УДК 664.723: 62-784.43

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

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОТАЦИОННОГО ЩЕТОЧНОГО ФИЛЬТРА ПРИ ОЧИСТКЕ ВОЗДУХА ОТ ЗЕРНОВОЙ ПЫЛИ

Оробинский Владимир Иванович
д-р с.-х. наук, профессор
РИНЦ SPIN-код: 6899-5667
E-mail: n7477@mail.ru
Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1

Скуридин Павел Александрович
Аспирант
РИНЦ SPIN-код: 1164-5296
E-mail: gad45789r@gmail.com
Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1

Корнев Андрей Сергеевич
канд. техн. наук, доцент
РИНЦ SPIN-код: 3969-1468
E-mail: kornev.andr@mail.ru
Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1

Бондаренко Николай Александрович
РИНЦ SPIN-код: 9076-4689
E-mail: bna-asp@mail.ru
Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1

Актуальной проблемой при послеуборочной переработке зерна является интенсивное выделение мелкодисперсной пыли, которая негативно влияет на здоровье персонала, повышает взрывопожароопасность производства и загрязняет окружающую среду. Перспективным решением этой проблемы является использование ротационных щеточных фильтров с антистатическими гребнями, которые обеспечивают эффективное улавливание пыли за счет инерционного осаждения на ворсе щеток и механического удаления частиц. В лабораторных условиях были проведены экспериментальные исследования для оценки эффективности предложенного фильтрующего устройства в сравнении с серийно выпускаемым и широко используемым оборудованием для очистки воздуха от зерновой пыли — циклоном ЦОЛ-1,5. Испытания проводились в лабораторных условиях с использованием пылевой камеры, в которую помещалась зерновая пыль ярового ячменя сорта

UDC 664.723: 62-784.43

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

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF USING A ROTARY BRUSH FILTER FOR AIR PURIFICATION FROM GRAIN DUST

Orobinsky Vladimir Ivanovich
Dr.Sci.Sci., Professor
RSCI SPIN-code: 6899-5667
E-mail: n7477@mail.ru
Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina, Voronezh, 394087, Russia

Skuridin Pavel Aleksandrovich
Graduate student
RSCI SPIN-code: 1164-5296
E-mail: gad45789r@gmail.com
Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina, Voronezh, 394087, Russia

Kornev Andrey Sergeevich
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
RSCI SPIN-code: 3969-1468
E-mail: kornev.andr@mail.ru
Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina, Voronezh, 394087, Russia

Bondarenko Nikolay Aleksandrovich
RSCI SPIN-code: 9076-4689
E-mail: bna-asp@mail.ru
Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina, Voronezh, 394087, Russia

An urgent problem in post-harvest grain processing is the intensive release of fine-dispersed dust, negatively affecting the health of personnel, increasing the explosion-fire hazard of production, and polluting the environment. A promising solution to this problem is the use of rotary brush filters with antistatic combs, providing effective dust capture due to inertial deposition on the pile of the brushes and mechanical removal of particles. Under laboratory conditions, experimental studies were conducted to evaluate the effectiveness of the proposed filtering device in comparison with serially manufactured and widely used equipment for air purification from grain dust – cyclone TSOL-1.5. The tests were performed under laboratory conditions, using a dust chamber, into which grain dust of spring barley of the variety “Talovsky 9” was placed, as a

«Таловский 9» в качестве источника пылеобразования. Контроль запыленности осуществлялся с помощью анализатора частиц НТ-9600, измеряющего массовую концентрацию фракций PM2,5 и PM10 (в мг/м³). Все измерения проводились в трех повторностях с последующей обработкой по общепринятой методике; отклонение доверительного интервала не превышало 7 % от измеренного значения. Установлено, что по сравнению с циклоном ЦОЛ-1.5 разработанный щеточный фильтр обеспечивает снижение концентрации пыли размером PM2.5 с 0,051 до 0,009 мг/м³, а PM10 – с 1,150 до 0,193 мг/м³, что соответствует эффективности очистки 96,6 % и 96,7 % – на 15,8–16,2 % выше, чем у циклона. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования щеточного фильтра в аспирационных системах зерноочистительных машин для обеспечения санитарных норм по концентрации пыли в воздушной среде, снижения взрывопожароопасности и улучшения условий труда обслуживающего персонала

Ключевые слова: ЗЕРНОВАЯ ПЫЛЬ, ОЧИСТКА ВОЗДУХА, ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ, АСПИРАЦИЯ, АНТИСТАТИЧЕСКИЕ ГРЕБНИ

source of dust formation. Dustiness control was carried out with an HT-9600 particle analyzer, measuring the mass concentration of fractions PM2.5 and PM10 (in mg/m³). All measurements were carried out in triplicate with subsequent processing according to the generally accepted methodology; the deviation of the confidence interval did not exceed 7% of the measured value. It was established that, in comparison with cyclone TSOL-1.5, the developed rotary brush filter provides a reduction in dust concentration of PM2.5 size from 0.051 to 0.009 mg/m³, and PM10 – from 1.150 to 0.193 mg/m³, which corresponds to purification efficiency of 96.6% and 96.7% – by 15.8%–16.2% higher than that of the cyclone. The obtained results testify to the prospects of using a rotary brush filter in aspiration systems of grain-cleaning machines to ensure sanitary norms for dust concentration in the air environment, reduce explosion-fire hazard, and improve working conditions of maintenance personnel

Keywords: GRAIN DUST, AIR PURIFICATION, GRAIN PROCESSING ENTERPRISE, ASPIRATION, ANTISTATIC COMBS

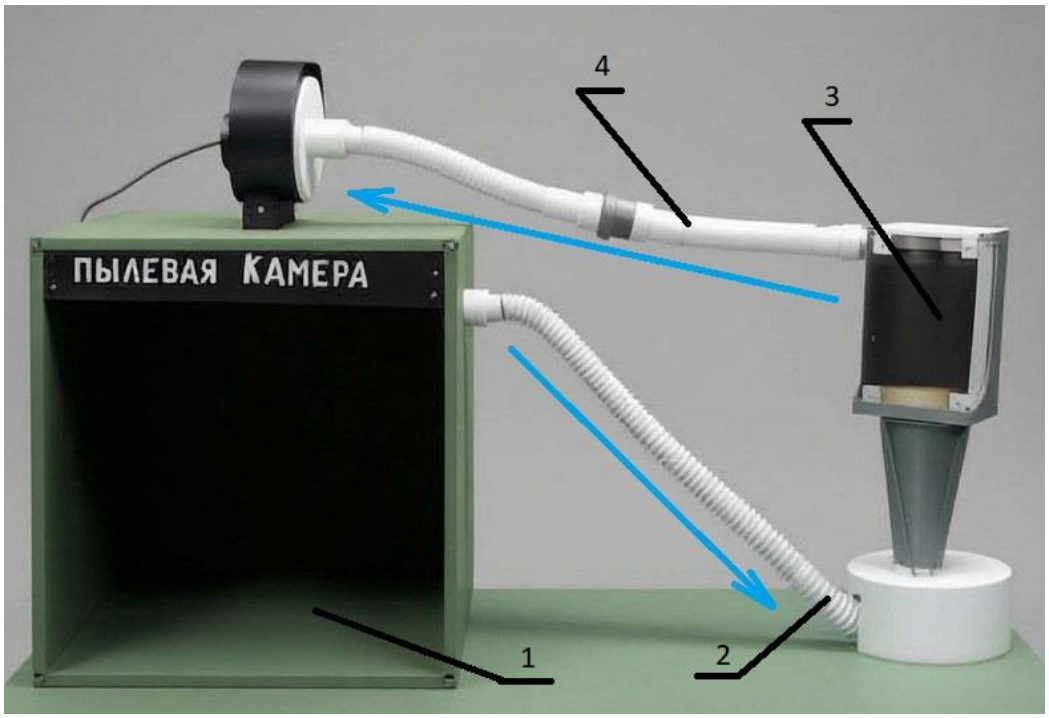
http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-222-028

Введение. Послеуборочная обработка зерна на современных предприятиях сопровождается интенсивным выделением мелкодисперсной органической пыли, которая негативно влияет на здоровье персонала, повышает взрывопожароопасность и загрязняет окружающую среду [12, 13]. Для улавливания пыли и предотвращения ее поступления в рабочую зону и атмосферу применяется аспирационное оборудование, в котором предусмотрены различные фильтрующие элементы [1, 4, 8].

Одним из перспективных видов такого оборудования является ротационный щёточный фильтр, который содержит корпус, внутри которого размещён фильтрующий узел, состоящий из четырёх ротационных щёток, закреплённых на валах. Щётки вращаются во встречном направлении посредством зубчатых колёс и ременной передачи, состоящей из четырёх шкивов. Для сбора зерновой пыли предусмотрен лоток. Для снятия статического электричества и очистки ворса от

скопившейся пыли, внутри корпуса установлены четыре антистатических гребня, изготовленные из углеродного волокна [9].

Принцип работы данного устройства следующий: запылённый воздух, отводимый от аспирационной системы зерноочистительной машины, направляется в фильтрующий узел, где происходит осаждение пыли на ворс ротационных щёток. В процессе вращения щёток, под действием инерционных сил, частицы пыли перемещаются к стенкам корпуса, на которых установлены антистатические гребни. Ворс ротационной щётки входит в контакт с зубьями гребней, что обеспечивает механическое удаление частиц пыли, а также позволяет снимать возможное статическое электричество, вырабатываемое в процессе взаимодействия щёток друг с другом. Отделённые от ворса частицы пыли под действием силы тяжести падают в сборный лоток (рисунок 1).



1 – пылевая камера, 2 – запыленный воздух, 3 – устройство для очистки воздуха от зерновой пыли, 4 – чистый воздух

Рисунок 1 – Устройство для очистки воздуха от зерновой пыли

Целью работы является экспериментально обосновать эффективность применения ротационного щёточного фильтра при фильтрации запыленного воздуха в рабочей зоне при послеуборочной обработке зернового материала, а также оценить его конкурентоспособность в сравнении с серийно выпускаемым оборудованием на примере циклона ЦОЛ-1,5.

Материалы и методы. Испытания проводили в лабораторных условиях с использованием герметичной пылевой камеры объёмом 1 м³. В качестве источника пылеобразования применяли зерновую пыль, собранную в производственных условиях при послеуборочной обработке зернового вороха ярового ячменя сорта «Таловский 9». Перед началом испытаний проводили контрольные замеры запылённости воздуха непосредственно в камере, без подключения очистного оборудования. Эти измерения фиксировали исходный уровень запылённости, который служил контролем для расчёта эффективности очистки. Перед каждым опытом, после полного удаления остатков пыли, в камеру помещали порцию зерновой пыли массой 100 г и равномерно распределяли её по дну. Затем включали вентилятор и создавали воздушную взвесь в течение 60 с. Это обеспечивало равномерное распределение частиц по объёму.

Для сравнительной оценки эффективности предлагаемого устройства использовали серийно выпускаемый циклон ЦОЛ-1,5. Это центробежный пылеотделитель, предназначенный для грубой и средней очистки воздуха от сухой неслипающейся пыли в аспирационных системах зерноперерабатывающих предприятий. Производительность циклона по воздуху составляет 1500 м³/ч. Принцип его действия основан на использовании центробежных сил. Запылённый воздух через тангенциально расположенный входной патрубок поступает в цилиндрическую камеру и приобретает вращательное движение. Под действием центробежной силы частицы пыли отбрасываются к стенкам

корпуса, теряют скорость и скатываются в коническую часть, откуда удаляются. Очищенный воздух отводится через выхлопную трубу [3, 6, 7, 11].

Привод ротационных щёток в ходе испытаний не использовался. Это обусловлено тем, что задачей эксперимента являлась оценка исключительно улавливающей способности фильтрующего узла, а не эффективности механизма самоочистки. Отключение привода позволило исключить влияние вращения щёток на процессы осаждения и вторичного уноса и получить «чистые» данные по осаждению пыли на ворс в статическом режиме.

Концентрацию пыли измеряли анализатором частиц HT-9600, работающим по принципу лазерной спектрометрии. Прибор фиксирует массовую концентрацию частиц размером PM2.5 и PM10 в мг/м³ [2,10]. Перед началом каждой серии опытов проводили калибровку. Отклонение показаний прибора от номинального значения не превышало ±7 %. Для определения эффективности работы рассматриваемых фильтрующих устройств производили отбор проб воздуха на выходе из них. Длительность одного замера составляла 50 с. Все измерения проводили в трёхкратной повторности с последующей обработкой по общепринятой методике. Одновременно регистрировали температуру и относительную влажность воздуха в помещении. Они составляли 26,5 °С и 54 % соответственно.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием критерия Манна – Уитни для независимых выборок [5]. Этот критерий выбран в связи с ограниченным объёмом выборки ($n = 3$ в каждой группе) и отсутствием оснований для проверки нормальности распределения. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Для сравнения эффективности циклона ЦОЛ-1,5 и ротационного щёточного фильтра

рассчитывали средние значения и стандартные отклонения. Расчёты выполняли в Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Результаты экспериментальных исследований по сравнительному анализу эффективности работы ротационного щёточного фильтра и фильтрующего устройства типа – циклон ЦОЛ-1,5, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – МАССОВАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ФРАКЦИЙ PM2,5 И PM10 ЗЕРНОВОЙ ПЫЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОЧИСТКИ

Вариант очистки	Уровень запыленности PM 2,5, мг/м³	Уровень запыленности PM 10, мг/м³
Контроль	0,265±0,018	5,902±0,413
Циклон ЦОЛ-1,5	0,051±0,004	1,150±0,080
Ротационный щёточный фильтр	0,009±0,001	0,193±0,014

Согласно данным таблицы 1, применение циклона ЦОЛ-1,5 позволяет снизить концентрацию с 5,902±0,413 до 1,150±0,080 мг/м^3 (эффективность составляет ≈80,5%) и с 0,265±0,018 до 0,051±0,004 мг/м^3 (эффективность составляет ≈80,8%) для фракций зерновой пыли PM10 и PM2,5 соответственно. Ротационный щёточный фильтр обеспечивает более глубокую очистку воздуха от зерновой пыли, остаточная концентрация по фракции PM10 составляет 0,193±0,014 мг/м^3, эффективность фильтрации 96,7% относительно исходного уровня, а для фракции PM2,5 0,009±0,001 мг/м^3, что соответствует 96,6 % эффективности очистки (рисунок 2).

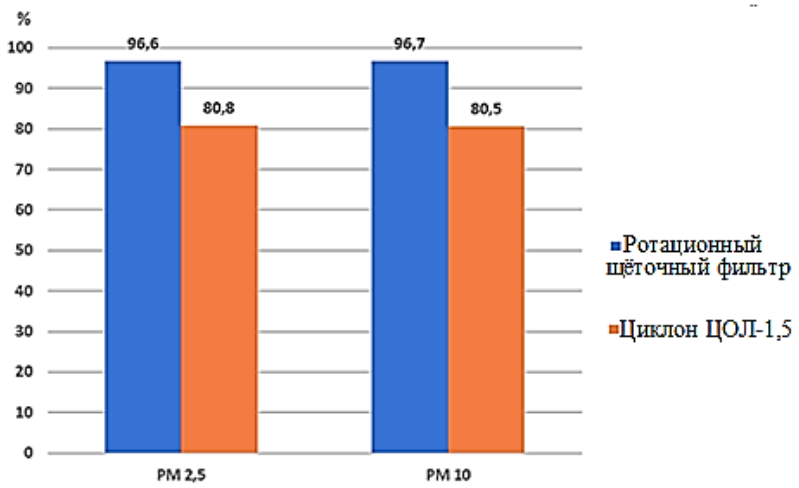


Рисунок 2 – Эффективность очистки воздуха от зерновой пыли для циклона ЦОЛ-1,5 и ротационного щёточного фильтра

Одной из ключевых задач при проектировании систем аспирации на зерноперерабатывающих предприятиях является обеспечение соответствия качества воздуха санитарно-гигиеническим нормативам, поскольку длительное воздействие высоких концентраций зерновой пыли может приводить к развитию профессиональных заболеваний органов дыхания. Согласно СанПиН 1.2.3685-21, для взвешенных частиц PM10 и PM2.5 установлены следующие нормативы: максимальная разовая ПДК – 0,3 и 0,16 мг/м^3, среднесуточная – 0,06 и 0,035 мг/м^3 соответственно. Проведя сравнительную оценку результатов экспериментальных исследований с ПДК по фракциям PM10 и PM2.5 показала, что циклон ЦОЛ-1,5 не обеспечивает требуемого уровня очистки воздуха в соответствии с санитарно-гигиеническими нормативами по фракции. При использовании циклона ЦОЛ-1,5 остаточная концентрация размерностью PM10 в 3,8 раза превышает ПДК максимально разовую, а по фракции PM2,5 превышает среднесуточную ПДК в 1,5 раза.

Использование ротационного щёточного фильтра позволяет достичь выполнение допустимого уровня запыленности воздуха рабочей зоны, как по максимально разовой ПДК, так и среднесуточной, при удалении

наиболее опасных частиц пылевой взвеси фракции PM2,5. Но, при удалении взвешенных частиц PM10, остаточная концентрация превышает среднесуточный норматив, но укладывается в максимально разовый.

Полученные данные подтверждают, что традиционные циклоны, несмотря на свою распространённость, не обеспечивают требуемой степени очистки воздуха от мелкодисперсных фракций зерновой пыли. Для частиц размером менее 10 мкм эффективность циклонов резко снижается из-за недостаточной центробежной силы и вторичного уноса осаждённого материала, что в представленных экспериментальных результатах проявилось в остаточных концентрациях, значительно превышающих санитарно-гигиенические нормативы, особенно по среднесуточным показателям. Ротационный щёточный фильтр, напротив, показал стабильно высокую эффективность – более 96 % для обеих фракций, что объясняется механизмом инерционного осаждения на ворс щёток с последующим механическим удалением частиц антистатическими гребнями, предотвращающим вторичный вынос пыли. Особенно важно, что по фракции PM2.5 остаточная концентрация после ротационного щёточного фильтра, не только соответствует максимальной разовой, но и среднесуточной ПДК, что критично для защиты здоровья работников, поскольку именно мелкие частицы способны проникать в альвеолы лёгких и вызывать профессиональные заболевания. Вместе с тем по фракции PM10 остаточная концентрация, хотя и укладывается в максимально разовый норматив, превышает среднесуточную ПДК в 3,2 раза, что указывает на необходимость дополнительной доочистки при длительном воздействии. Перспективным направлением видится интегрирование ротационного щёточного фильтра в действующие фильтрационные устройства, используемые при послеуборочной обработке зерна, для достижения полного соответствия всем нормативам. Таким образом, экспериментально доказана принципиальная возможность применения

ротационного щёточного фильтра в системах аспирации зерноперерабатывающих предприятий, однако для его промышленного внедрения требуется решение задачи по доведению остаточной концентрации PM10 до среднесуточной ПДК, что станет предметом дальнейших исследований.

Заключение. Проведённые экспериментальные исследования подтверждают высокий потенциал применения ротационного щёточного фильтра в системах аспирации зерноочистительных машин на сельскохозяйственных предприятиях в качестве эффективного средства борьбы с запылённостью воздуха. Полученные данные убедительно демонстрируют, что разработанное устройство не только превосходит традиционный циклон по степени очистки, но и обеспечивает стабильные результаты при улавливании мелкодисперсных фракций. Так, эффективность очистки циклона ЦОЛ-1,5 составила 80,8 % для PM2,5 и 80,5 % для PM10, тогда как ротационный щёточный фильтр показал 96,6 % и 96,7 % соответственно, что выше на 15,8 и 16,2 процентных пунктов.

Это позволяет рекомендовать разработанный фильтр для использования на зерноперерабатывающих предприятиях, где требуется высокая степень обеспыливания воздуха в рабочей зоне. Его внедрение будет способствовать соблюдению требований СанПиН, сокращению риска производственного травматизма и повышению общей безопасности технологического процесса.

Список литературы

1. Агашков, Е. М. Исследование запылённости воздуха комбикормового предприятия при приёмке пшеницы / Е. М. Агашков, Т. И. Белова, К. И. Портнова // Вестник аграрной науки Дона. – 2024. – Т. 17, № 3 (67). – С. 97-109.

2. Белова, Т. И. Современные способы дисперсного анализа пыли при производстве комбикормов / Т. И. Белова, Е. М. Агашков, С. Н. Камовский // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2 (102). – С. 72-77.

3. Белова, Т. И. Выбор технологических параметров регулирования запылённости воздуха приёмного пункта комбикормового производства / Т. И. Белова, Е. М. Агашков, К. И. Портнова, М. Е. Барышева // Вестник МАНЭБ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 61-68.

4. Капбасова, Г. А. Пылеобразование в атмосфере рабочей зоны и производительность очистного оснащения / Г. А. Капбасова // Наука и реальность. – 2020. – № 1. – С. 57-60.

5. Ливанов, К. А. Использование критерия Манна-Уитни для оценки различий между двумя независимыми выборками / К. А. Ливанов, Е. А. Жбанов, С. Ф. Катержина // Молодежь и наука: шаг к успеху : сборник научных статей 7-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 21–22 марта 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 97-102.

6. Оробинский, В. И. К вопросу повышения эффективности пылеулавливания при переработке зернового вороха / В. И. Оробинский, А. С. Корнев, П. А. Скуридин, Н. А. Бондаренко // Теория и практика инновационных технологий в АПК : материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 14–19 мая 2026 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2026. – С. 358-365.

7. Оробинский, В. И. К вопросу проблематики пылеобразования в процессе послеуборочной обработки зерна на стационарных и передвижных зерноочистительных комплексах / В. И. Оробинский, А. С. Корнев, П. А. Скуридин, Н. А. Бондаренко // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 29 января 2026 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2026.

8. Оробинский, В. И. Оценка запылённости воздуха в процессе послеуборочной обработки на действующем сельскохозяйственном предприятии / В. И. Оробинский, А. С. Корнев, П. А. Скуридин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 18, № 3 (86). – С. 33-37.

9. Патент на полезную модель № 235302 U1 Российская Федерация, МПК A01F 12/54. Устройство для очистки воздуха от зерновой пыли: заявл. 24.03.2025: опубл. 30.06.2025 / А. С. Корнев, В. И. Оробинский, П. А. Скуридин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I.

10. Родионцев, И. А. К проблеме определения концентрации пыли зерновой в промышленных выбросах в атмосферу / И. А. Родионцев, С. М. Пономаренко, В. И. Кондратьева, Н. Н. Родионцева // Научный альманах. – 2024. – № 11-5 (121). – С. 110-113.

11. Титенок, А. В. Обеспечение устойчивости работы зерновых элеваторов / А. В. Титенок, А. В. Амелин, Е. Н. Каценко // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 4 (80). – С. 36-51.

12. Study of the Process of Purifyiog Grain from Light Impurities aod Dust / Ye. Medvedkov, A. Ostrikov, A. Askarov [et al.] // Труды университета. – 2022. – No. 2(87). – P. 23-30.

13. Tian, Ch. A review of grain dust explosions: Prevention and control / Ch. Tian, Z. Yang, L. Zhang // Results in Engineering. – 2025. – Vol. 26. – P. 105483.

References

1. Agashkov, E. M. Issledovanie zapylennosti vozdukha kombikormovogo predpriyatiya pri priemke pshenitsy / E. M. Agashkov, T. I. Belova, K. I. Portnova // Vestnik agrarnoi nauki Dona. – 2024. – T. 17, № 3 (67). – S. 97–109.

2. Belova, T. I. Sovremennye sposoby dispersnogo analiza pyli pri proizvodstve kombikormov / T. I. Belova, E. M. Agashkov, S. N. Kamovskii // Vestnik Bryanskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2024. – № 2 (102). – S. 72–77.

3. Belova, T. I. Vybor tekhnologicheskikh parametrov regulirovaniya zapylennosti vozdukha priemnogo punkta kombikormovogo proizvodstva / T. I. Belova, E. M. Agashkov, K. I. Portnova, M. E. Barysheva // Vestnik MANEB. – 2025. – T. 30, № 3. – S. 61–68.

4. Kapbasova, G. A. Pyleobrazovanie v atmosfere rabochei zony i proizvoditel'nost' ochistnogo osnashcheniya / G. A. Kapbasova // Nauka i real'nost'. – 2020. – № 1. – S. 57–60.

5. Livanov, K. A. Ispol'zovanie kriteriya Manna-Uitni dlya otsenki razlichii mezhdu dvumya nezavisimymi vyborkami / K. A. Livanov, E. A. Zhbanov, S. F. Katerzhina // Molodezh' i nauka: shag k uspekhu : sbornik nauchnykh statei 7-i Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh, Kursk, 21–22 marta 2024 goda. – Kursk : ZAO «Universitetskaya kniga», 2024. – S. 97–102.

6. Orobinskii, V. I. K voprosu povysheniya effektivnosti pyleulavlivaniya pri pererabotke zernovogo vorokha / V. I. Orobinskii, A. S. Kornev, P. A. Skuridin, N. A. Bondarenko // Teoriya i praktika innovatsionnykh tekhnologii v APK : materialy natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Voronezh, 14–19 maya 2026 goda. – Voronezh : Voronezhskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. Imperatora Petra I, 2026. – S. 358–365.

7. Orobinskii, V. I. K voprosu problematiki pyleobrazovaniya v protsesse posleuborochnoi obrabotki zerna na statsionarnykh i peredvizhnykh zernoochistitel'nykh kompleksakh / V. I. Orobinskii, A. S. Kornev, P. A. Skuridin, N. A. Bondarenko // Tendentsii razvitiya tekhnicheskikh sredstv i tekhnologii v APK : materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Voronezh, 29 yanvarya 2026 goda. – Voronezh : Voronezhskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. Imperatora Petra I, 2026.

8. Orobinskii, V. I. Otsenka zapylennosti vozdukha v protsesse posleuborochnoi obrabotki na deistvuyushchem sel'skokhozyaistvennom predpriyatii / V. I. Orobinskii, A. S. Kornev, P. A. Skuridin // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2025. – T. 18, № 3 (86). – S. 33–37.

9. Patent na poleznuyu model' № 235302 U1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A01F 12/54. Ustroistvo dlya ochistki vozdukha ot zernovoi pyli: zayavl. 24.03.2025: opubl. 30.06.2025 / A. S. Kornev, V. I. Orobinskii, P. A. Skuridin; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya Voronezhskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni imperatora Petra I.

10. Rodiontsev, I. A. K probleme opredeleniya kontsentratsii pyli zernovoi v promyshlennykh vybrosakh v atmosferu / I. A. Rodiontsev, S. M. Ponomarenko, V. I. Kondrat'eva, N. N. Rodiontseva // Nauchnyi al'manakh. – 2024. – № 11-5 (121). – S. 110–113.

11. Titenok, A. V. Obespechenie ustoichivosti raboty zernovykh elevatorov / A. V. Titenok, A. V. Amelin, E. N. Katsenko // Vestnik Bryanskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2020. – № 4 (80). – S. 36–51.

12. Study of the Process of Purifying Grain from Light Impurities and Dust / Ye. Medvedkov, A. Ostrikov, A. Askarov [et al.] // Trudy universiteta. – 2022. – No. 2(87). – P. 23–30.

13. Tian, Ch. A review of grain dust explosions: Prevention and control / Ch. Tian, Z. Yang, L. Zhang // Results in Engineering. – 2025. – Vol. 26. – P. 105483.