г., Плешкова Л. Д., Молокович С. О., Смычкова А. Н., Стромский А. С. Новая композиция для модифицирования гранулированного хлористого калия // Обогащение руд. 2009. № 2. С. 39–41.
8. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика дисперсных структур. — М. : Наука, 1966. — 187 с.
9. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика — новая область науки. — М. : Знание, 1958. — 69 с.
10. Ребиндер П. А. Избранные труды. Физико-химическая механика. — М. : Наука, 1980. — 217 с.
11. Холунов Э. А. Роль структуры и прочностных характеристик минералов в разрывании и раскрытии руд // Обогащение руд. 2011. № 1. С. 27–33.
12. Паньков И. Л., Морозов И. А. Исследование влияния коэффициента трения между торцами образцов различной высоты и плитами пресса на механические показатели соляных пород // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 2. С. 107–113.
13. Malkin A. I. Regularities and mechanisms of the Rehbinders effect // Colloid Journal. 2012. Vol. 74. No. 2. P. 223–238.

14. Resume of academic conference : Grinding, classifying and particle characterization in research and product development // AT Mineral Processing. 2011. No. 4. P. 22–23.
15. Lampke J., Messerschmidt C., Folgner T., Lieberwirth H. Granulation of mineral fertilisers // AT Mineral Processing. 2015. No. 01-02. P. 56–64.
16. Govender I. Granular flows in rotating drums: A rheological perspective // Minerals Engineering. 2016. Vol. 92. pp.168–175.
17. Сабиров Р. П., Игнатьева Г. П., Себалло В. А. Изучение прочностных свойств гранулированных калийных удобрений // Обогащение руд. 2005. № 3. С. 11–13.
18. Козел З. Л., Rogozin M. D., Goyko N. A., Zakharova Yu. M. Исследование физико-механических свойств хлористого калия // Горный журнал. 2007. № 8. С. 86–88.
19. Казаков А. И. Технологические возможности турболопастных смесителей-грануляторов // Химическая промышленность. 2001. Т. 78. № 6. С. 35–38.
20. Тимофеев И. Е., Заигулин С. Х., Калегин А. Д., Тимофеев И. И. Изучение некоторых закономерностей сушки технического хлористого калия // Химическая промышленность. 2005. Т. 82. № 12. С. 610–615.
21. Патент 2359910 РФ. Способ получения влагостойкого хлористого калия с улучшенными реологическими свойствами / Н. К. Андреева, Ю. В. Букша, В. А. Себалло и др. ; заявл. 27.06.2007 ; опубл. 10.01.2009, Бюл. № 8.
22. Патент 2422363 РФ. Способ получения гранулированного хлористого калия / Н. К. Андреева, Ю. С. Сафрыгин, В. И. Тимофеев, Ю. В. Букша, Г. В. Осипова ; заявл. 01.12.2009 ; опубл. 27.06.2011, Бюл. № 18.
23. Патент 2428379 РФ. Способ получения хлористого калия с улучшенными реологическими свойствами / Н. К. Андреева, Ю. С. Сафрыгин, В. И. Тимофеев, Ю. В. Букша, Г. В. Осипова ; заявл. 03.11.2009 ; опубл. 10.09.2011, Бюл. № 25. **[X]**

«GORNYY ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 4, pp. 76–79  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.15>

**Increase in quality of potash fertilizers based on improvement of physical-chemical properties in the initial product**

**Information about author**

**N. K. Andreeva**<sup>1</sup>, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences, [alekskim@mail.ru](mailto:alekskim@mail.ru)

<sup>1</sup> VNII Galurgy Stock Co., St. Petersburg, Russia

**Abstract**

Potash products of all brands being manufactured are the disperse material with such principal characteristics as looseness (flow ability) and particle size distribution. Disperse material has good mechanical properties if it is able to retain them under the influence of moisture and temperature of ambient environment in the course of transportation and storage.

This work has given substantiation and developed the process for production of potassium chloride, which provides the physical and mechanical product properties upgrading on the base of physical and chemical mechanics of disperse structures, according to which disperse properties of disperse materials are determined and its depend on energy state of constituting material grains, crystals, granules, agglomerates.

During sylvinitic ore processing on the stages of crushing, beneficiation, vacuum-crystallization, drying, crystal disperse material obtains additional energy, which is to be realized and compensated. Excess surface energy of finished disperse material particles is realized in the agglomeration process on the warehouse and during transportation, at that the products become caked and lose flowability. It is proposed to solve this problem by including into the process the upgrading stage of particle structure of potassium chloride concentrate of wet flotation or hot leaching before drying.

According to the developed technology it is proposed to make crystal structure upgrading into the special apparatus – speed turbo-bladed mixer-granulator providing close contact interaction of potassium chloride concentrate particles. Obtained in the agglomeration process the wet disperse material, which has ideal equilibrium excess energy free structure is exposed to the drying in the apparatus of any construction at the temperature not more, than 110°C. Into the turbo-bladed mixer, along with wet KCl – is supplied dry hot product – cyclone dust from drying stage and, if necessary, agglomeration reagent solution.

**Keywords:** Disperse material, agglomeration, dislocation, equilibrium structure, flowability, moisture resistance, turbo-bladed mixer, plastic deformation.

**References**

1. Lomakin A. G. *Rynok Kalinykh udobreniy: problemy i perspektivy* (potassium fertilizers market: problems and prospects). Saint Petersburg : Print, 2004. pp. 168–187.
2. Buksha Yu. V., Kozel Z. L., Rogozin M. D. Problemy stabilizatsii kachestva khloristogo kaliya (Stabilization problems of potassium chloride quality). *Aktualnye voprosy dobychi i pererabotki prirodnnykh soley : Sbornik nauchnykh trudov otkrytogo aktsionernogo obshchestva "VNII Galurgii". Tom 2: Pererabotka prirodnnykh soley* (Urgent issues of mining and processing of natural salts: Collection of scientific works of VNII Galurgy. Vol. 2: Processing of natural salts). Edited by Yu. V. Buksha. Saint Petersburg : LIK, 2001. pp. 7–11.
3. Gerzberg Yu. I., Deryabin P. A. Aglomeratsiya kak sposob uluchsheniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv khlorida kaliya (Agglomeration as a way to improve the physical and mechanical properties of potassium chloride). *Aktualnye voprosy dobychi i pererabotki prirodnnykh soley : Sbornik nauchnykh trudov otkrytogo aktsionernogo obshchestva "VNII Galurgii". Tom 2: Pererabotka prirodnnykh soley* (Urgent issues of mining and processing of natural salts: Collection of scientific works of VNII Galurgy. Vol. 2: Processing of natural salts). Edited by Yu. V. Buksha. Saint Petersburg : LIK, 2001. pp. 70–85.
4. Kozel Z. L., Rogozin M. D., Goyko N. A., Aliferova S. N. Fiziko-mekhanicheskie svoystva granulirovannogo khlorida kaliya (Physical and mechanical properties of granular potassium chloride). *Aktualnye voprosy dobychi i pererabotki prirodnnykh soley : Sbornik nauchnykh trudov otkrytogo aktsionernogo obshchestva "VNII Galurgii". Tom 2: Pererabotka prirodnnykh soley* (Urgent issues of mining and processing of natural salts: Collection of scientific works of VNII Galurgy. Vol. 2: Processing of natural salts). Edited by Yu. V. Buksha. Saint Petersburg : Saint Petersburg State University, 2006. pp. 181–195.
5. Berezin A. L. Gerzberg Yu. I. Aglomeratsiya melkodispersnykh fraktsii khloristogo kaliya v skorostnykh turbolopastnykh apparatakh (Agglomeration of fine dispersed fractions of potassium chloride in

high-speed turbo-bladed machines). *Aktualnye voprosy dobychi i pererabotki prirodnnykh soley : Sbornik nauchnykh trudov otkrytogo aktsionernogo obshchestva "VNII Galurgii". Tom 2: Pererabotka prirodnnykh soley* (Urgent issues of mining and processing of natural salts: Collection of scientific works of VNII Galurgy. Vol. 2: Processing of natural salts). Edited by Yu. V. Buksha. Saint Petersburg : Saint Petersburg State University, 2006. pp. 214–224.

6. Gazaleeva G. I., Tsyin E. F., Chervyakov S. A. Rudopodgotovka – droblenie, grokhocheniye, obogashcheniye (Ore preparation – crushing, screening, concentration). Ekaterinburg : UTsAO, 2014. pp. 392–405.
7. Shemyakina M. G., Pleshkova L. D., Molokovich S. O., Smychkova A. N., Stromskiy A. S. Novaya kompozitsiya dlya modifitsirovaniya granulirovannogo khloristogo kaliya (A new composition for granulated potassium chloride modification). *Obogashcheniye rud = Mineral processing*. 2009. No. 2. pp. 39–41
8. Rebinder P. A. *Fiziko-Khimicheskaya mekhanika dispersnykh struktur* (Physical and chemical mechanics of disperse structures). Moscow: Nauka, 1966. 187 p.
9. Rebinder P. A. *Fiziko-Khimicheskaya mekhanika – novaya oblast nauki* (Physical and chemical mechanics – a new field of science). Moscow : Znaniye, 1958. 69 p.
10. Rebinder P. A. *Izbrannye trudy. Fiziko-Khimicheskaya mekhanika* (Physical and chemical mechanics. Selected works). Moscow: Nauka, 1980. 217 p.
11. Khopunov E. A. Rol struktury i prochnostnykh kharakteristik mineralov v razrushenii i raskrytii rud (Role of structure and strength characteristics of minerals in ore breaking and opening). *Obogashcheniye rud = Mineral processing*. 2011. No. 1. pp. 27–33.
12. Pankov I. L., Morozov I. A. Issledovanie vliyaniya koeffitsienta treniya mezhdu tortsami obraztsov razlichnoy vysoty i pitami pressa na mekhanicheskie pokazateli soleyanikh porod (Investigation of effect of friction coefficient between the specimen ends with different height and press plates on mechanical performances of saline rocks). *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining journal*. 2015. No. 2. pp. 107–113.
13. Malkin A. I. Regularities and mechanisms of the Rebinder's effect. *Colloid Journal*. 2012. Vol. 74, No. 2. pp. 223–238.
14. Resume of academic conference : Grinding, classifying and particle characterization in research and product development. AT Mineral Processing. 2011. No. 4. pp. 22–23.
15. Lampke J., Messerschmidt C., Folgner T., Lieberwirth H. Granulation of mineral fertilisers. AT Mineral Processing. 2015. No. 01-02. pp. 56–64.
16. Govender I. Granular flows in rotating drums: A rheological perspective. *Minerals Engineering*. 2016. Vol. 92. pp. 168–175.
17. Sabirov R. R., Ignateva G. P., Seballo V. A. Izuchenie prochnostnykh svoystv granulirovannykh kaliynnykh udobreniy (The study of the strength properties of granular potassium fertilizers). *Obogashcheniye rud = Mineral processing*. 2005. No. 3. pp. 11–13.
18. Kozel Z. L., Rogozin M. D., Goyko N. A., Zakharova Yu. M. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv khloristogo kaliya (Study of physical and mechanical properties of potassium chloride). *Gornyy zhurnal = Mining Journal*. 2007. No. 8. pp. 86–88.
19. Kazakov A. I. Tekhnologicheskie vozmozhnosti turbolopastnykh smesiteley – granulyatorov (Technological capabilities of turbo-bladed mixers – granulators). *Khimicheskaya Promyshlennost = Industry & Chemistry*. 2001. Vol. 78, No. 6. pp. 35–38.
20. Тимофеев И. Е., Заигулин С. Х., Калегин А. Д., Тимофеев И. И. Изучение некоторых закономерностей сушки технического хлористого калия (The study of some regularities of technical potassium drying). *Khimicheskaya Promyshlennost = Industry & Chemistry*. 2005. Vol. 82, No. 12. pp. 610–615.
21. N. K. Andreeva, Yu. V. Buksha, V. A. Seballo et al. *Sposob polucheniya vlagostoykogo khloristogo kaliya s uluchshennymi reologicheskimi svoystvami* (Production method of moisture-resistant potassium chloride with improved rheological properties). Patent RF, No. 2359910. Applied: June 27, 2007. Published: January 10, 2009. Bulletin No. 8.
22. Andreeva N. K., Safrugin Yu. S., Timofeev V. I., Buksha Yu. V., Osipova G. V. *Sposob polucheniya granulirovannogo khloristogo kaliya* (Production method of granulated potassium chloride). Patent RF, No. 2422363. Applied: December 01, 2009. Published: June 27, 2011. Bulletin No. 18.
23. N. K. Andreeva, Yu. S. Safrugin, V. I. Timofeev, Yu. V. Buksha, G. V. Osipova. *Sposob polucheniya khloristogo kaliya s uluchshennymi reologicheskimi svoystvami* (Production method of potassium chloride with improved rheological properties). Patent RF, No. 2428379. Applied: November 03, 2009. Published: September 10, 2011. Bulletin No. 25.