

УДК 621.928.6

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КЛАССИФИКАТОРА ПРИ ФРАКЦИОНИРОВАНИИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА**

Мугинов Арслан Маратович  
Студент  
SPIN – код автора: 3425-1647  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Шинкевич Татьяна Олеговна  
Канд. техн. Наук, доцент  
SPIN – код автора: 9724-1390  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Кашапов Ильдар Ильясович  
старший преподаватель  
SPIN – код автора: 1449-9953  
*Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия*

Шамсутдинова Камилла Эдуардовна  
Студент  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

В статье рассмотрена проблема фракционирования зернового вороха. Рассмотрены различные сепараторы-классификаторы: ситовые, воздушные, триерные. Для решения проблемы предложена конструкция центробежного мультивихревого классификатора, позволяющая фракционировать зерновой ворох с высокой эффективностью за счет центробежных и инерционных сил. Представлена 3D модель аппарата. Описан механизм его работы. Целью работы является оценка эффективности и гидравлического сопротивления центробежного мультивихревого классификатора при фракционировании твердых частиц. Исследование выполнялось с помощью численного моделирования. В ходе исследования варьировались скорость на входе в аппарат и размер прорезей, сделанных во внутренней трубе. По мере проведения исследований было получено, что скорость входного потока должна поддерживаться в диапазоне 12-16 м/с, что позволяет достичь высокой эффективности улавливания при минимальных энергозатратах. Для достижения оптимальных рабочих характеристик классификатора целесообразно

UDC 621.928.6

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY AND HYDRAULIC RESISTANCE OF THE CENTRIFUGAL CLASSIFIER DURING GRAIN PILE FRACTIONATION**

Muginov Arslan Maratovich  
student  
RSCI SPIN-code: 3425-1647  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Shinkevich Tatyana Olegovna  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
RSCI SPIN-code: 9724-1390  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Kashapov Ildar Ilyasovich  
senior lecturer  
RSCI SPIN-code: 1449-9953  
*Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia*

Shamsutdinova Kamilla Eduardovna  
student  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

The article considers the problem of grain heap fractionation. Various classifier separators are considered: sieve, air, trier. To solve the problem, a design of a centrifugal multi-vortex classifier is proposed, which allows fractionating a grain pile with high efficiency due to centrifugal and inertial forces. A 3D model of the device is presented. The mechanism of its operation is described. The aim of the work is to evaluate the efficiency and hydraulic resistance of a centrifugal multi-vortex classifier during fractionation of solid particles. The study was carried out using numerical modeling. During the study, the speed at the entrance to the device and the size of the slots made in the inner tube varied. As the research progressed, it was found that the input flow rate should be maintained in the range of 12-16 m/s, which allows for high capture efficiency with minimal energy consumption. To achieve optimal performance characteristics of the classifier, it is advisable to strive to increase the area of vertical ducts, which will reduce the turbulence of the air flow and reduce the hydraulic resistance of the device

стремиться к увеличению площади вертикальных проточек, что позволит уменьшить турбулентность воздушного потока и снизить гидравлическое сопротивление аппарата

Ключевые слова: ВОРОХ, ЗАПЫЛЕННЫЙ ВОЗДУХ, ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ АППАРАТ, ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ, МЕЛКИЕ ЧАСТИЦЫ, СЕПАРАТОР, УЛАВЛИВАНИЕ ЧАСТИЦ

Keywords: PILE, DUSTY AIR, CENTRIFUGAL APPARATUS, DUST COLLECTOR, FINE PARTICLES, SEPARATOR, PARTICLE CAPTURE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-200-032>

**Введение.** На сегодняшний день в агропромышленном комплексе одной из важнейших задач является развитие зерновых производств. Высокая всхожесть посева является ключевым фактором при производстве качественного зернового продукта. Рост урожайности сельскохозяйственного продукта обеспечивается высоким качеством семян. Для его достижения применяют послеуборочную обработку, включающую многократную очистку продукта в зерноочистительных машинах. Данный процесс позволяет произвести очистку семян с достаточно высокой эффективностью. Однако, в ходе удаления примесей часть пригодной для посева продукции повреждается или отсеивается с мусором.

Достижение высокой всхожести за счет снижения количества семян низкого качества представляется возможной благодаря предварительной классификации продукции по различным параметрам (размер, плотность) на ранних этапах послеуборочной обработки. Эффективное отделение фракций высококачественной продукции невозможно при беспорядочной подаче вороха, так как при этом происходит постоянное взаимодействие сора с семенами. Именно поэтому важно применять фракционные технологии для сортировки семян, которые позволяют на начальных этапах обработки продукции получить разнокачественные фракции зерна.

**Состояние исследований и актуальность проблемы.** Для рационализации процесса очистки и переработки семян применяют аппараты-классификаторы различных видов. В основном применяют

<http://ej.kubagro.ru/2024/06/pdf/32.pdf>

ситовые, воздушные, триерные классификаторы. В ситовых аппаратах процесс фракционирования происходит за счет специальных решеток, размеры которых определяют, какие параметры будут у целевой фракции. Семена, проходя через эти решетки под действием силы тяжести, разделяются на две фракции. Воздушные классификаторы производят разделение вороха за счет вертикальной сортировки продукта под действием поднимающейся воздушной струи. Частицы разных размеров и форм располагаются на разных уровнях за счет различия веса и аэродинамических параметров. В триерных классификаторах зерновая смесь разделяется за счет специальных вращающихся барабанов с отверстиями. Достаточно мелкие частицы выводятся через данные отверстия, а слишком крупные выводятся за счет скольжения по периферии барабана.

На данный момент уже проводятся различные научные исследования в области фракционирования зерновых культур. В исследовании [2] описываются конструкция и процесс работы инновационных зерноочистительных агрегатов МПО-25Ф, АЗМ-10/5-ВРФ, СП-2Ф. Из исследования видно, что применение фракционной очистки является наиболее результативным на этапе предварительной обработки зерна при этом семенное зерно подвергается сушке в мягком тепловом режиме, в то время как фуражное зерно обрабатывается в более интенсивных условиях, что приводит к снижению энергетических затрат, повышению эффективности работы технологической линии и уменьшению повреждений семян. В работе [1] описывается технологический процесс работы модернизированного, путём усиления пневмоинерционного сепаратора, агрегата, а также способы повышения эффективности очистки и увеличения полноты выделения крупных примесей. Исследование, представленное в публикации [3], включает в себя обзор и анализ имеющихся техник сепарации. На основе этого анализа была

подтверждена эффективность процедуры разделения частиц в условиях восходящего потока воздуха. В ходе исследования были разработаны устройство для быстрого определения чистоты семян и серия пневматических сепараторов с разнообразной производительностью. В статье также представлены детальные описания этих новшеств и оценка их практического применения на аграрных предприятиях различного типа.

В представленной статье анализируется центробежный мультивихревой классификатор (ЦМК), предназначенный для отделения частиц размером более 40 мкм (рис. 1).

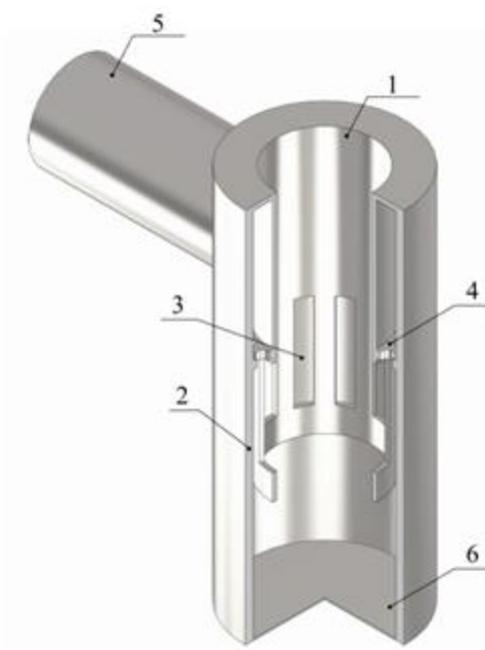


Рисунок 1 – Центробежный мультивихревой классификатор (ЦМК): 1 – внутренняя труба; 2 – внешняя труба; 3 – вертикальные проточки; 4 – пластина с отверстиями; 5 – патрубок входной; 6 – бункер

Вход потока воздуха с частицами в ЦМК происходит через патрубок 1, далее запыленная среда движется в межтрубное пространство ЦМК, в которое попадает через вертикальные проточки 3. В нем происходит завихрение потока, образуется множество упорядоченных вихрей, движущихся в верхнюю часть ЦМК. Под действием центробежных сил крупные частицы отлетают к цилиндрической стенкам, после контакта

с которыми падают в нижнюю часть ЦМК – в бункер. Оставшиеся частицы в потоке воздуха покидают аппарат через патрубок выходной 5 (рис. 1).

**Цель исследований.** Оценить эффективность и гидравлическое сопротивление центробежного мультивихревого классификатора при фракционировании твердых частиц.

**Материалы и методы исследований.** Исследование проводилось методом численного моделирования в ANSYS Fluent.

Данное устройство сконструировано из двух цилиндрических элементов 1 и 2, расположенных коаксиально, снабжено выходным патрубком 5 и перфорированной пластиной 4. Внутренний элемент 1 установлен на высоте 69 мм над основанием бункера 6. Вертикальные проточки 3, имеют образующий угол в  $18^\circ$  и высоту 60 мм, размещены на 93 мм ниже верхней границей ЦМК. Перфорированная пластина 4, толщиной 5 мм, находится на 85 мм ниже верхней плоскостью ЦМК. Внешний диаметр внутреннего цилиндра 1 составляет 66 мм, а толщина стенки – 3 мм. Внутренний диаметр внешнего цилиндра 2 равен 90 мм, при толщине стенки 2,5 мм. Выходной патрубок 5 имеет диаметр 60 мм и стенки толщиной 2,5 мм, его центральная ось расположена на 49 мм ниже верхней границы ЦМК.

Эффективность предлагаемого устройства  $E$  рассчитывалась по формуле (1):

$$E = \frac{N_{\text{trap}}}{N_{\text{total}}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{trap}}$ ,  $N_{\text{total}}$  – количество уловленных и запущенных частиц в ЦМК соответственно, шт.

Коэффициент гидравлического сопротивления ЦМК рассчитывался по выражению (2):

$$\xi = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot W_{\text{м.п.}}^2} \quad (2)$$

где  $\Delta p$  – потери давления в ЦМК, Па;  $\rho$  – плотность воздуха при 20 °С, кг/м<sup>3</sup>;  $W_{\text{м.п.}}$  – скорость воздушного потока в межтрубном пространстве, м/с.

**Результаты исследований.** В ходе численного моделирования было получено, что использование ЦМК позволяет достаточно с высокой эффективностью разделять частицы по размерам. При этом эффективность улавливания частиц возрастает с повышением скорости, что соответствует работе классических центробежных пылеуловителей. При входной скорости 16 м/с эффективность улавливания частиц размером 40 мкм достигла 90%, при скорости 8 м/с эффективность возросла до 70% в исследуемом диапазоне. Это связано с увеличением центробежных сил, действующих на частицы, при росте скорости, что способствует их более эффективному удалению из воздушного потока. При этом граничное зерно соответствует 25-45 мкм при скорости 8-16 м/с и доле угла раскрытия вертикальных проточек равным 0,8 (рис. 2).

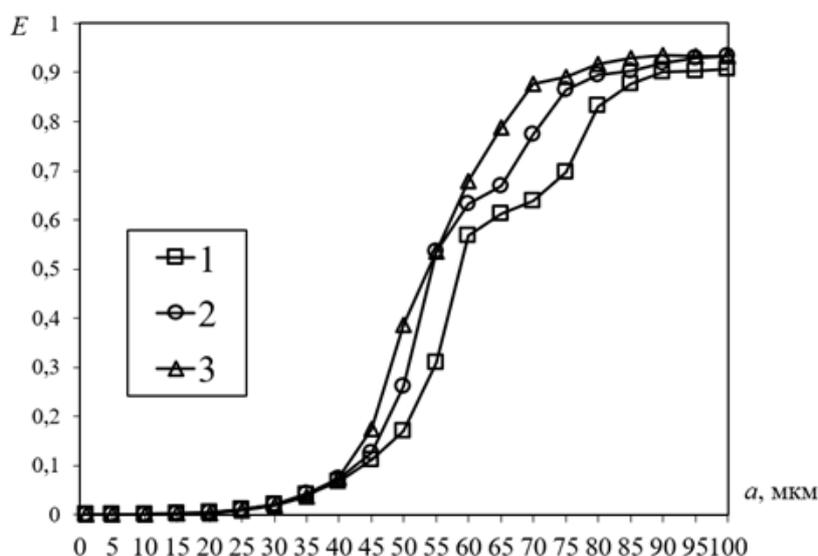


Рисунок 2 – Зависимости эффективности улавливания частиц ЦМК со значением доли угла раскрытия вертикальных проточек  $\alpha = 0,8$  от размера частиц при различной скорости на входе в аппарат  $W$ , м/с: 1 – 8; 2 – 12; 3 – 16

На рисунке 3 представлены зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса при различных

значениях доли угла раскрытия вертикальных проточек. Установлено, что гидравлическое сопротивление возрастает с уменьшением числового значения доли угла раскрытия вертикальных проточек, т. к. сужение проходного сечения препятствует плавному движению потока, вызывая дополнительную турбулентность потока. Коэффициент гидравлического сопротивления составил 55,7, 49,6, 31,5 и 17,1 при доле угла раскрытия вертикальных проточек 0,6, 0,7, 0,8 и 0,9 соответственно (рис. 3).

Полученные результаты имеют важное практическое значение для агропромышленного комплекса, особенно в сфере послеуборочной обработки зерна. Эффективное удаление примесей и высокое качество семян являются ключевыми факторами для повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции.

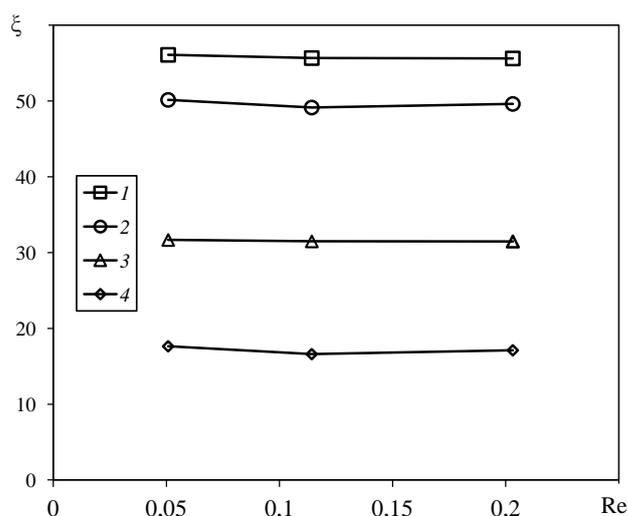


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления ЦМК от числа Рейнольдса при различных значениях доли угла раскрытия вертикальных проточек:

$$1 - \alpha = 0,6; 2 - \alpha = 0,7; 3 - \alpha = 0,8; 4 - \alpha = 0,9$$

**Выводы.** Проведенное исследование позволило сделать ряд выводов. 1. Скорость входного потока должна поддерживаться в диапазоне 12-16 м/с, что позволяет достичь высокой эффективности улавливания при минимальных энергозатратах. 2. Для достижения оптимальных рабочих

характеристик ЦМК целесообразно стремиться к увеличению площади вертикальных проточек, что позволит уменьшить турбулентность воздушного потока и снизить гидравлическое сопротивление аппарата.

### Библиографический список

1. Косилов Н.И. Модернизация зернотоков на базе пневмоинерционных сепараторов / Н.И. Косилов, Д.Н. Косилов, В.В. Волынкин // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – №8.
2. Пивен В.В. Основные тенденции совершенствования фракционных технологий очистки зерна / В.В. Пивен, О.Л. Уманская // Проблемы Науки. – 2013. – № 1(15)
3. Разработка и внедрение пневмосепараторов семян сельскохозяйственных культур / В. А. Кирсанов, М. В. Кирсанов, Р. В. Коломиец, В. М. Бердник // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 11(101). – С. 24-31. – EDN LMMFUT.

### References

1. Kosilov N.I. Modernizacija zernotokov na baze pnevmoinercionnyh separatorov / N.I. Kosilov, D.N. Kosilov, V.V. Volynkin // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2006. – №8.
2. Piven V.V. Osnovnye tendencii sovershenstvovanija frakcionnyh tehnologij ochistki zerna / V.V. Piven, O.L. Umanskaja // Problemy Nauki. – 2013. – № 1(15)
3. Razrabotka i vnedrenie pnevmoseparatorov semjan sel'skohozjajstvennyh kul'tur / V. A. Kirsanov, M. V. Kirsanov, R. V. Kolomic, V. M. Berdник // Nauka i biznes: puti razvitija. – 2019. – № 11(101). – S. 24-31. – EDN LMMFUT.