

Вестник Самарского государственного экономического университета. 2022. № 7 (213). С. 33–44.
Vestnik of Samara State University of Economics. 2022. No. 7 (213). Pp. 33–44.

Научная статья

УДК 658.29:621.928.6

doi:10.46554/1993-0453-2022-7-213-33-44

Технико-экономическое обоснование применения мультивихревого классификатора-сепаратора

Вадим Эдуардович Зинуров¹, Алсу Рузилевна Галимова², Ирина Гареевна Ахметова³,
Ильнур Наилович Мадышев⁴

^{1,2,3} Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

¹ vadd_93@mail.ru

² galimovaar00@mail.ru

³ irina_akhmetova@mail.ru

⁴ Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) Казанского национального исследовательского технологического университета, Нижнекамск, Россия, ilnur_91@mail.ru

Аннотация. В статье представлено технико-экономическое обоснование применения мультивихревого классификатора-сепаратора для фракционирования мелкодисперсного сыпучего материала на основе силикагеля. В ходе исследования был применен технико-экономический метод сравнения аппаратов. В техническом плане, в основе проведения анализа лежит сравнение технических характеристик, эффективности фракционирования, расхода воздуха, гидравлического сопротивления и других параметров. С экономической точки зрения, процесс сравнения определяется по финансовым характеристикам, факторам, влияющим на стоимость. Объектами оценки стали следующие показатели: годовая экономия денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии за год и экономия денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии, затрачиваемой на получение 1 кг готового продукта. В работе сравнивается разработанный авторами мультивихревой классификатор-сепаратор с 3 позициями близких аналогов. В ходе оценочных расчетов принималось, что в случае не 100%-ной эффективности фракционирования повторное измельчение совершается единожды. Расход воздуха для всех аппаратов принимался равным 2000 м³/ч, удельная концентрация материала равной 200 г/м³, эффективность фракционирования задавалась от 20% до 100%. В ходе оценочных расчетов было установлено, что применение классификатора-сепаратора позволяет получить годовую экономию денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии за год относительно классификатора № 2, циклонного классификатора и классификатора № 4 в среднем при эффективности фракционирования от 20% до 100%, равную 45,4, 503,1 и 421,5 млн руб., соответственно. При этом годовая экономия денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии, затрачиваемой на получение 1 кг готового продукта, относительно классификатора № 2, циклонного классификатора и классификатора № 4 в среднем составляет 10,1, 111,7 и 93,6 руб./кг, соответственно.

Ключевые слова: классификатор, циклонный классификатор, технико-экономический метод, экономическое обоснование, рентабельность применения аппарата, внедрение устройства, технико-экономическое сравнение

Основные положения:

♦ проведено технико-экономическое обоснование применения разработанного мультивихревого классификатора-сепаратора для фракционирования мелкодисперсного сыпучего материала на основе силикагеля с границей разделения менее 50 мкм;

© Зинуров В.Э., Галимова А.Р., Ахметова И.Г., Мадышев И.Н., 2022

- ◆ получена стоимость электроэнергии, затрачиваемой на получение 1 кг готового продукта различными моделями классификаторов при эффективности фракционирования от 20% до 100%;
- ◆ рассмотрено изменение годовой экономии денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии за год при выпуске готового продукта и экономии денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии, затрачиваемой на получение 1 кг готового продукта.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП – 3577.2022.1.

Для цитирования: Техничко-экономическое обоснование применения мультивихревого классификатора-сепаратора / В.Э. Зинуров, А.Р. Галимова, И.Г. Ахметова, И.Н. Мадышев // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2022. № 7 (213). С. 33–44. doi:10.46554/1993-0453-2022-7-213-33-44.

Original article

Feasibility study of the use of a multi-vortex classifier-separator

Vadim E. Zinurov¹, Alsu R. Galimova², Irina G. Akhmetova³, Ilnur N. Madyshev⁴

^{1,2,3} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

¹ vadd_93@mail.ru

² galimovaar00@mail.ru

³ irina_akhmetova@mail.ru

⁴ Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology (branch) Kazan National Research Technological University, Nizhnekamsk, Russia, ilnyr_91@mail.ru

Abstract. The article presents a feasibility study of the use of a multi-vortex classifier-separator for fractionation of fine bulk material based on silica gel. In the course of the study, the technical and economic method of comparing devices was applied. Technically, the analysis is based on a comparison of technical characteristics, fractionation efficiency, air flow, hydraulic resistance, and other parameters. From an economic point of view, the comparison process is determined by financial characteristics, factors affecting the cost. The objects of evaluation were the following indicators: annual savings of funds due to a decrease in the electricity consumption for the year and savings of funds due to a decrease in the electricity consumption spent on obtaining 1 kg of the finished product. The paper compares the multi-vortex classifier-separator developed by the authors with 3 positions of close analogues. During the evaluation calculations, it was assumed that in the case of not 100% fractionation efficiency, repeated grinding is performed once. The air flow rate for all devices was assumed to be 2000 m³/hour, the specific concentration of the material was assumed to be 200 g/m³, the fractionation efficiency was set from 20% to 100%. During the evaluation calculations, it was found that the use of a classifier-separator allows to obtain annual savings of money by reducing the electricity consumption for the year relative to classifier № 2, cyclone classifier and classifier № 4 on average with fractionation efficiency from 20% to 100% equal to 45.4, 503.1 and 421.5 million rubles, respectively. At the same time, the annual savings of money due to the reduction in the electricity consumption spent on obtaining 1 kg of the finished product, relative to classifier № 2, cyclone classifier and classifier № 4, on average, amounts to 10.1, 111.7, 93.6 rubles/kg, respectively.

Keywords: classifier, cyclone classifier, technical and economic method, economic justification, profitability of the use of the device, the introduction of the device, technical and economic comparison

Highlights:

- ◆ a feasibility study of the application of the developed multi-vortex classifier-separator for fractionation of fine bulk material based on silica gel with a separation boundary of less than 50 microns has been carried out;

- ◆ the cost of electricity spent on obtaining 1 kg of the finished product by various classifier models with fractionation efficiency from 20% to 100 is obtained%;
- ◆ the article considers the change in the annual savings of money due to the reduction of the electricity consumption for the year when the finished product is released and the savings of money due to the reduction of electricity consumption spent on obtaining 1 kg of the finished product.

Acknowledgments: the work was carried out with the financial support of the scholarship of the President of the Russian Federation to young scientists and postgraduates SP – 3577.2022.1.

For citation: Feasibility study of the use of a multi-vortex classifier-separator / V.E. Zinurov, A.R. Galimova, I.G. Akhmetova, I.N. Madyshev // Vestnik of Samara State University of Economics. 2022. No. 7 (213). Pp. 33–44. (In Russ.). doi:10.46554/1993-0453-2022-7-213-33-44.

Введение

В современной экономике главными факторами, движущими развитие промышленной системы вперед, являются инновации. Процесс внедрения инновационного оборудования представляет собой неотъемлемую часть современного промышленного сектора. Однако подобные финансовые мероприятия требуют особого внимания на стадии выполнения технико-экономического расчета, так как внедрение инновационного оборудования в технологическую линию может оказаться экономически нерентабельным мероприятием. Зачастую инвестиции, связанные с закупкой оборудования и его внедрением в технологическую линию производства, приводят к отрицательному экономическому эффекту, так как окупаются на протяжении длительного времени. Следовательно, проблема внедрения нового оборудования на предприятии актуальна и чрезвычайно значима в наши дни [1]. Кроме этого, возникает необходимость в отечественном оборудовании, внедрении его в технологические линии с целью импортозамещения и исключения зависимости от зарубежных производителей.

Представленная проблема является актуальной для предприятий, производящих мелкодисперсный материал на основе силикагеля, который представляет собой высушенный гель. Он используется в качестве адсорбента на многих химических, нефтехимических и других предприятиях. Важную роль играет дисперсность (размерность) силикагеля. Например, для осушки и очистки сред, которые склонны к полимеризации и разложению, применяются однородные по фракционному со-

ставу мелкодисперсные фракции силикагеля. Одним из производителей данного мелкодисперсного адсорбента является ООО «Салаватский катализаторный завод» (ООО «СкатЗ»).

К наиболее важной проблеме при получении готового продукта в виде мелкодисперсного силикагеля определенной дисперсности относится процесс разделения по фракциям (группам частиц определенного размера), который осуществляется после измельчения силикагеля в мельницах различного типа. Для фракционирования сыпучих материалов применяются специальные устройства – классификаторы. На данный момент разработано большое количество различных видов данных аппаратов: гравитационные, ситовые, центробежные, магнитные и многие другие. Для разделения мелкодисперсных фракций с границей разделения частиц менее 50 мкм используются, как правило, центробежные классификаторы. Сложность выбора той или иной модели для конкретного технологического процесса на различных предприятиях состоит в изменчивости большой выборки параметров: плотность и форма частиц, режим работы линии и др. Как правило, при решении определенной задачи проводится настройка режима работы линии, вносятся конструктивные изменения в классификаторах или разрабатывается новая модель устройства на основе классической [2].

Для фракционирования сыпучего материала на основе силикагеля был разработан классификатор-сепаратор, представленный на рис. 1. Важным достоинством аппарата является простота сборки и, как следствие, простой принцип работы [3]. Основными элементами

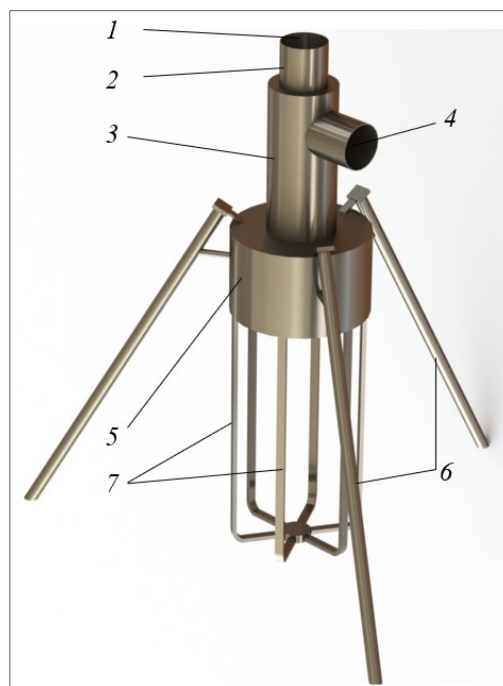


Рис. 1. Трехмерная модель мультивихревого классификатора-сепаратора:

1 – входной патрубок; 2 – внутренняя цилиндрическая труба; 3 – внешняя цилиндрическая труба; 4 – выходной патрубок; 5 – цилиндрическая часть; 6 – опоры; 7 – металлическая конструкция для съемной емкости

конструкции аппарата являются 2 цилиндрические трубы, в которых проделаны отверстия. Процесс фракционирования заключается в следующем [4]. Поток с диспергированными в нем частицами силикагеля различной размерностью подается в аппарат через входной патрубок 1. Далее движется по внутренней трубе 2 до прямоугольных отверстий, которые проделаны во внутренней трубе с одинаковым шагом [5]. При прохождении через них образуется множество завихрений газозапыленного потока в межтрубном пространстве классификатора [6]. Далее поток движется, вращаясь, по межтрубному пространству в верхнюю часть классификатора-сепаратора и покидает его через выходной патрубок [7]. При быстром вращении потока частицы силикагеля выбиваются из структурированного газа и, ударяясь об внутреннюю стенку трубы 3, сыплются в бункер аппарата, который крепится на металлическую конструкцию [8]. Следует отметить, что в нижней части внутренней трубы 2 проделано отверстие, позволяющее исключить ее забивание крупными частицами силикагеля, которые падают вниз трубы при резком изменении траектории их движения при повороте

газозапыленного потока в прямоугольные отверстия [9].

Целью данной работы является проведение технико-экономического обоснования применения мультивихревого классификатора-сепаратора для фракционирования сыпучего материала на основе силикагеля [10].

Методы

В современной экономике существует ряд методов сравнений и действующих методических рекомендаций для оценки экономической эффективности мероприятия. Наиболее распространенными методами являются методы прямого сравнения, метод аналогового сравнения, метод удельных экономических и технических показателей и др. [11]. При использовании данных методик сравнение, в основном, производится между альтернативными моделями по одинаковым параметрам. Сравнительный анализ проводят в целях сопоставления основных технико-экономических показателей оборудования, которые используются для дальнейшего определения степени их сходства. Различие перечисленных методов заключается в зависимости от информации,

которую необходимо узнать от оцениваемого объекта.

В данном исследовании был применен технико-экономический метод сравнения аппаратов. В техническом плане, в основе проведения анализа лежит сравнение технических характеристик, эффективности фракционирования, расхода воздуха, гидравлического сопротивления и др. С экономической точки зрения, процесс сравнения определяется по финансовым характеристикам, факторам, влияющим на стоимость. Объектами оценки стали следующие показатели: годовая экономия денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии за год и экономия денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии, затрачиваемой на получение 1 кг готового продукта. Стоит отметить, что для проведения успешного и точного технико-экономического сравнения различных видов классификаторов требуется строгое соблюдение условий сопоставимости вариантов.

В данной работе сравниваемые конструкции и принцип действия классификаторов имеют одинаковое назначение, равную степень готовности к эксплуатации и рабочие показатели. Но необходимо учитывать различия в смежных элементах анализируемых конструкций, вызываемые такими факторами, как различный собственный вес оборудования, разные габариты, элементы и пр. [12]. Небольшие отличия между классификаторами, такие как материалы деталей, конструктивные особенности, не повлияют на общий результат подведения итогов сравнительного анализа в экономическом и техническом плане. В целях минимизации погрешностей в сравнительном анализе оборудования подобраны наиболее близкие аналоги мультивихревому классификатору-сепаратору [13]. В работе анализируются следующие классификаторы: мультивихревой классификатор-сепаратор (см. рис. 1), классификатор № 2, циклонные классификаторы и классификатор № 4. Следует отметить, что часть технических характеристик и стоимость трех последних позиций моделей классификаторов были определены на основе реальных промышленных образцов. В качестве таких аппаратов рассматривались: классификатор воздушно-центробежный (КВЦ) [14], воз-

душный классификатор LF-5810 [15], циклонный классификатор CFS [16] и др. Остальные параметры задавались осредненным показателям, которые определялись по литературному обзору. Непосредственное сравнение мультивихревого классификатора-сепаратора (рис. 1) с представленными классификаторами не представляется возможным, так как часть технических параметров не отражены в открытом доступе, другие могут быть представлены для различных порошков и при отличных друг от друга технологических, теплофизических и иных показателях.

Результаты

В ходе численного моделирования мультивихревого классификатора-сепаратора была получена зависимость эффективности улавливания частиц силикагеля классификатором-сепаратором от их диаметра при различных скоростях газа (рис. 2).

Эффективность мультивихревого классификатора-сепаратора рассчитывалась по следующему выражению:

$$E = 1 - \frac{n_k}{n}, \quad (1)$$

где n_k – количество частиц силикагеля, которые были уловлены классификатором-сепаратором;

n – количество частиц силикагеля, которые покинули классификатор-сепаратором с газом через выходное отверстие 4 (см. рис. 1).

Проведенные исследования позволили установить, что эффективность улавливания частиц силикагеля дисперсностью менее 40 мкм составляет менее 10%, при этом эффективность улавливания частиц размером более 60 мкм – выше 80% при определенных входных скоростях газового потока. Таким образом, эффективность фракционирования классификатора-сепаратора при определенной требуемой границе разделения частиц силикагеля может достигать выше 80% (см. рис. 2).

В промышленности для улавливания из газовых потоков различных частиц широко распространены циклонные сепараторы. Ввиду их низкой эффективности для мелкодисперсных порошков они в некоторых случаях применя-

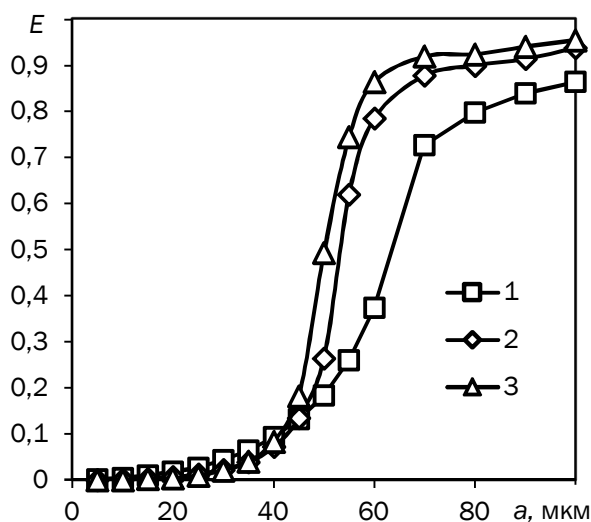


Рис. 2. Эффективность улавливания частиц силикагеля мультивихревым классификатором-сепаратором в зависимости от их размера при различных входных скоростях запыленного газового потока W , м/с: 1 – 2; 2 – 8; 3 – 12

Сравнение технико-экономических показателей мультивихревого классификатора-сепаратора с аналогами

№ п/п	Параметры	Мультивихревой классификатор-сепаратор	Классификатор № 2	Циклонный классификатор	Классификатор № 4
1	Потребляемая мощность N , кВт	0,138	1,5	2-5	2,5
2	Годовое потребление электроэнергии N_g , кВт·ч	1208,88	13140	17520-23800	21900
3	Годовая экономия денежных средств Э, тыс. руб./год	79	37	-	6,6
4	Крупность разделения, мкм	30-60	10-100	10-250	10-500
5	Эффективность классификации, %	80	80	80	80
6	Расход воздуха, м ³ /ч	200	2000	1000-57600	2000-2600
7	Гидравлическое сопротивление, Па	1487	1000-3000	2000-5000	1000-4000
8	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	54	400	450	300

ются для фракционирования, так как позволяют с высокой эффективностью улавливать одну фракцию, которая, например, идет на повторный помол в мельницу, и пропускать, не улавливая, другую фракцию. Вследствие этого, была введена в технико-экономическое сравнение группа циклонных классификаторов по осредненным значениям из литературного обзора.

При сравнении стоимости аппаратов их цена определялась по ценам действующих преискурантов отечественных производителей. В случае рассмотрения стоимости класси-

фикаторов она исчислялась путем осреднения цены наиболее близких к ним моделей [17].

При этом калькуляция себестоимости мультивихревого классификатора, которая составила около 54 тыс. руб., определялась как сумма всех затрат на единицу продукции: стоимость элементов и частей оборудования, амортизационные отчисления, заработная плата, социальные отчисления и прочие расходы [18].

Как видно из таблицы, применение мультивихревого классификатора с установленной мощностью 0,138 кВт при условном расходе

воздуха 200 м³/ч позволяет получить годовую экономию денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии $\mathcal{E} = 79$ тыс. руб./год (при принятой стоимости 1 кВт·ч электроэнергии $K = 3,5$ руб./кВт·ч) относительно циклонного классификатора с потребляемой мощностью 5 кВт. Расчет произведен для максимальной продолжительности работы аппаратов – 8760 часов в год [19].

Классификатор № 2 потребляет примерно в 11 раз больше электроэнергии относительно мультивихревого классификатора-сепаратора, что сказывается на снижении экономии денежных средств предприятия. При этом потребление электроэнергии циклонными классификаторами и классификатором № 4 больше, чем у классификатора № 2. Однако это может быть обусловлено крупностью разделения у классификаторов № 2 и № 4.

Обсуждение

Сравнение технико-экономических показателей различных моделей классификаторов показало, что наиболее рентабельными являются мультивихревой классификатор-сепаратор и классификатор № 2. Как отмечалось ранее, на процесс фракционирования влияет множество факторов, и эффективность фракционирования того или иного классификатора может варьироваться в широком диапазоне. При снижении эффективности фракционирования годовое потребление электроэнергии аппаратами, соответственно, и денежные затраты на данный процесс возрастут. Также

особое внимание должно уделяться повторному фракционированию частиц, которые перемещаются в классификатор после их улова и вторичного измельчения в мельнице. Следует отметить, что таких «рециклов» может быть несколько. Для наглядности на рис. 3 представлена упрощенная технологическая схема получения мелкодисперсного сыпучего материала на основе силикагеля. Силикагель из бункера 2 по средствам питателя 3 поступает в мельницу 4, измельчающую материал, далее происходит фракционирования порошка с заданной границей разделения в классификаторе 5. Частицы, которые не улавливаются в нем, переходят по линии 1 в батарейной циклон 6, где происходит их улавливание в качестве готового продукта. Далее газ уходит на очистку в соответствующие аппараты [20]. При этом частицы, которые улавливаются классификатором 5, совершат «рецикл», т.е. транспортируются в бункер 2, после чего в мельницу 4, и далее в классификаторе осуществляется повторное фракционирование.

По данным таблицы было рассмотрено изменение стоимости электроэнергии, затрачиваемой на получении готового продукта за год при различной эффективности процесса фракционирования [21]. При этом часть параметров таблицы были приведены к одинаковому значению для получения итоговой сравнительной выборки данных в виде графических материалов (рис. 4 и 5). В частности, расход воздуха для всех аппаратов принимался равным 2000 м³/ч, удельная концентрация материала

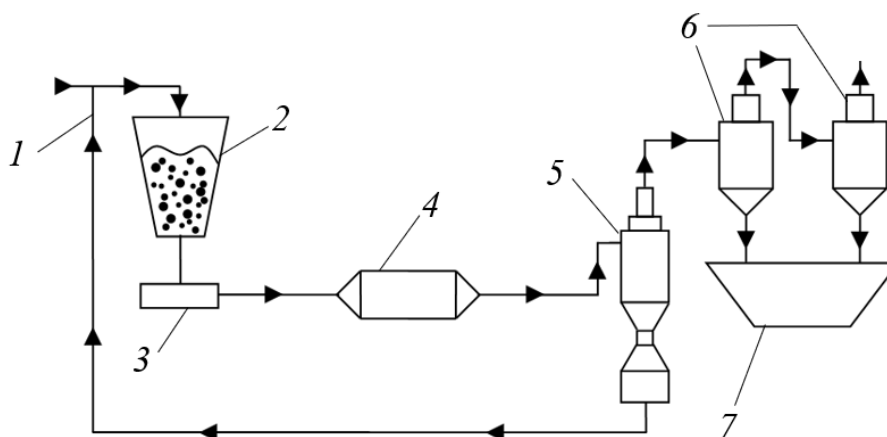


Рис. 3. Упрощенная технологическая схема фракционирования мелкодисперсного силикагеля:

1 - транспортная линия; 2 - бункер; 3 - питатель; 4 - мельница; 5 - классификатор;

6 - батарейный циклон; 7 - бункер

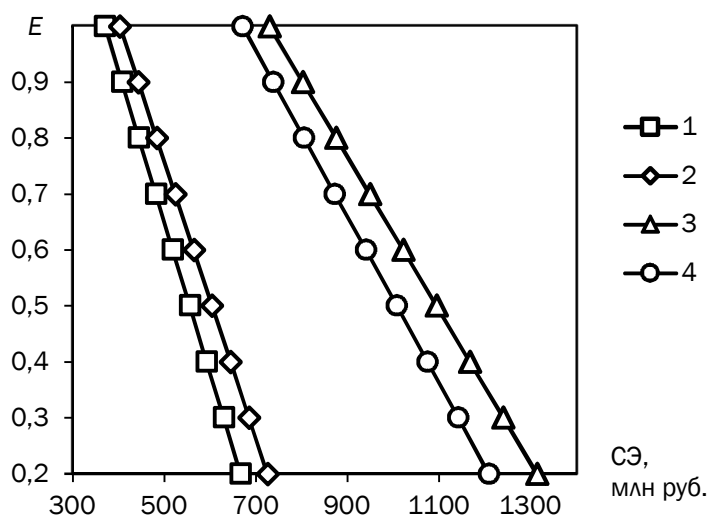


Рис. 4. Влияние эффективности фракционирования силикагеля различными моделями классификаторов на стоимость электроэнергии, затрачиваемой на получение готового продукта за год:
 1 – мультивихревой классификатор-сепаратор; 2 – классификатор № 2;
 3 – циклонный классификатор; 4 – классификатор № 4

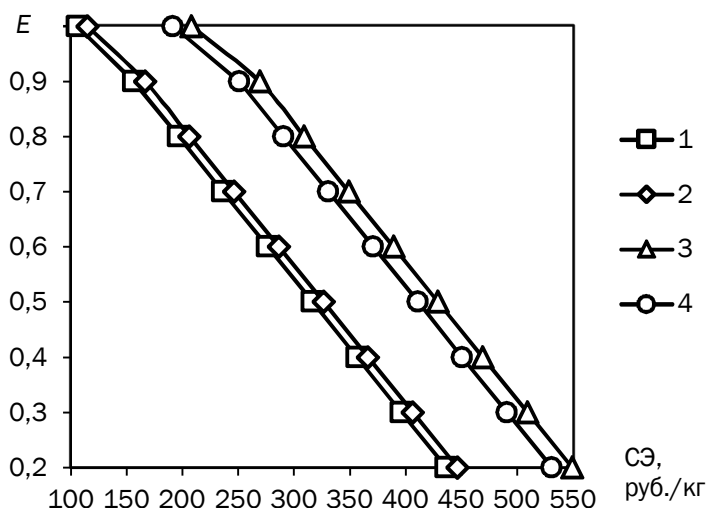


Рис. 5. Влияние эффективности фракционирования силикагеля различными моделями классификаторов на стоимость электроэнергии, затрачиваемой на получение 1 кг готового продукта:
 1 – мультивихревой классификатор-сепаратор; 2 – классификатор № 2;
 3 – циклонный классификатор; 4 – классификатор № 4

равной 200 г/м³, эффективность фракционирования задавалась от 20% до 100%. При этом учитывалось, что в случае не 100%-ной эффективности фракционирования повторное измельчение совершается единожды [22].

При заданных расчетных параметрах наименьшие затраты на электроэнергию показали мультивихревой классификатор-сепаратор и классификатор № 2. При изменении эффективности фракционирования от 20% до 100% стоимость электроэнергии за год для

классификатора-сепаратора, классификатора № 2, циклонного классификатора и классификатора № 4 составила 370,4–666,7, 402,9–725,1, 729,7–1313,4 и 671,4–1208,6 млн руб., соответственно (см. рис. 4) [23].

При условном расходе воздуха 2000 м³/ч применение классификатора-сепаратора позволяет получить годовую экономию денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии за год относительно классификатора № 2, циклонного классификатора и клас-

сификатора № 4 в среднем при эффективности фракционирования от 20% до 100%, равную 45,4, 503,1 и 421,5 млн руб., соответственно (см. рис. 4) [24].

Стоимость электроэнергии, затрачиваемой на получение 1 кг готового продукта при эффективности фракционирования от 20% до 100%, составила от 105,7 до 530,8 руб./кг. При изменении эффективности фракционирования от 20% до 100% стоимость электроэнергии на получение готового продукта для классификатора-сепаратора, классификатора № 2, циклонного классификатора и классификатора № 4 составила 105,7–436,3, 114,9–446,5, 208,3–549,1 и 191,6–530,8 руб./кг, соответственно (см. рис. 5).

При условном расходе воздуха 2000 м³/ч применение классификатора-сепаратора позволяет получить годовую экономию денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии, затрачиваемой на получение 1 кг готового продукта, относительно классификатора № 2, циклонного классификатора и классификатора № 4 в среднем при эффективности фракционирования от 20% до 100%, равную 10,1, 111,7, 93,6 руб./кг, соответственно (см. рис. 5) [25].

Таким образом, оценочная сравнительная расчетная выборка данных показала, что все центробежные классификаторы являются конкурентоспособными между собой. Выбор той или иной модели классификатора на определенном предприятии должен быть обусловлен экономической рентабельностью его применения, которая рассчитывается на точных начальных параметрах, индивидуальных для каждой технологической линии и предприятия. В данном оценочном исследовании наилучшие показатели показал мультивихревой классификатор-сепаратор. При этом наихудшие показатели при оценочном исследовании пока-

зал циклонный классификатор, что свидетельствует о том, что для фракционирования сыпучих материалов лучшим решением является применение специализированного аппарата – классификатора. Однако в некоторых частных случаях применение циклонного классификатора может быть экономически рентабельно.

Заключение

Проведенное технико-экономическое обоснование применения классификатора-сепаратора для получения мелкодисперсного сыпучего материала на основе силикагеля путем его сравнения с близкими по назначению аппаратами показало, что данное решение является конкурентоспособным.

В ходе оценочных расчетов было установлено, что применение классификатора-сепаратора позволяет получить годовую экономию денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии за год относительно классификатора № 2, циклонного классификатора и классификатора № 4 в среднем при эффективности фракционирования от 20% до 100%, равную 45,4, 503,1 и 421,5 млн руб., соответственно. При этом годовая экономия денежных средств за счет снижения потребления электроэнергии, затрачиваемой на получение 1 кг готового продукта, относительно классификатора № 2, циклонного классификатора и классификатора № 4 в среднем составляет 10,1, 111,7, 93,6 руб./кг, соответственно.

Если на предприятии применяется несколько технологических линий, соответственно, стоимость электрической энергии постоянно увеличивается, то очевидна энергетическая и экономическая целесообразность применения мультивихревого классификатора-сепаратора для фракционирования мелкодисперсного сыпучего материала на основе силикагеля.

Список источников

1. Зинуров В.Э., Галимова А.Р. Оценка экономической эффективности внедрения сепарационных устройств на предприятиях с покрасочными камерами // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2020. № 12. С. 50–59. doi:10.46554/1993-0453-2020-12-194-50-59.
2. Сепарационное устройства с соосно расположенными трубами для разделения водонефтяных эмульсий / А.Р. Галимова, В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, В.В. Харьков // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24, № 3. С. 50–54.

3. Оборин М.С. Экономическая безопасность промышленных предприятий в условиях цифровой экономики // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2022. № 1. С. 44–54.
4. Промышленные испытания фракционирования сыпучего материала в мультивихревом классификаторе-сепараторе / В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, О.С. Дмитриева, К.С. Моисеева // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25, № 4. С. 58–63. doi:10.55421/1998-7072_2022_25_4_58.
5. Мирзорохимов Н.Т. Анализ структуры промышленности в процессе определения направлений инновационного развития производственного потенциала национальной экономики и ее отраслей // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2020. № 10. С. 40–47.
6. Газодинамика проточной части классификатора с соосно расположенными трубами / В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, И.И. Насырова, О.С. Дмитриева // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25, № 4. С. 71–76. doi:10.55421/1998-7072_2022_25_4_71.
7. Тюкавкин Н.М., Подборнова Е.С. Экономическая эффективность энергосбережения, энергопотребления и комплексный подход к ее оценке // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2020. № 11. С. 69–75.
8. Численное моделирование газодинамики в центробежном классификаторе / В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, Н.Ф. Сахибгареев, Д.Н. Латыпов, М.Г. Гарипов // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24, № 12. С. 128–132.
9. Лашманова Ю.Ю. Бухгалтерский учет и анализ научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ предприятия // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2020. № 1. С. 93–107.
10. Classification of bulk material from the gas flow in a device with coaxially arranged pipes / V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, M.A. Ruzanova, O.S. Dmitrieva // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 193. P. 01056. doi:10.1051/e3sconf/202019301056.
11. Макарова Е.В. Экономическая эффективность внедрения инновационного технологического оборудования: факторы, риски, управленческие решения // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2013. № 9. С. 70–76.
12. Effect of Design Parameters of Classifier with Coaxial Pipes on Efficiency of Fractionation of Finely Divided Bulk Material / V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, I.N. Madyshv, O.S. Dmitrieva // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57, No. 7-8. P. 531–537. doi:10.1007/s10556-021-00971-4.
13. Макарова Е.В. Разработка методики расчета показателей оценки эффективности внедрения инновационного оборудования // Вестник ТГУ. 2013. № 8 (124). С. 20–27.
14. Классификатор воздушно-центробежный (КВЦ). URL: <http://amz-prommash.com/dl/vozdushno-centrobezchny-klassifikator.pdf> (дата обращения: 15.06.2022).
15. Воздушный классификатор LF-5810. URL: <https://russian.alibaba.com/product-detail/LAFA-High-Efficiency-Mineral-Separator-industrial-1600512095391.html> (дата обращения: 15.06.2022).
16. Циклон-классификатор CFS. URL: <http://nea-m.ru/index.php/equipment/klassifikatory/tsiklonnyj-klassifikator-csf> (дата обращения: 15.06.2022).
17. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок : учеб. пособие. 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Высшая школа, 1989. 304 с.
18. Economic Feasibility of Implementing Classifier with Coaxial Pipes at Catalyst Plant / V.E. Zinurov, A.R. Galimova, M.V. Nikandrova, V.V. Kharkov // International Scientific and Practical Conference «Young Engineers of the Fuel and Energy Complex: Developing the Energy Agenda of the Future» (EAF 2021). Atlantis Press, 2022. Vol. 213. Pp. 243–248. doi:10.2991/aer.k.220308.039.
19. Экономическая целесообразность внедрения классификатора с соосно расположенными трубами на катализаторном заводе / В.Э. Зинуров, А.П. Галимова, М.В. Никандрова, В.В. Харьков // Развивающая энергетическую повестку будущего : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК. Санкт-Петербург, 2021. С. 127–131.
20. Исследование влияния конструктивных параметров сепаратора вертикального типа на процесс образования устойчивых вихрей / В.В. Харьков, А.В. Дмитриев, А.П. Галимова, О.С. Дмитриева // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24, № 7. С. 64–67.
21. Численное моделирование процесса улавливания мелкодисперсных капель формальдегида в сепарационном устройстве с двутавровыми элементами / В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, А.П. Галимова, Г.Х. Гумерова // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23, № 11. С. 82–86.
22. Анализ динамики жидкости и газа в сепараторе с кольцевым пространством / А.В. Дмитриев, А.П. Галимова, Г.Х. Гумерова, О.С. Дмитриева // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24, № 4. С. 80–84.

23. Analysis of various mathematical models of turbulence when calculating the gas dynamics in a classifier with coaxially arranged pipes / V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, G.R. Badretdinova, A.R. Galimova, O.S. Dmitrieva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1089. P. 012002. doi:10.1088/1757-899X/1089/1/012002.

24. Бейсенбаев Р.М. Краткосрочный расчет экономической эффективности системы реверсивной логистики для ритейлеров // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2021. № 4. С. 24–31.

25. Покшиванова О.П. Экономическая эффективность внедрения инновационного технологического оборудования // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 1. С. 249–254.

References

1. Zinurov V.E., Galimova A.R. Evaluation of the economic efficiency of the introduction of separation devices at enterprises with paint chambers // Vestnik of Samara State University of Economics. 2020. No. 12. Pp. 50–59. doi:10.46554/1993-0453-2020-12-194-50-59.

2. Separation devices with coaxially arranged pipes for separation of oil-water emulsions / A.R. Galimova, V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, V.V. kharkov // Herald of Technological University. 2021. Vol. 24, No. 3. Pp. 50–54.

3. Oborin M.S. Economic security of industrial enterprises in the digital economy // Vestnik of Samara State University of Economics. 2022. No. 1. Pp. 44–54.

4. Industrial tests of fractionation of bulk material in a multi-vortex classifier-separator / V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, O.S. Dmitrieva, K.S. Moiseeva // Herald of Technological University. 2022. Vol. 25, No. 4. Pp. 58–63. doi:10.55421/1998-7072_2022_25_4_58.

5. Mirzorakhimov N.T. Analysis of the structure of industry in the process of determining the directions of innovative development of the production potential of the national economy and its branches // Vestnik of Samara State University of Economics. 2020. No. 10. Pp. 40–47.

6. Gas dynamics of the flow part of the classifier with coaxially arranged pipes / V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, I.I. Nasyrova, O.S. Dmitrieva // Herald of Technological University. 2022. Vol. 25, No. 4. Pp. 71–76. doi:10.55421/1998-7072_2022_25_4_71.

7. Tyukavkin N.M., Podbornova E.S. Economic efficiency of energy saving, energy consumption and an integrated approach to its assessment // Vestnik of Samara State University of Economics. 2020. No. 11. Pp. 69–75.

8. Numerical modeling of gas dynamics in a centrifugal classifier / V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, N.F. Sahibgareev, D.N. Latypov, M.G. Garipov // Herald of Technological University. 2021. Vol. 24, No. 12. Pp. 128–132.

9. Lashmanova Yu.Yu. Accounting and analysis of research, development and experimental technological works of the enterprise // Vestnik of Samara State University of Economics. 2020. No. 1. Pp. 93–107.

10. Classification of bulk material from the gas flow in a device with coaxially arranged pipes / V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, M.A. Ruzanova, O.S. Dmitrieva // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 193. P. 01056. doi:10.1051/e3sconf/202019301056.

11. Makarova E.V. Economic efficiency of the introduction of innovative technological equipment: factors, risks, management decisions // Bulletin of the Tambov University. Ser.: Humanitarian Sciences. 2013. No. 9. Pp. 70–76.

12. Effect of Design Parameters of Classifier with Coaxial Pipes on Efficiency of Fractionation of Finely Divided Bulk Material / V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, I.N. Madyshev, O.S. Dmitrieva // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57, No. 7-8. P. 531–537. doi:10.1007/s10556-021-00971-4.

13. Makarova E.V. Development of a methodology for calculating indicators for evaluating the effectiveness of the introduction of innovative equipment // Bulletin of TSU. 2013. No. 8 (124). Pp. 20–27.

14. Air-centrifugal classifier (ACC). URL: <http://amz-prommash.com/dl/vozdushno-centrobezchny-klassifikator.pdf> (date of access: 15.06.2022).

15. Air Classifier LF-5810. URL: <https://russian.alibaba.com/product-detail/LAFA-High-Efficiency-Mineral-Separator-industrial-1600512095391.html> (date of access: 15.06.2022).

16. Cyclone Classifier CFS. URL: <http://nea-m.ru/index.php/equipment/klassifikatory/tsiklonnyj-klassifikator-csf> (date of access: 15.06.2022).

17. Alpert L.Z. Fundamentals of chemical plant design : textbook. 4th ed., revised and supplemented. Moscow : Higher School, 1989. 304 p.

18. Economic Feasibility of Implementing Classifier with Coaxial Pipes at Catalyst Plant / V.E. Zinurov, A.R. Galimova, M.V. Nikandrova, V.V. Kharkov // International Scientific and Practical Conference «Young Engineers of the Fuel and Energy Complex: Developing the Energy Agenda of the Future» (EAF 2021). Atlantis Press, 2022. Vol. 213. Pp. 243–248. doi:10.2991/aer.k.220308.039.
19. The economic feasibility of introducing a classifier with coaxially arranged pipes at a catalyst plant / V.E. Zinurov, A.R. Galimova, M.V. Nikandrova, V.V. kharkov // Developing the energy agenda of the future : a collection of reports of the International Scientific and Practical Conference for representatives of the community of young fuel and energy engineers. St. Petersburg, 2021. Pp. 127–131.
20. Investigation of the influence of the design parameters of a vertical separator on the formation of stable vortices / V.V. kharkov, A.V. Dmitriev, A.R. Galimova, O.S. Dmitrieva // Herald of Technological University. 2021. Vol. 24, No. 7. Pp. 64–67.
21. Numerical simulation of the process of capturing fine formaldehyde droplets in a separation device with I-beam elements / V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, A.R. Galimova, G.H. Gumerova // Herald of Technological University. 2020. Vol. 23, No. 11. Pp. 82–86.
22. Analysis of fluid and gas dynamics in a separator with an annular space / A.V. Dmitriev, A.R. Galimova, G.H. Gumerova, O.S. Dmitrieva // Herald of Technological University. 2021. Vol. 24, No. 4. Pp. 80–84.
23. Analysis of various mathematical models of turbulence when calculating the gas dynamics in a classifier with coaxially arranged pipes / V.E. Zinurov, A.V. Dmitriev, G.R. Badretdinova, A.R. Galimova, O.S. Dmitrieva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1089. P. 012002. doi:10.1088/1757-899X/1089/1/012002.
24. Beisenbayev R.M. Short-term calculation of the economic efficiency of the reverse logistics system for retailers // Vestnik of Samara State University of Economics. 2021. No. 4. Pp. 24–31.
25. Pokshivanova O.P. Economic efficiency of the introduction of innovative technological equipment // Innovation. Science. Education. 2020. No. 1. Pp. 249–254.

Информация об авторах

В.Э. Зинуров – ассистент кафедры «Теоретические основы теплотехники» Казанского государственного энергетического университета;
А.Р. Галимова – студент Казанского государственного энергетического университета;
И.Г. Ахметова – доктор технических наук, доцент, проректор по развитию и инновациям, зав. кафедрой «Экономика и организация производства» Казанского государственного энергетического университета;
И.Н. Мадышев – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой машин и аппаратов химических производств Нижнекамского химико-технологического института (филиала) Казанского национального исследовательского технологического университета.

Information about the authors

V.E. Zinurov – Assistant of the Department "Theoretical Foundations of Heat Engineering" of Kazan State Power Engineering University;
A.R. Galimova – student of Kazan State Power Engineering University;
I.G. Akhmetova – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Development and Innovation, Head of the Department "Economics and Organization of Production" of Kazan State Power Engineering University;
I.N. Madyshev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Machines and Apparatuses of Chemical Production of Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology (branch) Kazan National Research Technological University.

Статья поступила в редакцию 30.06.2022; одобрена после рецензирования 08.07.2022; принята к публикации 02.08.2022.

The article was submitted 30.06.2022; approved after reviewing 08.07.2022; accepted for publication 02.08.2022.