



РАЗРАБОТКА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЦИКЛОНА

Пшенов Е.А., (✉)Блёскин С.С.

Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирск, Россия

(✉)e-mail: Moonlait2510@mail.ru

Исследован процесс сепарации транспортируемого материала от несущего газового потока в циклонных аппаратах на зерноперерабатывающих предприятиях. Производство комбикормов сопровождается образованием мелкодисперстной мучной пыли, которая является ценным компонентом ферментированных кормов. Системы аспирации миникомбикормовых заводов не обеспечивают ее улавливание в полном объеме, что приводит к загрязнению помещений, а также потере части продукта. В ходе анализа конструкций и путей совершенствования центробежных аппаратов определено, что перспективна установка в выхлопном патрубке циклона дополнительных закручивающих устройств для очистки воздушного потока от мелкой пыли. Предложена конструкция циклона с дополнительной ступенью очистки воздушного потока от мелкой мучной пыли в выходном патрубке, используемая в системе пневмотранспорта миникомбикормового завода. Диаметр осевого патрубка увеличен для размещения внутри его отбойного конуса и вихревой воронки. При этом диаметр выходного патрубка должен быть меньше диаметра верхнего основания вихревой воронки для снижения выноса мелкой фракции из циклона. Разработана экспериментальная установка, включающая загрузочный бункер, пневмоприемник-отвод, материалопровод, циклон, фильтр и всасывающий вентилятор. В качестве материала использовано зерно пшеницы влажностью 16%, измельченное на молотковой дробилке с диаметром отверстий в решетке 3 мм. Произведены сравнительные испытания предлагаемого циклона с циклонами типа ЦР и SNT, результаты которого доказывают эффективность предложенной конструкции. В исследуемом диапазоне (от 0,026 до 0,33 кг/с) эффективность двухступенчатого циклона по подаче транспортируемого материала была выше, чем у серийно выпускаемых циклонов разгрузителей ЦР.

Ключевые слова: миникомбикормовый завод, пневмотранспорт, циклон разгрузитель, мучная пыль

DEVELOPMENT OF A TWO-STAGE CYCLONE

Pshenov E.A., (✉)Bleskin S.S.

Novosibirsk State Agrarian University

Novosibirsk, Russia

(✉)e-mail: Moonlait2510@mail.ru

The process of separating the transported material from the carrying gas flow in cyclones at grain-processing enterprises is studied. Feed production is accompanied by the formation of fine flour dust which is a valuable component of fermented feed. Aspiration systems of mini-fodder plants do not provide its full capture, which leads to contamination of the premises, as well as the loss of some of the product. During the analysis of designs and ways to improve centrifugal apparatuses, it was determined that installation of additional swirling devices in the cyclone exhaust pipe is promising for cleaning the air flow from fine dust. The design of cyclone with an additional stage of cleaning the air flow from fine flour dust in the outlet nozzle, used in the pneumatic conveying system of mini-fodder plant, is proposed. The diameter of the axial pipe socket is enlarged to ac-

commodate the baffle cone and vortex funnel inside it. The diameter of the outlet nozzle should be smaller than the diameter of the upper base of the vortex funnel to reduce the fine fraction escape from the cyclone. An experimental unit was developed including a charging hopper, pneumatic receptor-diverter, material pipeline, cyclone, filter, and a suction fan. The material used was wheat grain with a moisture content of 16%, crushed on a hammer crusher with a hole diameter of 3 mm in the sieve. Comparative tests of the proposed cyclone with cyclones of the DC and SNT types were carried out, the results of which prove the effectiveness of the proposed design. In the investigated range (from 0.026 to 0.33 kg/s) the efficiency of the two-stage cyclone in feeding the transported material was higher than that of the commercially available discharger cyclones DC.

Keywords: mini-fodder plant, pneumatic conveying, discharger cyclone, flour dust

Для цитирования: Пшенов Е.А., Блёскин С.С. Разработка двухступенчатого циклона // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 101–109. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-13>

For citation: Pshenov E.A., Bleskin S.S. Development of a two-stage cyclone. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 101–109. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-13>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время индустрия (предприятия химической, металлургической, горнодобывающей и пищевой промышленности) оказывает большое влияние на атмосферу, литосферу и гидросферу планеты. В связи с выбросами в окружающую среду различных отходов существует государственный контроль за загрязнениями. Поэтому каждое предприятие заинтересовано в экологичности производства не только с этической точки зрения, но и из-за возможных санкций. В связи с этим для организации производства необходимы системы очистки, утилизации, депонирования отходов.

Главными факторами, влияющими на состояние атмосферы, являются выбросы отработанного газового потока после недостаточно эффективной системы его очистки. Один из основных выбросов комбикормовых предприятий в атмосферу – мелкодисперсный компонент продуктов измельчения зерна. Результаты исследований на комбикормовых производствах подтверждают, что одним из вредных условий труда является запыленность воздуха^{1,2}. Так, запыленность

отходящих газов при переработке зерновых культур может достигать от 2 до 3 г/м³.

Отдельного внимания заслуживают миникомбикормовые заводы, предназначенные для приготовления полнорационных кормов с различными добавками в условиях малых и средних фермерских хозяйств, производительностью от 0,8 до 5 т/ч готового комбикорма. В качестве уловителя мелкодисперсной мучной пыли на таких заводах используются тканевые фильтры в виде мешков, неспособных осуществить эффективную очистку воздуха.

Эффективность улавливания мелкодисперсного компонента не только влияет на здоровье работников и взрывоопасность помещений. Данный компонент может быть использован в качестве добавки в корма. Однако мелкодисперсный компонент, с одной стороны, опасен для животных, и его содержание в рассыпных кормах не должно превышать допустимые нормы. С другой стороны, он является ценной составляющей, с точки зрения полного использования потенциала зерновки, при производстве ферментированных кормов, например, зерновой

¹Ананьев В.А., Балуева Л.Н., Гальперин А.Д., Городов А.К., Еремин М.Ю., Звягинцева С.М., Мурашко В.П., Седых И.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. М.: Евроклимат, 2003. 416 с.

²Бутковский В.А. Особенности работы мукомольных заводов России в современных условиях // Хлебопродукты. 2005. № 5. С. 2–4.

патоки³. Наличие мучной пыли в исходном сырье при производстве гранулированных и экструдированных кормов не влияет на качество готового продукта и не оказывает отрицательного влияния на здоровье животных.

Поэтому важно обеспечить высокую степень очистки воздуха с последующим депонированием и переработкой мучной пыли. Низкая эффективность улавливания мелкого компонента и обратный унос частиц пыли в выхлопной патрубков – наиболее актуальная и трудно решаемая проблема развития техники центробежного пылеуловителя, а следовательно, обеспечения экологической и пожарной безопасности предприятия и полного использования потенциала зерновки.

Похожей проблеме посвящена диссертация А.Г. Титова⁴, в которой отмечен вторичный унос пыли в выхлопной патрубков циклонов на промышленных предприятиях, а также при очистке сбросных газов от пыли в электроэнергетике и в экспериментах по уменьшению уноса [1]. В.В. Кузьмин, В.А. Марков, Д.И. Мисюля [2, 3] предприняли попытку решения проблемы вторичного уноса пыли в химической промышленности посредством внедрения определенных раскручивателей непосредственно в выходной патрубков циклона.

Объектом настоящих исследований является процесс сепарации транспортируемого материала от несущего газового потока в циклонных аппаратах на зерноперерабатывающих предприятиях.

Цель исследований – повысить эффективность сепарации в инерционном пылеуловителе за счет снижения обратного уноса пыли в выхлопной патрубков циклона.

Задачи исследования:

1. Провести анализ путей совершенствования циклонных пылеуловителей.
2. Разработать усовершенствованную конструкцию циклонного аппарата.

3. Экспериментально проверить эффективность предложенного технического решения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Решение поставленных задач основано на применении сравнительного критического анализа современного состояния уровня развития центробежной сепарации, методологии конструирования технологического оборудования, а также проведении экспериментальных исследований.

Для проверки эффективности работы различных конструкций циклонов на базе Инженерного института (кафедра механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции) Новосибирского государственного аграрного университета изготовлена экспериментальная установка (см. рис. 1).

Экспериментальная установка включает загрузочный бункер, в котором предусмотрены ворошитель (для исключения сводообразования) и регулируемая заслонка. Забор и транспортирование материала происходят за счет разряжения воздуха, создаваемого всасывающим вентилятором. Пневмотранспорт материала осуществлен пневмоприемником-отводом типа У2-БПО и материалопроводом, соединенным с исследуемым циклоном. Для оценки эффективности работы циклонов на выходной патрубков установлен автомобильный воздушный фильтр, взвешивание фильтрующего элемента которого позволило определить массу вынесенной пыли.

В качестве материала использовали дробленое зерно пшеницы влажностью 16%, полученное на молотковой дробилке ШИК Б-600 с установленными решетками, имеющими диаметр отверстий 3 мм. По результатам ситового анализа согласно ГОСТ 13496.8–72 (Комбикорма. Методы определения крупности размолотого и содер-

³Пшенов Е.А., Блёскин С.С., Нечаев Н.А. Повышение качества измельчения фуражного зерна молотковыми дробилками // Сборник трудов научно-практической конференции преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосибирского ГАУ, Новосибирск, 21–23 октября 2019 г. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2019. С. 112–114.

⁴Титов А.Г. Интенсификация процесса пылеулавливания в электроциклоне путем снижения вторичного уноса: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 05.17.08. Томск, 2014. 20 с.

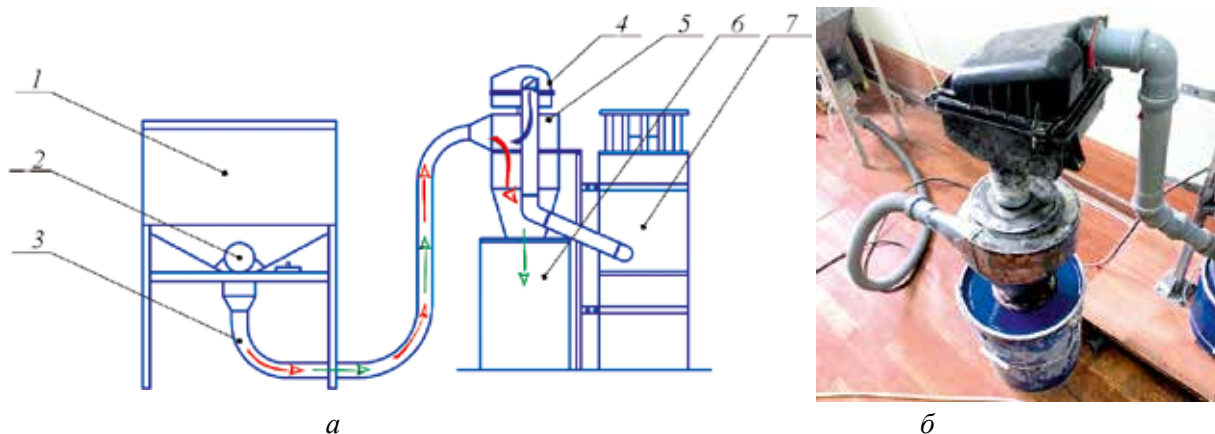


Рис. 1. Экспериментальная установка:

a – схема экспериментальной установки: 1 – загрузочный бункер; 2 – ворошитель; 3 – материалопровод; 4 – корпус воздушного фильтра; 5 – циклон; 6 – емкость для сбора отделяемого продукта; 7 – всасывающий вентилятор; *б* – общий вид экспериментальной установки

Fig. 1. Experimental unit:

a - experimental unit scheme: 1 - charging hopper; 2 - agitator; 3 - material conduit; 4 - air filter casing; 5 - cyclone; 6 - container for collecting separated product; 7 - suction fan; *б* - general view of an experimental unit

жания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений) определен средневзвешенный гранулометрический состав продукта: масса остатка на сите 3 мм – 2,3 г, 2 мм – 31,6 г, 1 мм – 42,1 г, поддон – 23,9 г.

Актуальность разработки

В качестве систем пылеулавливания наибольшее распространение для очистки пылегазового потока получили циклонные пылеуловители и рукавные фильтры⁵. Также существуют системы комбинированной очистки, в которых повышают эффективность работы рукавных фильтров путем включения циклона в схему пылегазовой очистки⁶. В промышленных предприятиях используют различные схемы систем очистки выбросов с применением циклонных пы-

леуловителей⁷. Области применения, основные конструктивные особенности, а также классификации существующих циклонов рассматриваются в работах [5, 6].

К основным преимуществам циклонных пылеуловителей относят следующее⁸:

- отсутствие движущихся частей;
- улавливаемость пыли в сухом виде;
- возможность улавливания абразивных пылей, для чего активные поверхности циклонов покрываются специальными материалами;
- возможность работы циклонов при высоких давлениях;
- гидравлическое сопротивление имеет стабильную величину;
- простота конструкции и возможность ремонта;

⁵Блескин, С.С. Пшенов Е.А. Эксплуатация циклонных пылеуловителей // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: Материалы XI региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 75-летию Инженерного института, Новосибирск, 11–12 ноября 2019 года. Новосибирск: Издательский центр НГАУ «Золотой колос», 2019. С. 38–41.

⁶Бушумов С.А., Короткова Т.Г. Повышение эффективности работы рукавных фильтров путем включения циклона в технологическую схему пылегазовой очистки // Сборник материалов международной научно-практической конференции, Краснодар, 21–22 июня: Устойчивое развитие, экологически безопасные технологии и оборудование для переработки пищевого сельскохозяйственного сырья. Краснодар: ООО «Экоинвест», 2016. С. 75–77.

⁷Кочетов О.С., Сошенко М.В., Зубкова В.М. Циклонные пылеуловители систем очистки выбросов // Закономерности и тенденции инновационного развития общества: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 6 частях, Магнитогорск, 20 декабря 2017 года. Магнитогорск: ООО "Аэтерна", 2017. С. 66–68.

⁸Преимущества и недостатки циклонов // КС-технологии элеваторное и мельничное оборудование URL: <http://ksmash.ru/priyemushchestva-i-nedostatki-tsiklonov> (дата обращения: 10.04.2022).

– повышение концентрации пыли не приводит к снижению фракционной эффективности аппарата.

К главным недостаткам можно отнести относительно высокое гидравлическое сопротивление, которое достигает 1250–1500 Па, и низкую эффективность при улавливании частиц размером < 5 мкм. Так, для повышения эффективности пылеулавливания полидисперсных частиц существуют следующие направления⁹ совершенствования центробежных аппаратов [4, 7], представленных на рис. 2.

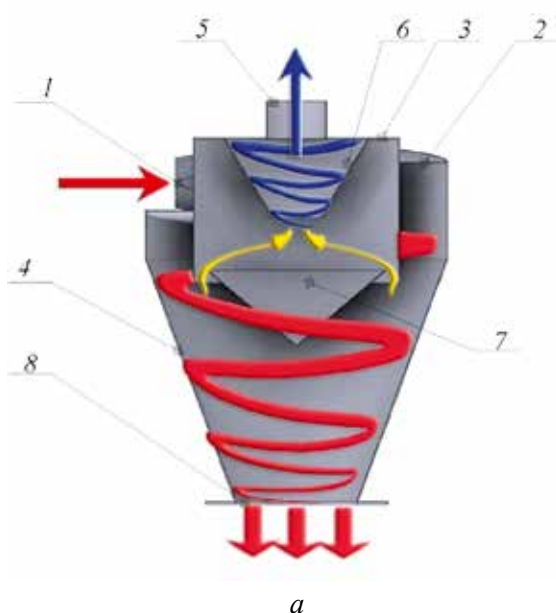
Основным направлением работ по повышению качества пылеочистки является изменение общей конструкции устройства. Конструктивные формы циклонных пылеуловителей разнообразны. При этом существует определенная тенденция развития конусной части, так как форма циклона влияет на аэродинамику течений воздуха, возникающих в аппарате. В конусовидном циклоне



Рис. 2. Направления совершенствования центробежных аппаратов

Fig. 2. Directions for improvement of centrifugal machines

интерес вызывают распределение скоростей по радиусу циклона, а также изменение воздушных течений внутри устройства. Следовательно, с целью повышения качества очистки используют различные раскручивающие устройства и вставки, которые в одном случае уменьшают гидравлическое



a



б

Рис. 3. Двухступенчатый циклон:

a – схема движения частиц в циклоне: 1 – входной патрубок; 2 – спиральная улитка; 3 – осевой патрубок; 4 – коническая часть корпуса; 5 – выходной патрубок; 6 – коническая вихревая воронка; 7 – отбойный конус; 8 – разгрузочное окно; *б* – общий вид предлагаемой конструкции спиральной улитки с отбойным конусом

Fig. 3. Two-stage cyclone

a - scheme of particles motion in a cyclone: 1 - supply nozzle; 2 - spiral volute; 3 - axial socket; 4 - conical body part; 5 - outlet nozzle; 6 - conical vortex funnel; 7 - baffle cone; 8 - unloading aperture; *б* - general view of the proposed design of the spiral volute with a baffle cone

⁹Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Смирнов М.Е. Основные пути повышения эффективности работы газоочистного оборудования в цементной промышленности // Alitinform: Цемент.Бетон.Сухие смеси. 2008. № 3–4 (4–5). С. 28–37.

сопротивление, не изменяя качество фильтрации [8], а в другом случае увеличивают гидравлическое сопротивление. При этом незначительно повышается эффективность очистки.

Раскручивающие устройства устанавливаются на входном патрубке, нижней части циклона или на выходном патрубке. Причем от места установки зависит как качество, так и энергоэффективность пылеуловителя. Так, при установке дополнительных раскручивающих устройств на входном патрубке или на нижней части циклона происходит ощутимое понижение гидравлического сопротивления, приводящее к улетучиванию мелкого компонента в выхлопной патрубок, а при установке его на выходном патрубке – к незначительному падению давления [8]. Конструкции устройств для снижения энергопотребления, а также пути снижения энергопотребления циклонов посредством внедрения различных раскручивающих устройств и вторичным использованием инерции вихревого потока представлены в работах [9–11].

Предложение модели

На основании анализа современного состояния аппаратов для очистки газовой среды, используемых в комбикормовом производстве, разработан циклон с дополнительной ступенью очистки, установленной в выходном патрубке.

Предлагаемый циклон работает следующим образом (см. рис. 3, а). Разделяемый поток вводится в цилиндрический корпус циклона через входной патрубок в спиральную улитку. В спиральной улитке пылегазовый поток закручивается и направляется в коническую часть корпуса. Прямоугольное сечение входного патрубка и кольцевой канал, образованный осевым патрубком и внутренней стенкой спиральной улитки, создают направленный снисходящий поток вдоль внутренней стенки поверхности корпуса

циклона. При закручивании пылегазового потока возникает центробежная сила, под действием которой крупные частицы перемещаются по винтовой спирали в радиальном направлении вниз и по конической части корпуса уходят в разгрузочное окно.

Мелкие частицы пыли с восходящим потоком газа устремляются вверх и встречаются с отбойным конусом (см. рис. 3, б). Двигаясь по его образующей, частицы попадают в кольцевой канал между осевым патрубком и отбойным конусом. Коническая вихревая воронка создает область низкого давления вдоль оси циклона. Это приводит к резкому изменению направления потока газа в кольцевом канале. Частицы пыли, двигаясь по инерции, касаются внутренней стенки осевого патрубка и выпадают из потока.

Коническая вихревая воронка в верхней своей части имеет больший, а в нижней части – меньший диаметр, чем выходной патрубок. Таким образом, в воронке создается вихрь с переменной окружной скоростью. Частицы пыли, увлекаемые получившимся вихрем, под действием центробежной силы вращаются на большем диаметре, чем выходной патрубок, и не выносятся из циклона. Очищенный газовый поток выходит через выходной патрубок¹⁰.

Методика проведения сравнительных испытаний

Предварительно определено максимальное положение заслонки загрузочного бункера, при котором происходит стабильное пневмотранспортирование подаваемого материала в циклоны. Также предварительно определено минимальное положение заслонки, способствующее стабильной подаче материала в пневмоприемник-отвод. После чего между минимальным и максимальным положениями отмечено три промежуточных, что в совокупности составило пять вариантов нагрузки по материалу на циклоны.

¹⁰Патент на полезную модель № 208117 U1 Российская Федерация, МПК В04С 9/00, В01D 45/12. Циклон : № 2021106836 : заявл. 15.03.2021 :опубл. 03.12.2021 / Е. А. Пшенов, А. А. Мезенов, М. Л. Вертей, А.А. Диденко, С.С. Блещкин, А.Г. Христенко; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Новосибирский государственный аграрный университет".

Эксперимент проводили в трехкратной повторности на пяти положениях заслонки загрузочного бункера. Перед каждой повторностью взвешивалась исходная масса материала (около 11 кг). Для определения нагрузки по материалу на циклон засекали время от начала открытия заслонки до полного прохождения дробленого зерна в системе пневмотранспорта.

В качестве критерия эффективности сепарации выбран общий коэффициент улавливания циклоном η . Так как исходный материал представлен четырьмя фракциями, то η определяется по формуле

$$\eta = 1 - \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4,$$

где $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ – коэффициенты улавливания фракции соответственно: более 3 мм, от 3 до 2 мм, от 2 до 1 мм и менее 1 мм.

Коэффициент улавливания $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ характеризуется отношением количества фактически уловленных частиц M_{y-i} к его количеству в исходной смеси M_{0-i} , находится по формуле

$$\eta_{1-4} = M_{y-i} / M_{0-i}.$$

Перед каждой повторностью разбирали автомобильный фильтр, фильтрующий элемент продували сжатым воздухом и взвешивали, после проведения очередного эксперимента производили повторное взвешивание для определения массы вынесенной пыли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведенных сравнительных испытаний получены следующие зависимости, представленные на графике (см. рис. 4).

При обработке полученных результатов определено, что коэффициенты улавливания η_1, η_2 и η_3 для фракций более 3 мм, от 3 до 2 мм и от 2 до 1 мм для всех трех циклонов равны 1. Тогда определяющим становится коэффициент улавливания η_4 . С учетом того, что при ситовом анализе масса навески составляла 100 г, то масса фракции менее 1 мм в поддоне является массовой долей компонента в смеси и составляет 23,9%, что соответствует $M_0 = 2629$ г мучной пыли в исходной смеси массой 11 кг.

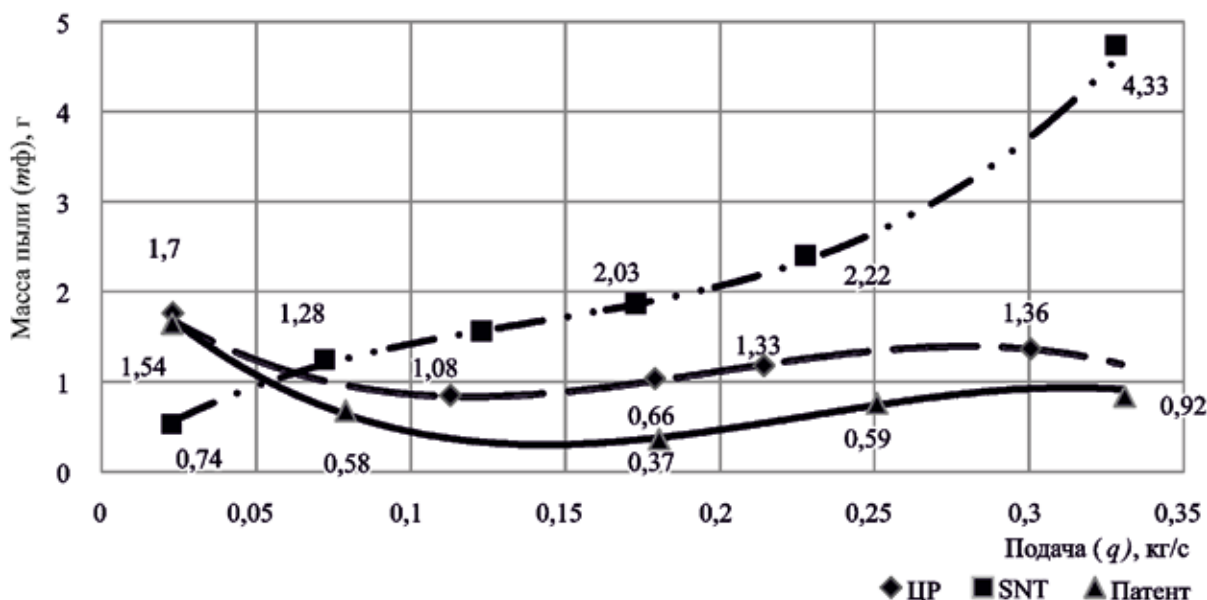


Рис. 4. Результаты сравнительных испытаний циклонов:

mф – масса пыли, оставшейся на фильтре; q – подача материала в циклон;

Патент – предложенное конструкторское решение циклона.

Fig. 4. Results of the comparative cyclone tests:

mф – mass of the dust remaining on the filter; q – feeding the material into the cyclone;

Patent – the proposed cyclone design solution.

По данным исследования, циклон разгрузитель ЦР показал практически стабильную работу в изученном диапазоне подачи материала. Отмечено повешение эффективности при нагрузке по материалу 0,16 кг/с, масса вынесенной пыли составила 0,66 г, что соответствует $\eta = \eta_4 = 0,99975$.

Циклон SNT показал наилучший результат при малых концентрациях материала (0,026 кг/с) – 0,74 г ($\eta = 0,99972$). Однако по мере увеличения подачи материала масса пыли, выносимая в выходной патрубке, также увеличивалась и достигла 4,33 г ($\eta = 0,99835$) при подаче 0,32 кг/с. Это свидетельствует о том, что его конструктивное исполнение можно отнести к пылеуловителям, работающим на небольших концентрациях пыли.

Предлагаемый двухступенчатый циклон, напротив, на малых концентрациях показал наихудший результат (около 1,7 г) пыли, вынесенной в выходной патрубок ($\eta = 0,99935$), а по мере увеличения нагрузки показал наилучшие результаты в оставшемся диапазоне по сравнению с испытываемыми образцами. Так, при подаче 0,33 кг/с, масса вынесенной пыли составила 0,92 г ($\eta = 0,99965$), что на 32% меньше ближайшего аналога циклона разгрузителя ЦР 1,36 г ($\eta = 0,99948$) при одинаковых начальных условиях.

ВЫВОДЫ

1. По результатам анализа способов совершенствования центробежных пылеуловителей выделено направление, связанное с установкой дополнительных завихрителей в выходном патрубке циклонов для увеличения крутки потока и повышения степени очистки газа от мелких частиц.

2. На основании анализа конструкций современных циклонных аппаратов разработано техническое решение в виде двухступенчатого циклона для повышения эффективности работы миникомбикормового завода.

3. Экспериментально установлено, что предложенную конструкцию двухступенчатого циклона следует отнести к циклонам разгрузителям, работающим на больших концентрациях материала.

4. В исследуемом диапазоне (от 0,026 до 0,33 кг/с) по транспортируемому материалу эффективность двухступенчатого циклона была выше, чем у серийно выпускаемых циклонов разгрузителей ЦР ($\eta = 0,9998–0,99965$).

Таким образом, дальнейшие исследования будут направлены на определение гидравлического сопротивления циклона, а также определение рациональных конструктивно-режимных параметров разрабатываемого циклона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инюшкин Н.В., Ермаков С.А., Гильванова З.Р., Титов А.Г., Коробкова И.В., Аитова А.И. Планирование эксперимента по улавливанию дисперсных частиц в электроциклоне // Технические науки – от теории к практике. 2013. Т. 17, № 2. С. 33–37.
2. Мисюля Д.И., Кузьмин В.В., Марков В.А. Применение лопастного раскручивателя в циклонных пылеуловителях // Труды БГТУ. 2011. № 3. С. 162–169.
3. Мисюля Д.И., Кузьмин В.В., Марков В.А. Разработка раскручивающего устройства для циклонных аппаратов и определение его параметров // Теоретические основы химической технологии. 2013. № 3. С. 331.
4. Чистяков Я.В., Муратова К.М., Васильев П.В. Повышение эффективности отделения мелкодисперсной пыли в центробежно-инерционных аппаратах пылеулавливания // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2015. № 3. С. 42–51.
5. Петров В.И., Фатихов И.Ф., Сизов А.Г., Никитин А.С. Анализ эффективности работы циклонных пылеуловителей // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 23. С. 173–175.
6. Замалиева А.Т., Зиганишин М.Г. Сравнительный анализ технических характеристик циклонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. Т. 4. № 3. С. 18–24.
7. Чалов В.А., Куцев Л.А. Повышение эффективности использования аппаратов сухого инерционного пылеулавливания // Механика XXI века. 2011. № 10. С. 27–30.
8. Мисюля Д.И., Кузьмин В.В., Марков В.А. Конструктивные особенности раскручивающих устройств для циклонов // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. 2011. № 3. С. 153–161.

9. Мисюля Д.И. Новые конструкции устройств для снижения энергопотребления циклонных пылеуловителей // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2012. № 1. С. 57–61.
10. Мисюля Д.И., Кузьмин В.В., Марков В.А. Пути снижения энергопотребления циклонов // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2011. Т. 4, № 96. С. 74–88.
11. Кузьмин В.В., Мисюля Д.И., Марков В.А. Снижение энергетических и экономических затрат при использовании циклонов НИИОГАЗ // Энергоэффективность. 2011. № 2. С. 14–16.

REFERENCES

1. Inyushkin N.V., Ermakov S.A., Gil'vanova Z.R., Titov A.G., Korobkova I.V., Aitova A.I. Experiment planning for dispersed particles capturing in electro cyclone. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike = Technical sciences – from theory to practice*, 2013, vol. 17, no 2, pp. 33–37. (In Russian).
2. Misyulya D.I., Kuz'min V.V., Markov V.A. Application of a bladed spinner in cyclone dust collectors. *Trudy BGTU = Proceedings of BSTU*, 2011, no 3, pp. 162–169. (In Russian).
3. Misyulya D.I., Kuz'min V.V., Markov V.A. Developing of an untwisting device for cyclones and estimation of its parameters. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii = Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2013, no. 3, p. 331. (In Russian).
4. Chistyakov Ya.V., Muratova K.M., Vasil'ev P.V. Improving separation of fine-dispersed dust in centrifugal-inertial dust collection devices. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle = Proceedings of the Tula State University- Sciences of Earth*, 2015, no. 3, pp. 42–51. (In Russian).
5. Petrov V.I., Fatikhov I.F., Sizov A.G., Nikitin A.S. Analysis of cyclone dust collector efficiency. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*, 2013, no. 23, pp. 173–175. (In Russian).
6. Zamalieva A.T., Ziganshin M.G. Comparative analysis of technical characteristics of cyclones. *Zhilishchnoe khozyaistvo i kommunal'naya infrastruktura = Housing and utilities infrastructure*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 18–24. (In Russian).
7. Chalov V.A., Kushchev L.A. Increasing the Efficiency of Dry Inertial Dust Collecting Devices. *Mekhaniki XXI veku = Mechanical engineers to XXI century*, 2011, no 10, pp. 27–30. (In Russian).
8. Misyulya D.I., Kuz'min V.V., Markov V.A. Design philosophy of untwisting devices for cyclones. *Trudy BGTU. №3. Khimiya i tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv = Proceedings of BSTU. Chemistry and Technology of Inorganic Substances*, 2011, no 3, pp. 153–161. (In Russian).
9. Misyulya D.I. New designs of devices for a decrease in power consumption of cyclone dust collectors. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tsvetnaya metallurgiya = Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*, 2012, no. 1, pp. 57–61. (In Russian).
10. Misyulya D.I. Kuz'min V.V., Markov V.A. Ways of decrease in power consumption of cyclone separators. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal Al'ternativnaya energetika i ekologiya = International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*, 2011, vol. 4. no. 96, pp. 74–88. (In Russian).
11. Kuz'min V.V., Misyulya D.I., Markov V.A. Reducing energy and economic costs when using НИОГАЗ cyclones. *Energoeffektivnost' = Energy Efficiency*, 2011, no 2, pp. 14–16. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пшенов Е.А., кандидат технических наук, доцент

✉ **Блёскин С.С.**, аспирант; **адрес для переписки:** Россия, 630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: Moonlait2510@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Evgenii A. Pshenov, Candidate of Science in Engineering, Associate Professor

✉ **Sergey S. Bleskin**, Postgraduate Student; **address:** 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russia; e-mail: Moonlait2510@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 29.06.2022

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 13.10.2022

Дата публикации / Published 20.03.2023