

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СЕПАРАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО РАБОТЫ

Чагин О.В., Колобов М.Ю.

Чагин Олег Вячеславович, Колобов Михаил Юрьевич  
Ивановский государственный химико-технологический университет,  
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7.  
E-mail: chagin@isuct.ru, mikhaikolobov@rambler.ru

*Статья посвящена определению влияния конструктивного оформления и режимных параметров работы воздушного сепаратора на эффективность разделения дисперсных материалов. Получены зависимости КПД разделения дисперсного материала по величине граничного размера зерна в зависимости от расхода воздуха через сепаратор, угла наклона лопаток в нем и запыленности воздуха.*

**Ключевые слова:** воздушный сепаратор, разделение дисперсного материала, расход воздуха, угол наклона лопаток

## INFLUENCE OF AIR SEPARATOR DESIGN ON THE EFFECTIVENESS OF ITS WORK

Chagin O.V., Kolobov M.Yu.

Chagin Oleg Vyacheslavovich, Kolobov Mikhail Yurievich  
Ivanovo State University of Chemical Technology,  
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.  
E-mail: chagin@isuct.ru, mikhaikolobov@rambler.ru

*The article is devoted to determining the influence of the design and operating parameters of the air separator on the efficiency of separation of dispersed materials. The dependences of the efficiency of separation of dispersed material on the value of the limiting grain size are obtained depending on the air flow through the separator, the angle of inclination of the blades in it and the dust content of the air.*

**Key words:** air separator, separation of dispersed material, air flow, blade angle

Одним из способов экономии материалов в сфере производства порошковых материалов является получение дисперсных материалов методом сепарации. Для получения продукта с заданными гранулометрическим составом и удельной поверхностью используют комплексы, основными компонентами которых обычно являются помольное оборудование и сепаратор для разделения частиц по крупности [1–6].

Экспериментальные исследования, представленные в данной статье, были направлены на определение влияния конструктивного оформления и режимных параметров работы воздушного сепаратора на эффективность разделения дисперсных материалов.

Режимными параметрами, которые могут меняться целенаправленно, являются:

- расход газа через сепаратор  $Q$ ;

- температура газа  $t$ ;  
- концентрация твердых частиц в потоке газа (запыленность  $\mu$ );  
- дисперсный состав подаваемой в сепаратор пыли  $R$ .

В воздушных сепараторах напряжение объема, т.е. отношение расхода газа через сепаратор к объему сепаратора, составляет 2000–4500 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup> ч). В соответствии с этим и возможностями аэродинамического стенда в экспериментах расход воздуха изменялся в пределах 260–7500 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup> ч), что перекрывает указанный диапазон напряжения объема.

Температура газа оказывает влияние на процесс классификации через изменение плотности и вязкости газа. Вместе с тем, расчет траекторий частиц в центробежном поле по математической модели показал, что увеличение температуры воздуха на 100°C изменяет предельный размер

частиц, выносимых в готовую пыль, на 2-5 мкм, что не превышает погрешности эксперимента.

Для стендового исследования была изготовлена модель сепаратора, общий вид которого показан на рис. 1. Сепаратор состоит из наружного корпуса 2 с входным 1 и выходным 5 патрубками. Внутри корпуса организована центробежная зона разделения, включающая направляющий лопаточный аппарат 3 с подвижными лопатками и центральный конус 4.

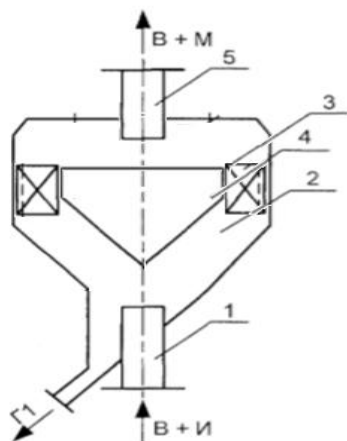


Рис. 1. Базовая модель воздушного сепаратора  
Fig. 1. Basic model of air separator

Кварцевый песок из дозатора вместе с потоком газа поступает в сепаратор через патрубок 1, огибает внутренний конус 4 и входит в направляющий аппарат 3. При подъемном движении за счет резкого расширения проходного сечения и снижения скорости газа наиболее крупные частицы выпадают из потока и выводятся из сепаратора через течку. Основная классификация частиц по размерам происходит в центробежной плоско противоточной зоне разделения, образованной лопатками и верхней и нижней крышками корзины. Под действием центробежной силы крупные частицы отбрасываются на периферию зоны, опускаются вниз и попадают во внутренний конус 4, откуда выводятся через течку. Мелкие частицы выносятся потоком газа через патрубок 5.

Модель сепаратора была установлена на аэродинамическом стенде, схема которого приведена на рис. 2. Стенд включает в себя модель воздушного сепаратора 4 с электродвигателем 2, бункером сыпучего материала 3, бункером грубого продукта 5, циклон 7 с бункером готовой пыли 8 (мелкий продукт разделения), центробежный вентилятор – 1, рукавный фильтр – 6, шнековый дозатор – 9.

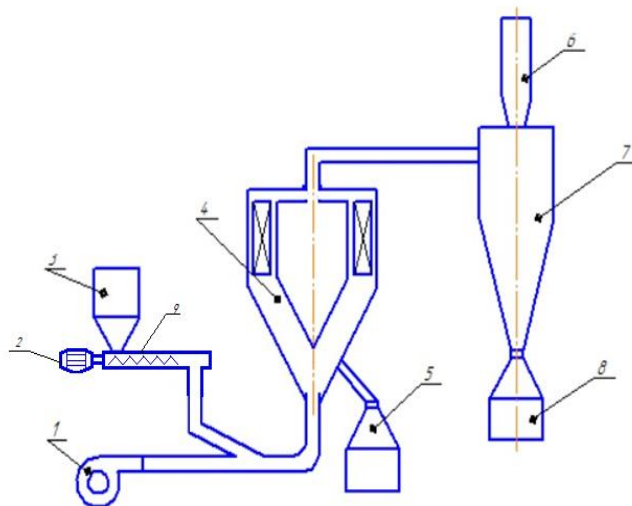


Рис. 2. Схема стендовой установки с воздушным сепаратором: 1 – центробежный вентилятор; 2 – электродвигатель; 3 – бункер сыпучего материала; 4 – сепаратор; 5 – бункер грубого продукта; 6 – рукавный фильтр; 7 – циклон; 8 – бункер мелкого продукта; 9 – шнековый дозатор  
Fig. 2. Diagram of a bench installation with an air separator: 1 – centrifugal fan; 2 – electric motor; 3 – bulk material hopper; 4 – separator; 5 – coarse product bunker; 6 – bag filter; 7 – cyclone; 8 – small product hopper; 9 – screw dispenser

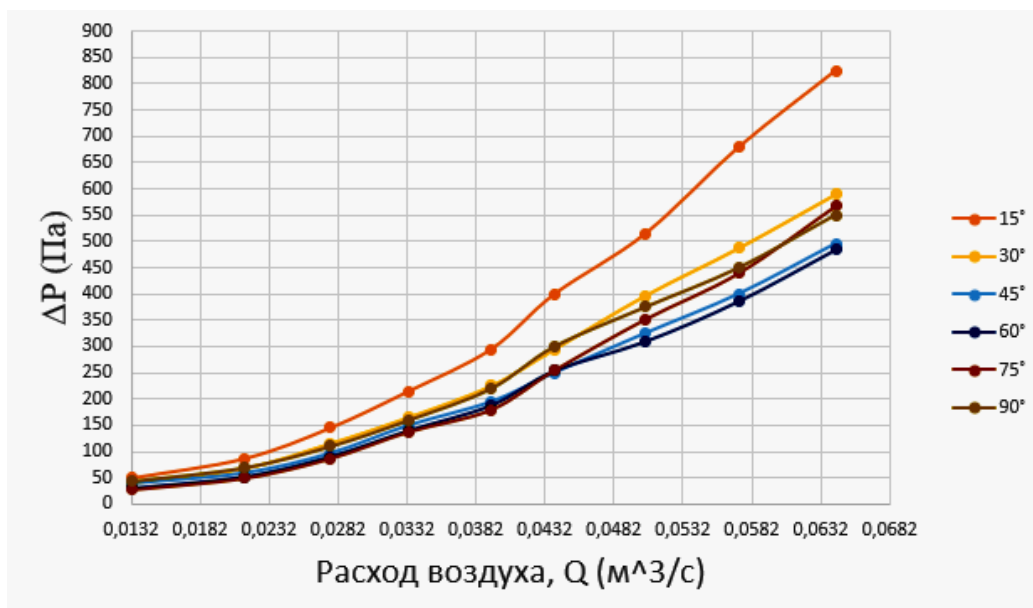


Рис. 3. График зависимости гидравлического сопротивления воздушного сепаратора от расхода воздуха через него и угла установок лопаток в нем

Fig. 3. Graph of the dependence of the hydraulic resistance of the air separator on the air flow through it and the angle of installation of the blades in it

Экспериментальные исследования были направлены на определение влияния конструктивного оформления и режимных параметров работы воздушного сепаратора на эффективность разделения дисперсных материалов. Режимными параметрами, которые могут меняться целенаправленно, являются:

- расход газа через сепаратор Q;
- температура газа t;
- концентрация твердых частиц в потоке газа (запыленность  $\mu$ );
- дисперсный состав подаваемой в сепаратор пыли R.

Первоначально были проведены исследования по определению гидравлического сопротивления воздушного сепаратора в зависимости от расхода воздуха через сепаратор и угла установки лопаток в нем. Полученные результаты приведены на рис. 3. В дальнейших экспериментальных исследованиях контролировались количество подаваемого исходного материала  $G_1$ , его дисперсный состав  $R_1$ , продолжительность подачи исходного материала  $t_1$ , расход воздуха Q и статическое давление (аэродинамическое сопротивление) на сепараторе  $\Delta P$ . По окончании опыта из бункеров собирались продукты разделения и определялось их количество  $G_2$  и  $G_3$ . Из общей массы готовой пыли, верхнего и нижнего продукта отбирались пробы для дисперсного анализа, которые в дальнейшем рассеивались на комплекте сит с ячейками 200, 150, 125, 100, 71, 63 и 45 мкм.

Поскольку влияние температуры не оказывает существенного влияния на процесс разделения и при этом может быть учтено расчетным путем, то тот фактор был исключен из числа определяющих, и опыты проводились при температуре окружающего воздуха в помещении. Экспериментально было показано, что высокая эффективность разделения в воздушных сепараторах сохраняется до концентрации  $\mu = 0,3-0,4$  кг/кг, дальнейшее увеличение содержания частиц в зоне разделения во всех случаях ведет к снижению эффективности. Для того, чтобы исключить негативное влияние дополнительных факторов и получить характеристики разделения сепаратора в наиболее благоприятных условиях, основная часть опытов проводилась при концентрации твердой фазы 0,003-0,01 кг/кг. Кривая разделения слабо зависит от дисперсного состава поступающей в сепаратор материала, поэтому основная серия опытов была выполнена с кварцевым песком, характеризующимся остатком на сите 100 мкм  $R_{100} = 38-42\%$ .

Конструктивными характеристиками воздушного сепаратора, которые могут быть изменены при проектировании аппарата и оказать влияние на характеристики и эффективность разделения являются:

- относительная высота зоны разделения  $H/D$  регулируется положением отбойной тарелкой в зоне сепарации аппарата (в нашем эксперименте не исследовался);
- угол наклона лопаток.

Одним, из считающихся бесспорным, преимуществом воздушных сепараторов является возможность обеспечения более интенсивной крутки потока в зоне разделения, значительного снижения граничного размера разделения и получения более мелкой готовой пыли. Увеличивая скорость вращения газопылевого потока в зоне разделения и одновременно уменьшая общий расход воздуха через сепаратор, можно снизить равновесный и соответственно граничный размер разделения дисперсного материала до нескольких микрон. Первое достигается уменьшением угла установки лопаток, второе - изменением частоты

питающего напряжения двигателя вентилятора экспериментальной установки.

На рис. 4 показан график зависимости числа Фруда в зоне сепарации от расхода воздуха через сепаратор и угла наклона лопаток. Так как, число Фруда показывает отношение сил инерции к силе тяжести, то на графике явно видно увеличение сил инерции в зоне сепарации по отношению к силе тяжести при уменьшении угла наклона лопаток при общем увеличении расхода воздуха. Однако, увеличение расхода воздуха способствует к выносу более крупных фракций в мелкий верхний продукт.

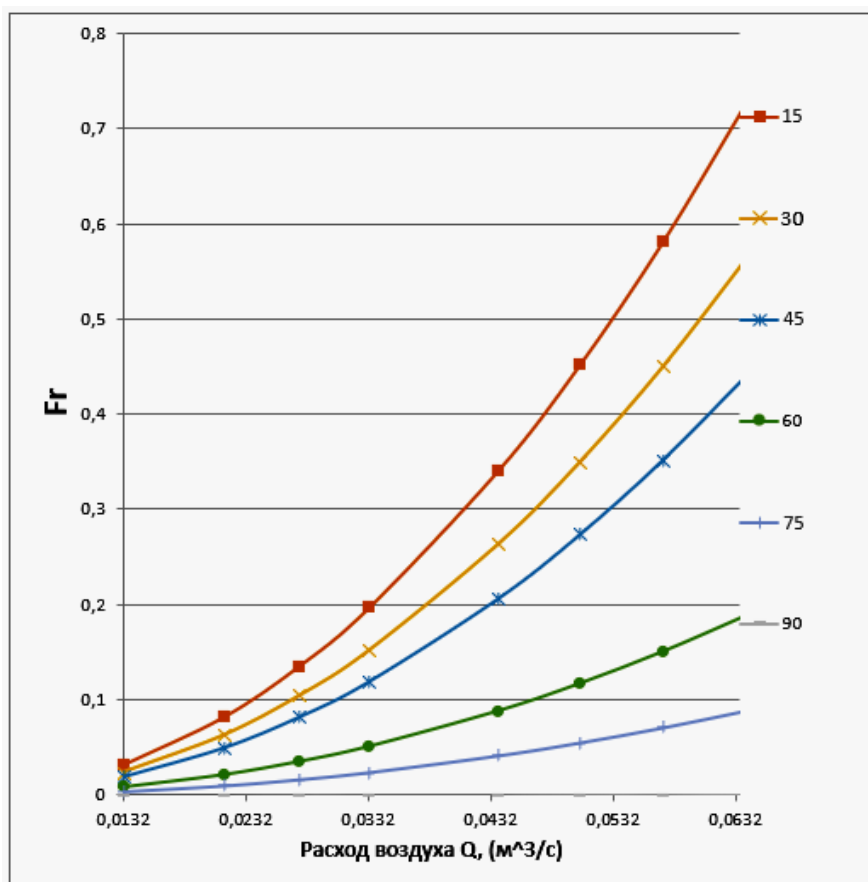


Рис. 4. График зависимости числа Фруда в зоне сепарации от расхода воздуха через сепаратор и угла наклона лопаток

Fig. 4. Graph of the dependence of the Froude number in the separation zone on the air flow through the separator and blade angle

Анализируя данные, полученные из эксперимента по определению граничного размера зерна, становится понятно, что на данный фактор наибольшее влияние оказывает угол установки лопаток сепаратора, чем расход воздуха (рис. 5). Резкое увеличение граничного размера зерна наблюдается при угле установки лопаток равном 90°, даже по сравнению с углом установки 80°.

В данном случае в сепараторе отсутствует вращательное движение газопылевого потока, и

следовательно, отсутствуют силы инерции, вызываемые данным движением. Выпадение же частиц крупных фракций происходит по причине того, что скорость витания для этих частиц выше, чем скорость воздуха в зоне сепарации. Также анализ экспериментальных данных показал, что запыленность воздуха в исследуемом диапазоне  $\mu=0,003\div 0,01 \text{ кг}_{\text{ТВ}}/\text{кг}_{\text{возд}}$  не оказывает видимого влияния на граничный размер зерна. Поэтому в дальнейших опытах запыленность можно увеличивать.

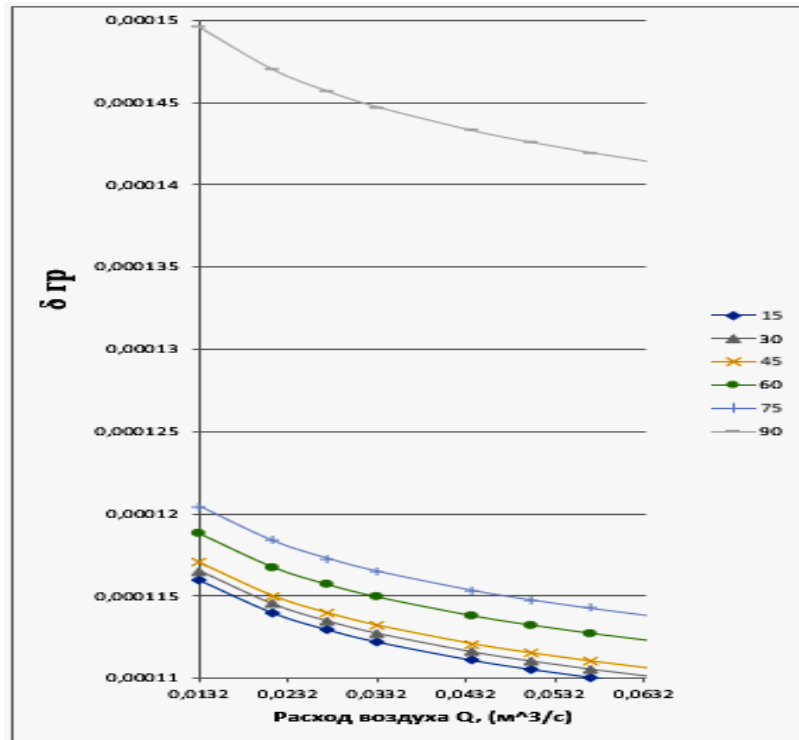


Рис. 5. График зависимости величины граничного размера от расхода воздуха через сепаратор и угла наклона лопаток (запыленность  $\mu=0,003 \text{ кг}_{\text{ТВ}} / \text{кг}_{\text{возд}}$ ).  
 Fig. 5. Graph of the dependence of the limit size value from air flow through the separator

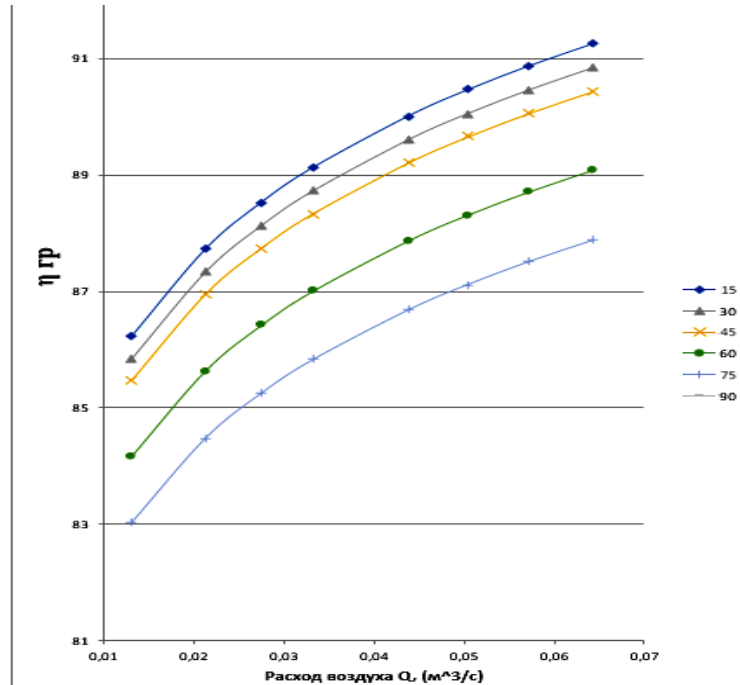


Рис.б. График зависимости КПД разделения дисперсного материала по величине граничного размера зерна от расхода воздуха через сепаратор и угла наклона лопаток (запыленность  $\mu=0,003 \text{ кг}_{\text{ТВ}} / \text{кг}_{\text{возд}}$ ).  
 Fig. 6. Graph of the dependence of the efficiency of separation of dispersed material by the value of the limiting grain size on the air flow through the separator and the angle of inclination of the blades (dust content  $\mu=0.003 \text{ kg}_{\text{TSol}} / \text{kg}_{\text{air}}$ )

Также анализ экспериментальных данных показал, что запыленность воздуха в исследуемом диапазоне  $\mu=0,003\div 0,01\text{кг}_{\text{ТВ}}/\text{кг}_{\text{возд}}$ , не оказывает видимого влияния на граничный размер зерна. Поэтому в дальнейших опытах запыленность можно увеличивать.

Следующим этапом работы стало определение КПД разделения дисперсного материала по величине граничного размера зерна в зависимости от расхода воздуха через сепаратор и угла наклона лопаток. Для этого определяли теоретический размер зерна по следующей зависимости:

$$\delta_{\text{гр}} = \frac{A_{\text{гр}} \cdot D \cdot \rho_1}{\rho_2}. \quad (1)$$

Результаты обработки экспериментальных данных по определению граничного размера зерна в зависимости от расхода воздуха через сепаратор и угла наклона лопаток представлен на рис.5.

КПД разделения дисперсного материала по величине граничного размера зерна определяли как:

$$\eta_{\text{гр}} = \left(1 - \frac{\delta_{\text{гр}} - \delta}{\delta_{\text{гр}}}\right) \cdot 100\% \quad (2)$$

КПД разделения дисперсного материала по величине граничного размера зерна в зависимости от расхода воздуха через сепаратор и угла наклона лопаток представлен на рис. 6.

Проведенные экспериментальные исследова-

ния по определению влияния конструктивного оформления и режимных параметров работы воздушного сепаратора на эффективность разделения дисперсных материалов позволяют сделать следующие выводы:

1. Получена зависимость гидравлического сопротивления воздушного сепаратора от расхода воздуха через него и угла установок лопаток в нем по верхнему и нижнему продукту соответственно.
2. Определены величины граничного размера зерна дисперсного материала в зависимости от расхода воздуха через сепаратор, угла наклона лопаток в нем и запыленности воздуха.
3. Получены зависимости КПД разделения дисперсного материала по величине граничного размера зерна в зависимости от расхода воздуха через сепаратор, угла наклона лопаток в нем и запыленности воздуха.
4. Исследования показали, что КПД разделения дисперсного материала достигает более точного результата при разделении двухкомпонентной смеси по сравнению со сплошной.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.*

*The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.*

#### REFERENCES

1. Колобов М.Ю., Блиничев В.Н., Чагин О.В., Сахаров С.Е., Бойцова В.В., Грименицкий П.Н., Колобова В.В. Повышение эффективности процесса классификации частиц материала. Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 14 апреля 2022. С. 362–365.
2. Постникова И.В., Воробьев С.В., Козлов А.М., Колобов М.Ю. Сепарация продуктов избирательного измельчения апатит-нефелиновой руды. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2023. № 4. С. 96–102. DOI: 10.6060/snt.2023.7604.00013
3. Чагин В.О., Колобов М.Ю. Экспериментальное исследование процесса улавливания нитрозных газов. Кластер конференций 2021: VI Международная научная конференция по химии и химической технологии. 20–24 сентября 2021 г. С. 330.
4. Колобов М.Ю., Козлов А.М., Чагин О.В. Влияние направляющих лопаток на эффективность процесса классификации. Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 18 апреля 2024. С. 109–111.
5. Чагин О.В., Блиничев В.Н., Колобов М.Ю. Эффективность процесса мокрого пылеулавливания в аппаратах с различными типами контактных устройств. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 2(66). С. 89–93. DOI:10.6060/snt.2021.6602.00012
6. Блиничев В.Н., Лабутин А.Н. и др. Проблемы разработки энерго- и ресурсосберегающих процессов, реакторных систем и оборудования интенсивного действия, моделирования и оптимального управления. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. вып.7. С. 185–202. DOI:10.6060/ivkkt.20236607.6845j
1. Kolobov M.Yu., Blinichev V.N., Chagin O.V., Sakharov S.E., Boytsova V.V., Grimenitsky P.N., Kolobova V.V. Improving the efficiency of the material particle classification process. Reliability and durability of machines and mechanisms. Collection of materials from the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference. Ivanovo, April 14 2022. P. 362–365.
2. Postnikova I.V., Vorobyov S.V., Kozlov A.M., Kolobov M.Yu. Separation of products of selective grinding of apatite-nepheline ore. *Modern high technology. Regional application*. 2023. N 4. P. 96–102. DOI: 10.6060/snt.2023.7604.00013
3. Chagin V.O., Kolobov M.Yu. Experimental study of the process of trapping nitrous gases. Conference cluster 2021: VI International Scientific Conference on Chemistry and Chemical Technology. September 20–24, 2021. P. 330.
4. Kolobov M.Yu., Kozlov A.M., Chagin O.V. The influence of guide vanes on the efficiency of the classification process. Reliability and durability of machines and mechanisms. Collection of materials from the XV All-Russian Scientific and Practical Conference. Ivanovo, April 18, 2024. P. 109–111.
5. Chagin O.V., Blinichev V.N., Kolobov M.Yu. Efficiency of the wet dust collection process in devices with various types of contact devices. *Modern high technology. Regional application*. 2021. N 2(66). P. 89–93. DOI:10.6060/snt.2021.6602.00012
6. Blinichev V.N., Labutin A.N. et al. Problems of development of energy- and resource-saving processes, reactor systems and equipment of intensive action, modeling and optimal control. *ChemChemTech [Izv. Vyssh.Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. issue 7. P. 185–202.

Поступила в редакцию (Received) 04.08.2024  
Принята к опубликованию (Accepted) 09.11.2024