

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВОЙ РУДЫ В СТРУЙНОМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ**С.В. Воробьев¹, В.Н. Блиничев², И.В. Постникова², А.М. Козлов²**

¹Кафедра химической техники и автоматики, Ивановский государственный химико-технологический университет просп. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000.

E-mail: ch4rlythec4t@gmail.com

²Кафедра технологических машин и оборудования, Ивановский государственный химико-технологический университет просп. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000.

E-mail: blinich@isuct.ru, poirvic@mail.ru, ale3069@yandex.ru

Представлены результаты экспериментального исследования процесса избирательного измельчения апатит-нефелиновой руды в струйном измельчителе с псевдооживленным слоем. Экспериментальное исследование представляет собой предварительный нагрев образцов апатит-нефелиновой руды Хибинского месторождения размером 50-150 мм до температуры 650 °С с последующим быстрым охлаждением водой до температуры 105 °С. Полученные образцы подвергались дроблению в молотковой мельнице до получения частиц размером не более 12 мм и измельчению в струйном измельчителе с псевдооживленным слоем для получения тонкодисперсного продукта размером не более 300 мкм. Показано, что при истирании частиц апатит-нефелиновой руды в псевдооживленном слое при низких числах K_w псевдооживления, увеличивается дисперсность тонкодисперсного продукта, его однородность, а при увеличении числа K_w псевдооживления и при измельчении в противоточных струях уменьшается однородность и увеличивается дисперсность пылевидного продукта. Анализ массовой концентрации показал, что максимальное количество частиц продуктов истирания в псевдооживленном слое – это фтороapatит (48,1 %), как наименее прочный компонент смеси. При повышении числа псевдооживления K_w концентрация фтороapatита в тонкодисперсном продукте снижалась до 41,7 %. Таким образом можно сделать вывод о частичном обогащении целевого компонента (фтороapatита) при истирании руды в псевдооживленном слое. Исследования процесса измельчения частиц апатит-нефелиновой руды в струйном измельчителе с псевдооживленным слоем, в котором разрушение материала происходит в сталкивающихся двухфазных струях, истекающих в псевдооживленном слое, показали, что в продуктах измельчения наибольшее массовое содержание имеет фтороapatит. Сделан вывод, что наиболее эффективной конструкцией при проведении процесса избирательного измельчения является струйный измельчитель каскадного типа, в котором измельчение компонентов будет осуществляться в различных ступенях соответственно их прочности

Ключевые слова: измельчение, псевдооживленный слой, обогащение, апатит-нефелиновая руда

Для цитирования:

Воробьев С.В., Блиничев В.Н., Постникова И.В., Козлов А.М. Исследование процесса избирательного измельчения апатит-нефелиновой руды в струйном измельчителе с псевдооживленным слоем. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2022. Т. LXVI. № 4. С. 94–99. DOI: 10.6060/rcj.2022664.14.

For citation:

Vorobyov S.V., Blinichev V.N., Postnikova I.V., Kozlov A.M. Study of the process of selective grinding of apatite-nepheline ore in a jet grinder with a fluidized bed. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. 66. N 4. P. 94–99. DOI: 10.6060/rcj.2022664.14.

STUDY OF THE PROCESS OF SELECTIVE GRINDING OF APATITE-NEPHELINE ORE IN A JET GRINDER WITH A FLUIDIZED BED

S.V. Vorobyov¹, V.N. Blinichev², I.V. Postnikova², A.M. Kozlov²

¹Department of Chemical Engineering and Automation, Ivanovo State University of Chemical Technology Sheremetevsky, 7, Ivanovo, Russian Federation, 153000.

E-mail: ch4rlythec4t@gmail.com

²Department of Technological Machines and Equipment, Ivanovo State University of Chemical Technology Sheremetevsky, 7, Ivanovo, Russian Federation, 153000.

E-mail: blinich@isuct.ru, poirvic@mail.ru, ale3069@yandex.ru

The results of an experimental study of the process of selective grinding of apatite-nepheline ore in a jet grinder with a fluidized bed are presented. The experimental study is a preliminary heating of samples of apatite-nepheline ore of the Khibiny deposit with a size of 50-150 mm to a temperature of 650 °C, followed by rapid cooling with water to a temperature of 105 °C. The obtained samples were subjected to crushing in a hammer mill to obtain particles with a size of not more than 12 mm and grinding in a jet grinder with a fluidized bed to obtain a fine product with a size of not more than 300 μm. It is shown that when particles of apatite-nepheline ore are abraded in a fluidized bed at low numbers K_w of fluidization, the dispersion of the finely dispersed product, its uniformity increases, and with an increase in the number K_w of fluidization and grinding in countercurrent jets, the uniformity decreases and the dispersion of the dust-like product increases. An analysis of the mass concentration showed that the maximum number of particles of attrition products in the fluidized bed is fluorapatite (48.1%), as the least durable component of the mixture. With an increase in the fluidization number K_w , the concentration of fluorapatite in the finely dispersed product decreased to 41.7%. Thus, it can be concluded that the target component (fluorapatite) is partially enriched during ore abrasion in a fluidized bed. Studies of the process of grinding particles of apatite-nepheline ore in a jet grinder with a fluidized bed, in which the destruction of the material occurs in colliding two-phase jets flowing in a fluidized bed, showed that fluorapatite has the highest mass content in the grinding products. It is concluded that the most efficient design for the process of selective grinding is a jet grinder of the cascade type, in which the grinding of the components will be carried out in different stages according to their strength.

Keywords: grinding, fluidized bed, beneficiation, apatite-nepheline ore

ВВЕДЕНИЕ

В химической промышленности многие материалы необходимо получать в тонкодисперсном виде без намола продуктов износа внутренней поверхности измельчителя [1, 2]. Также серьезные усилия направлены на уменьшение потерь полезных минералов при обогащении, поэтому особое внимание уделяется модернизации оборудования для проведения процессов рудоподготовки и обогащения [3, 4, 5, 6]. На данный момент на процессы дробления, измельчения и обогащения минерального сырья тратится приблизительно 1/20 часть всей вырабатываемой энергии, при том, что целевой продукт составляет лишь 2÷6 % от извлекаемой породы [7].

Поэтому главной задачей данной работы является совершенствование технологии перера-

ботки поликомпонентных материалов [8, 9] с целью увеличения полноты извлечения целевого компонента при разработке сухих способов обогащения фосфатных руд [10].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Процесс избирательного измельчения поликомпонентных материалов на примере апатит-нефелиновой руды был апробирован в лаборатории кафедры технологических машин и оборудования Ивановского государственного химико-технологического университета.

Экспериментальные исследования проводились с целью изучения влияния режимно-конструктивных параметров на гранулометрический и вещественный составы продуктов измельчения поликомпонентных частиц апатит-нефелиновой руды струйного измельчителя с псевдооживленным слоем.

Для этого образцы апатит-нефелиновой руды Хибинского месторождения размерами от 50 до 150 мм нагревались до температуры 650 °С и охлаждались водой до температуры 105 °С.

Далее образцы измельчались в лабораторной ударно-молотковой дробилке до размеров более 12 мм, и все продукты грубого измельчения направлялись в струйный измельчитель с псевдооживленным слоем для получения тонкодисперсных продуктов размерами менее 300 мкм. Экспериментальные исследования дисперсионного состава тонкодисперсных продуктов проводились на лазерном анализаторе частиц Analysette 22. Рентгенофазовый структурный анализ тонкодисперсных продуктов проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН УМ 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Параметром, в значительной степени, определяющим технологический режим переработки апатитового концентрата является гранулометрический состав измельченного сырья [11]. В соответствии с ГОСТ 22275-90 [12] апатитовый концентрат должен удовлетворять требованиям по содержанию частиц размером более 160 мкм - не более 13,5%.

На рис. 1 приведено сравнение интегральных гранулометрических характеристик апатитовых концентратов, производимых ведущими мировыми производителями России, с продуктами истирания апатит-нефелиновой руды в псевдооживленном слое и продуктами измельчения в сталкивающихся струях струйного измельчителя с псевдооживленным слоем [13].

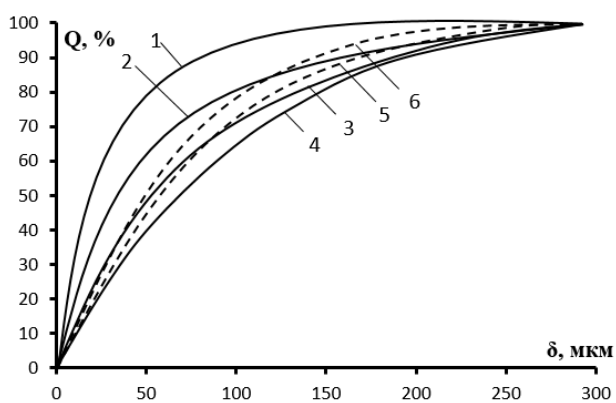


Рис. 1. Интегральные гранулометрические характеристики апатитовых концентратов: 1 – продукт истирания при $K_w = 1,5$; 2 – продукт истирания в при $K_w = 1,75$; 3 – продукт истирания в при $K_w = 2$; 4 – продукт измельчения в противоточных струях; 5 – Хибины, 6 – Ковдор.

Однако, как известно из практики [14], существует зависимость удельного расхода электроэнергии от степени измельчения руды, поэтому переход к более крупному питанию флотации обеспечивает значительную экономию энергоресурсов, а также флотационных реагентов. В этой связи в настоящее время ведущие мировые предприятия переработки производят апатитовый концентрат повышенной крупности (до 20% остатка 160 мкм на сите).

Произошедшие в последние годы изменения в технологии получения и потреблении апатитового концентрата позволили обосновать целесообразность реализации в широких масштабах производства на ОАО «Апатит» концентрата повышенной крупности [11].

Важно отметить, что струйный измельчитель с псевдооживленным слоем позволяет получать продукты измельчения апатит-нефелиновой руды заданной дисперсности путем регулирования подачи воздуха. Так, при более низких числах псевдооживления K_w , увеличивается дисперсность пылевидного продукта, его однородность (рис. 1 кривая 1). Это объясняется тем, что в данном случае процесс измельчения поликомпонентных частиц неправильной формы осуществляется в большей степени за счет их абразивного истирания. В то же время средняя скорость потока по сечению измельчителя не достигает скорости $v_{ун}$ уноса частиц повышенной крупности (более 160 мкм).

При увеличении числа K_w псевдооживления и при измельчении в противоточных струях увеличивается кинетическая энергия струй воздуха. Таким образом, в процессе измельчения частицы подвергаются не только истиранию, но также дроблению в надрешеточной области измельчителя. В связи с этим уменьшается однородность и увеличивается дисперсность пылевидного продукта (рис. 1, кривые 3, 4).

Рентгеноструктурный анализ показал, что максимальное количество частиц продуктов истирания в псевдооживленном слое – это фторапатит (48,1 %), как наименее прочный и полностью «раскрытый» в процессах термомеханического разрушения компонент. Вторым компонентом по массовому содержанию является нефелин (26,1 %). Также в составе пылевидного продукта наблюдается наличие альбита (14,9 %), мусковита (7,9 %) и эгирина (2,9 %) (рис. 2).

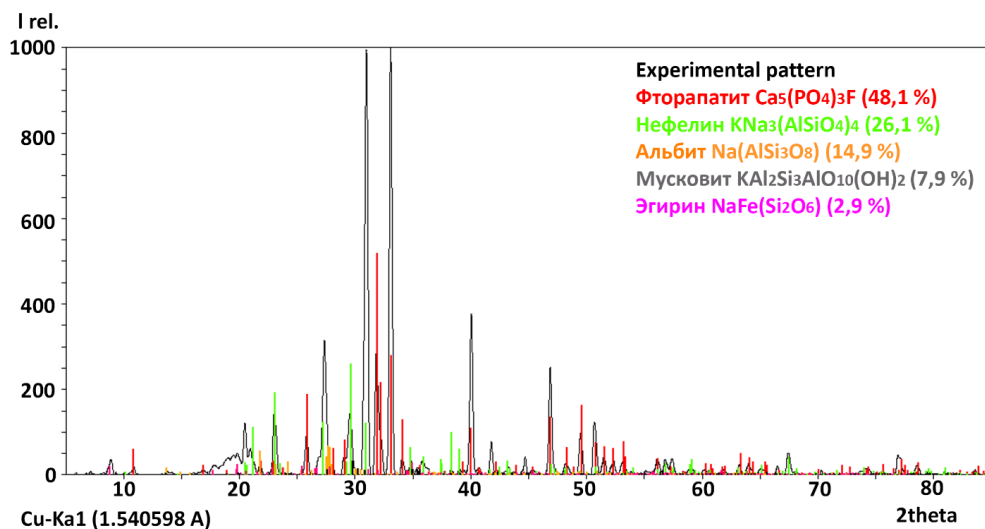


Рис. 2. Порошковая рентгенограмма продуктов истирания апатит-нефелиновой руды Хибинского месторождения в псевдоожигенном слое при $K_w=1,5$

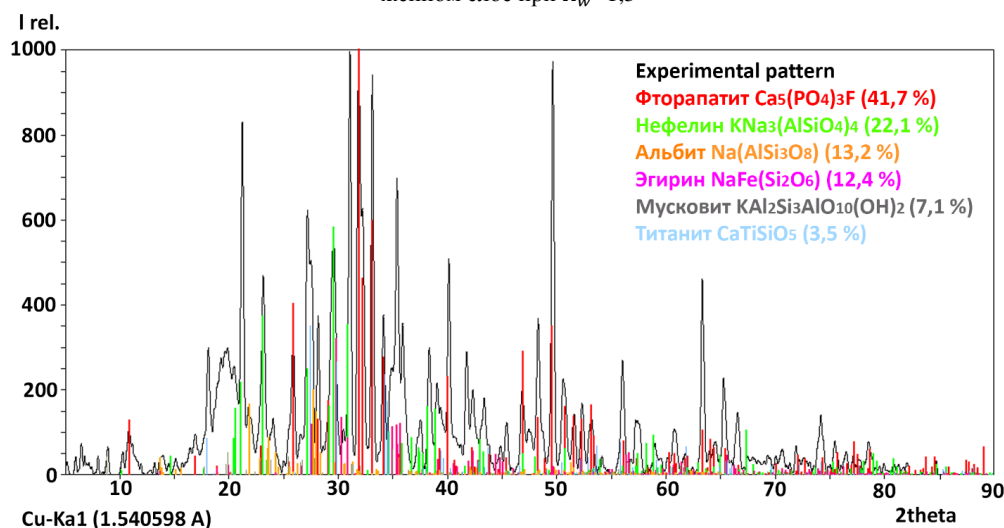


Рис. 3. Порошковая рентгенограмма продуктов истирания апатит-нефелиновой руды Хибинского месторождения в псевдоожигенном слое при $K_w=1,2$

Таблица 1.

Минералогический состав продуктов истирания частиц апатит-нефелиновой руды при разных числах псевдоожигения K_w

Число псевдоожигения, K_w	Массовое содержание, %					
	Фторапатит	Нефелин	Альбит	Эгирин	Мусковит	Титанит
1,5	48,1	26,1	14,9	2,9	7,9	-
2	41,7	22,1	13,2	12,4	7,1	3,5
Исходный материал	36,0	36,2	5,9	12,1	7,4	2,4

При более высоких числах псевдоожигения K_w в тонкодисперсном продукте наблюдается меньшее содержание фторапатита (41,7 %), нефелина (22,1 %), за счет прироста содержания эгирина (12,4 %) и титанита (3,5 %). Содержание остальных минералов (альбит (13,2 %), мусковит (7,1 %)) меняется незначительно. Это связано с тем, что при увеличении интенсивности процесса

истирания более прочные и более плотные компоненты также начинают разрушаться и выноситься из рабочей зоны аппарата.

Данные исследования показывают возможность частичного обогащения целевого компонента (фторапатита) при истирании руды в псевдоожигенном слое (табл. 1).

Исследования процесса измельчения частиц апатит-нефелиновой руды в струйном измельчителе с псевдооживленным слоем, в котором разрушение материала происходит в сталкивающихся двухфазных струях, истекающих в псевдооживленный слой, показали, что в продуктах измельчения наибольшее массовое содержание имеет фторапатит. Это связано с тем, что фторапатит является наименее прочным компонентом поликомпонентной смеси, что способствует его быстрому измельчению и выносу воздухом из струйного измельчителя с псевдооживленным слоем (табл. 2). При этом экспериментальные данные коррелируют со значениями, рассчитанными по предложенной ранее методике [15, 16, 17].

Таблица 2.

Минералогический состав продуктов измельчения апатит-нефелиновой руды в струйном измельчителе с псевдооживленным слоем

Компонент	Массовое содержание (экспериментальное), %	Массовое содержание (расчетное), %
Фторапатит	59	47,2
Нефелин	23,5	33,1
Эгирин	8,0	9,9
Мусковит	4,0	5,6
Альбит	3,5	3,8
Титанит	2,0	0,4

Как следует из данных табл. 2 избирательное измельчение в струйном измельчителе с псевдооживленным слоем возможно при оптимально выбранных скоростях столкновения частиц в струях с целью выделения того или иного компонента из поликомпонентной смеси [18].

Проведенные исследования [19-22] показали, что наиболее эффективной конструкцией при

проведении процесса избирательного измельчения является струйный измельчитель каскадного типа, в котором измельчение компонентов будет осуществляться в различных ступенях соответственно их прочности. Подобная конструкция способствует снижению энергозатрат, повышению эффективности тонкого измельчения, исключению загрязнения готового тонкодисперсного материала продуктами намола, «раскрытию» поликомпонентных материалов по границам связи отдельных компонентов и более полному извлечению целевого компонента.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что еще на стадии измельчения в струйном измельчителе с псевдооживленным слоем возможно первичное обогащение апатит-нефелиновой руды.

2. Показано, что продукты истирания апатит-нефелиновой руды в псевдооживленном слое и измельчения в противоточных струях в струйном измельчителе с псевдооживленным слоем по гранулометрическому составу соответствуют апатитовому концентрату основных его производителей в России.

3. Показано, что производительность процесса измельчения в противоточных струях зависят от ряда факторов (скорость истекающего воздуха в струях, диаметр частиц), что соответствует предложенной в данной работе дискретной модели струи.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-29-01368.

Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряник И.А., Золотухина Д.А. Развитие струйного Развитие информационно-ресурсного обеспечения образования и науки в горно-металлургической отрасли и транспорте 2014. Днепр: НГУ. 2014. С. 22-30.
2. Уваров В.А., Шарапов Р.Р. Струйные мельницы. Белгород: БГТУ. 2012. 144 с.
3. Лохов Д.С. Инновации в обогащении. *Уголь*. 2021. №12 (1149). С. 48-49.
4. Царев С.А., Хорохонов Ю.Б. Анализ методов предварительного обогащения руды. *Вестник ИрГТУ*. 2009. №2 (38). С. 23-27.
5. Поляков О.А. Графо-аналитическая трактовка процесса разделения минералов методом рентгенорадиометрической сепарации. *Вестник ЗабГУ*. 2013. №2. С. 38-47.
6. Мухина Т.Н., Марчевская В.В. Сотрудничество Горного института Кольского научного центра РАН с другими организациями при разработке новых технологий. *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2016. №4 (27). С. 51-60.

REFERENCES

1. Serebryanik I.A., Zolotukhina D.A. Jet development Development of information and resource support for education and science in the mining and metallurgical industry and transport 2014. Dnepr: NSU. 2014. S. 22-30.
2. Uvarov V.A., Sharapov R.R. Jet mills. Belgorod: BSTU. 2012. 144 p.
3. Lokhov D.S. Enrichment innovation. *Ugol*. 2021. No. 12 (1149). pp. 48-49.
4. Tsarev S.A., Horokhonov Yu.B. Analysis of the methods of preliminary enrichment of ore. *Vestnik IrGTU*. 2009. No. 2 (38). pp. 23-27.
5. Polyakov O.A. Graph-analytical interpretation of the process of separation of minerals by X-ray radiometric separation. *Vestnik ZabGU*. 2013. No. 2. pp. 38-47.
6. Mukhina T.N., Marchevskaya V.V. Cooperation of the Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences with other organizations in the development of new technologies. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN*. 2016. No. 4 (27). pp. 51-60.

7. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород. М: МГГУ. 2009. 453 с.
8. Дмитриев А.П. Современные проблемы избирательного и ресурсосберегающего разрушения горных пород. М.: Информационно-аналитический бюллетень. 2011. № S1. С. 169-184.
9. Хопунов Э.А. Селективное разрушение минерального и техногенного сырья (в обогащении и металлургии). Екатеринбург: ООО «УИПЦ». 2013. 429 с.
10. Беляев, И.А., Воробьев С.В., Постникова И.В., Блиничев В.Н. Анализ способов сухого обогащения фосфоритовых руд. Международный научно-технический форум первые международные Косыгинские чтения – 2017. М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина». 2017. С. 28-34.
11. Левин Б.В., Ангелов А.И., Голованов В.Г. Перспективы получения и переработки Кольского апатитового концентрата повышенной крупности. *Мир серы, N, P и K*. 2005. № 1. С. 7-13.
12. ГОСТ 22275-90. Концентрат апатитовый. Технические условия. – Москва: Изд-во стандартов, 1991. 19 с.
13. Воробьев С.В., Козлов А.М., Постникова И.В., Блиничев В.Н. Расчет рациональных режимов работы противочастичных струйных измельчителей для интенсивного ударного разрушения материала. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2020. № 2 (64). С. 97-102.
14. Чантурия В.А., Вайсберг Л.А., Козлов А.П. Приоритетные исследования в области переработки минерального сырья. *Обогащение руд*. 2014. № 2. С. 3-9.
15. Воробьев С.В., Блиничев В.Н. Расчет производительности струйного измельчителя с псевдооживленным слоем при избирательном измельчении поликомпонентных материалов. Надежность и долговечность машин и механизмов. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2022. С. 52-57.
16. Ладаев Н.М., Гаюмджян П.П. О вероятности разрушения хрупкого материала ударом. *Строительство и реконструкция*. 2011. № 4(36). С. 43-46.
17. Ладаев Н.М., Жбанова Е.В., Жбанов Н.С. Критическая скорость разрушения при ударном нагружении материала. *Информационная среда вуза*. Иваново: ИВГПУ. 2017. С. 618-620.
18. Кочетков А.В., Федотов П.В. Некоторые вопросы теории удара *Вестник евразийской науки*. 2013. 5 (18). С. 108-115
19. Воробьев С.В., Колобов М.Ю., Постникова И.В., Блиничев В.Н. Кинетика истирания зернистых материалов в псевдооживленном слое. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. №1 (65). С. 72-77.
20. Блиничев В.Н., Постникова И.В., Воробьев С.В., Колобов М.Ю., Зуева Г.А. Интенсификация процесса разрушения поликомпонентных материалов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 1. С. 109–115. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6357.
21. Кравчик Я., Шатко В., Постникова И., Блиничев В. Влияние основных факторов на эффективность мокрых вихревых пылеуловителей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 6. С. 98-105. DOI: 10.6060/ivkkt.20196206.5927.
22. Воробьев С.В., Постникова И.В., Блиничев В.Н. Определение скорости и концентрации частиц твердой фазы в турбулентной струе газа, погруженной в псевдооживленный слой. *Рос. хим. ж.* 2020. Т. 63. № 3-4. С. 31-39.
7. Protasov Yu.I. Destruction of rocks. M: MGGU. 2009. 453 p.
8. Dmitriev A.P. Modern problems of selective and resource-saving destruction of rocks. M.: *Informacionno-analiticheskij byulleten'*. 2011. No. S1. pp. 169-184.
9. Hopunov E.A. Selective destruction of mineral and technogenic raw materials (in enrichment and metallurgy). Yekaterinburg: ООО UIPTs. 2013. 429 p.
10. Belyaev, I.A., Vorobyov S.V., Postnikova I.V., Blinichev V.N. Analysis of methods of dry enrichment of phosphorite ores. International Scientific and Technical Forum First International Kosygin Readings - 2017. A.N. Kosygin". 2017. S. 28-34.
11. Levin B.V., Angelov A.I., Golovanov V.G. Prospects for obtaining and processing the Kola apatite concentrate of increased size. *Mir sery, N, P i K*. 2005. No. 1. P. 7-13.
12. GOST 22275-90. apatite concentrate. Specifications. - Moscow: Publishing House of Standards, 1991. - 19 p.
13. Vorobyov S.V., Kozlov A.M., Postnikova I.V., Blinichev V.N. Calculation of rational modes of operation of counter-current jet grinders for intensive impact destruction of the material. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*. 2020. No. 2 (64). pp. 97-102.
14. Chanturia V.A., Vaisberg L.A., Kozlov A.P. Priority research in the field of processing of mineral raw materials. *Obogashchenie rud*. 2014. No. 2. S. 3-9.
15. Vorobyov S.V., Blinichev V.N. Calculation of the performance of a jet grinder with a fluidized bed for selective grinding of polycomponent materials. Reliability and durability of machines and mechanisms. Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2022. S. 52-57.
16. Ladaev N.M., Gayumdzhyan P.P. On the probability of fracture of a brittle material by impact. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2011. No. 4(36). pp. 43-46.
17. Ladaev N.M., Zhanova E.V., Zhanov N.S. Critical fracture rate under shock loading of the material. *Informacionnaya sreda VUZA*. Ivanovo: IVGPU. 2017. S. 618-620.
18. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Some questions of impact theory. *Vestnik evrazijskoj nauki*. 2013. 5(18). С. 108-115
19. Vorobyov S.V., Kolobov M.Yu., Postnikova I.V., Blinichev V.N. Kinetics of attrition of granular materials in a fluidized bed. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*. 2021. No. 1 (65). pp. 72-77.
20. Blinichev V.N., Postnikova I.V., Vorobiev S.V., Kolobov M. Yu., Zueva G.A. Intensification of the destruction process of poly-component materials. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 1. P. 109–115. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6357.
21. Krawczyk J., Szatko W., Postnikova I., Blinichev V. Influence of the main factors on the efficiency of wet vortex dust collectors. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 6. P. 98-105. DOI: 10.6060/ivkkt.20196206.5927.
22. Vorobev S.V., Postnikova I.V., Blinichev V.N. Determination of Velocity and Concentration of Particles of a Solid Phase in a Turbulent Gas Jet, Immersed in a Fluidized Bed. *Ros. Khim. Zh.* 2020. V. 63. N 3-4. P. 31-39. DOI: 10.6060/rcj.2019633.4.

Поступила в редакцию (Received) 15.08.2022

Принята к опубликованию (Accepted) 27.10.2022