

УДК 621.928

UDC 621.928

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

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ФИЛЬТРОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

USE OF A MULTI-VORTEX SEPARATOR TO EXTEND FILTER SERVICE LIFE IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Биккулов Рустем Ядкарович
Канд. техн. наук
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Bikkulov Rustem Yadkarovich
Cand.Tech.Sci.
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Якимов Николай Дмитриевич
Д-р физ.-мат. наук, профессор
SPIN – код автора: 2960-4372
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Yakimov Nikolay Dmitrievich
Dr.Sci.Phys.-Math., Professor
RSCI SPIN-code: 2960-4372
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Большаков Игорь Александрович
Аспирант
Казанский государственный энергетический университет

Bolshakov Igor Alexandrovich
Postgraduate Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

В статье рассматривается проблема повышения эффективности очистки воздуха на предприятиях агропромышленного комплекса путём использования мультिवихревого сепаратора. Особое внимание уделено исследованию влияния этого устройства на продление срока службы фильтров при различных уровнях аэрозольного загрязнения. Отмечается, что процесс улавливания пылевых и иных твёрдых примесей в сельскохозяйственном производстве критически важен для поддержания надлежащих условий труда и сохранения работоспособности оборудования. Главная задача, поставленная в исследовании, заключалась в определении, насколько эффективно мультिवихревое устройство снижает нагрузку на основные фильтрационные элементы. С этой целью были проанализированы результаты промышленных испытаний, в ходе которых измерялась масса осадка на фильтрах до и после длительной эксплуатации. Показано, что при низкой эффективности сепарации выигрыш во времени работы фильтров минимален, тогда как при повышенных значениях коэффициента улавливания достигается многократное увеличение срока их службы. Отдельно подчёркивается необходимость изучения вихревых структур, возникающих в квадратных каналах сепаратора. Неустойчивые завихрения в угловых участках могут оказывать заметное влияние на равномерность осаждения и тем самым требовать дополнений в конструктивные решения

The article addresses the issue of improving air purification efficiency in agro-industrial enterprises through the use of a multi-vortex separator. Particular attention is paid to studying the impact of this device on extending the service life of filters under various levels of aerosol contamination. It is noted that capturing dust and other solid impurities in agricultural production is critically important for maintaining proper working conditions and ensuring the operability of equipment. The primary objective of this study was to determine how effectively the multi-vortex device reduces the load on the main filtration elements. For this purpose, the results of industrial tests were analyzed, during which the mass of sediment on the filters was measured before and after prolonged operation. It was shown that at low separation efficiency, the gain in filter operating time is minimal, whereas at higher capture efficiency, the filter lifespan increases significantly. A particular emphasis is placed on studying vortex structures arising in square separator channels. Unstable vortices in corner sections can significantly affect the uniformity of particle deposition, thereby necessitating modifications to the design solutions

Ключевые слова: АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС; МУЛЬТИВИХРЕВОЙ СЕПАРАТОР; ОЧИСТКА ВОЗДУХА; ПЫЛЕВЫЕ ЧАСТИЦЫ; ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕПАРАЦИИ; СРОК СЛУЖБЫ ФИЛЬТРА; ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ

Keywords: AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX; MULTI-VORTEX SEPARATOR; AIR PURIFICATION; DUST PARTICLES; SEPARATION EFFICIENCY; FILTER SERVICE LIFE; VORTEX STRUCTURES

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-207-041>

Введение. В современных условиях развития агропромышленного комплекса всё большее внимание уделяется технологиям, способным обеспечить высокую производительность и одновременно снизить негативное воздействие на окружающую среду. Одним из ключевых факторов, влияющих на результативность производственных процессов в сельскохозяйственном секторе, является своевременная и качественная очистка воздуха или газовых потоков от пылевидных и аэрозольных примесей. Подобные примеси, возникающие при работе с зерном, кормами, удобрениями и другими материалами, ухудшают условия труда, негативно сказываются на здоровье персонала и могут приводить к выходу из строя дорогостоящего оборудования.

В целях снижения эксплуатационных затрат и продления срока службы фильтрационных систем всё чаще применяются устройства дополнительной очистки. Среди них выделяются мультिवихревые сепараторы, основанные на создании искусственных вихрей в каналах специальной геометрии. За счёт направленного воздействия центробежных сил такая конструкция способна улавливать значительную часть частиц, предотвращая тем самым преждевременное засорение основных фильтров.

Реализация мультिवихревых аппаратов приобретает особую актуальность в условиях агропромышленных предприятий, где наблюдается интенсивный поток пылевых фракций. Отсутствие должного уровня предварительной очистки снижает эффективность работы вентиляции, повышает риск взрывоопасных ситуаций при скоплении

<http://ej.kubagro.ru/2025/03/pdf/41.pdf>

мелкой органической пыли, а также ведёт к частым остановкам для замены фильтров.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Специалисты отмечают, что классические циклоны и их производные, используемые в промышленности, нередко демонстрируют недостаточную эффективность при работе с мелкодисперсными частицами. Это особенно актуально для агропромышленных предприятий, где распространены аэрозольные и пылевые загрязнения небольших размеров (частицы почвы, частички удобрений, фрагменты органического происхождения). Указанные вещества не только снижают производительность технологических линий, но и представляют опасность для здоровья персонала, а при определённых условиях способны стать причиной взрывоопасных ситуаций.

На сегодняшний день в публикуемых исследованиях всё чаще рассматриваются инновационные конструкции, позволяющие повысить степень очистки воздушных потоков без существенного увеличения габаритов и энергозатрат. Среди наиболее перспективных решений выделяют мультивихревые сепараторы, где поток воздуха разделяется на несколько вихревых каналов с организованной циркуляцией. Подобная схема даёт возможность добиться более полного осаждения частиц, поскольку за счёт многократного воздействия центробежных сил улавливается крупная и средняя фракция, а часть более мелких частиц задерживается при повторных проходах по замкнутым траекториям.

Несмотря на повышенный интерес к такому типу устройств, в научной литературе до сих пор сохраняется дефицит фундаментальных и прикладных работ, посвящённых детальному анализу и оптимизации вихревых структур внутри квадратных каналов. В реальных производственных условиях возникают сложности с прогнозированием поведения частиц, особенно если речь идёт о неоднородной пылевой

среде. В связи с этим актуальной научно-технической задачей остаётся исследование механизмов формирования вихрей в подобных сепараторах и оценка факторов, влияющих на степень улавливания загрязнений в агропромышленном производстве.

В работе [1] описан мультивихревой сепаратор с квадратными каналами, в котором такие неустойчивые завихрения были зафиксированы опытным путём. Детальный учёт данных факторов позволит повысить пропускную способность, сократить эксплуатационные простои и обеспечить более качественную фильтрацию воздушных потоков на предприятиях АПК. Таким образом, изучение мультивихревых механизмов и их применение в сельскохозяйственной индустрии представляют значимый интерес с точки зрения как экономической выгоды, так и экологической безопасности.

Цель исследований. Цель настоящего исследования – оценить, как изменяется продолжительность эксплуатации фильтрующих элементов в зависимости от эффективности работы мультивихревого сепаратора при условии, что он является предварительной ступенью очистки, и концентрации дисперсных частиц в потоке. Рассматриваются два уровня загрязнения воздуха ($10 \cdot 10^{-6}$ кг/м³ и $15 \cdot 10^{-6}$ кг/м³) с целью выявить, насколько улавливающие свойства сепаратора влияют на реальный срок службы фильтров.

Материалы и методы исследований. При проведении исследования была использована методика, позволяющая комплексно учесть совокупность факторов, определяющих срок службы фильтров. Прежде всего анализировалась концентрация частиц в воздушном потоке до и после прохождения сепарационного устройства, что позволяло установить долю твёрдых включений, осаждённых в вихревых каналах. В качестве базовых данных выступали время работы фильтров при определённом уровне загрязнения и сведения о допустимой предельной

массе осадка, который может накапливаться на фильтрующих элементах без нарушения их нормальной работы.

Для определения эффективности сепаратора учитывалось, какая часть загрязняющих веществ успевает осесть в его вихревых модулях и, соответственно, не достигает фильтра основной ступени. Эта эффективность описывалась коэффициентом, отражающим процент улавливаемых частиц. При высоком значении данного коэффициента оставшийся на фильтре осадок возрастал значительно медленнее, чем при работе без сепаратора, что продлевало общий ресурс фильтрующего материала.

Отдельное внимание уделялось геометрии квадратных каналов сепаратора, поскольку в угловых участках могут образовываться вторичные вихри, способные оказывать заметное влияние на общий процесс осаждения. Понимание механизма их возникновения и дальнейшее совершенствование формы каналов позволят повысить степень фильтрации и уменьшить возможные застойные зоны.

Таким образом, предложенная методика позволила учесть весь комплекс взаимосвязей между концентрацией пылевых включений, нагрузкой на фильтр и параметрами мультивихревого сепаратора. Это даёт основания для более точной оценки экономической выгоды при внедрении подобных устройств в агропромышленную отрасль.

Результаты исследований. Анализ полученных данных продемонстрировал заметный рост срока эксплуатации фильтров при увеличении эффективности сепаратора. К примеру, при низких значениях коэффициента эффективности около 0,2 дополнительное время работы составляло около восьми дней, независимо от того, насколько велика исходная концентрация твёрдых примесей. Однако с увеличением эффективности до промежуточных значений 0,5-0,7 срок службы заметно возрастал и мог достигать нескольких месяцев.

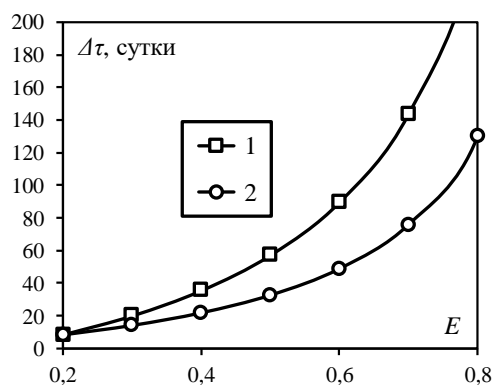


Рисунок 1 – Влияние увеличения времени работы фильтра в зависимости от эффективности работы сепарационного устройства и концентрации частиц в потоке. c_0 , кг/м^3 : 1 – $10 \cdot 10^{-6}$, 2 – $15 \cdot 10^{-6}$

В случае, когда показатель эффективности сепарации приближался к 0,8-0,9, наблюдался ещё более значительный скачок в увеличении продолжительности эксплуатации – фильтры сохраняли работоспособность вплоть до двухсот и более дней. Наибольший же эффект фиксировался при приближении эффективности к 0,99, когда фильтры могли работать многие годы, поскольку объём частиц, достигавших фильтра, оказывался минимальным (рис. 1).

При сравнении двух различных концентраций твёрдых включений становилось очевидно, что более загруженный аэрозольный поток $15 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ значительно сокращал общий срок службы фильтра. Тем не менее даже при таком высоком уровне загрязнения установка мультивихревого сепаратора позволяла продлить эксплуатационный период в разы.

Таким образом, благодаря созданию нескольких вихревых зон внутри каналов удавалось улавливать существенную долю частиц, разгружая основную фильтрационную ступень. Это проявлялось в более чем кратном увеличении времени до замены фильтров и, следовательно, способствовало сокращению эксплуатационных затрат и повышению производительности всего производственного цикла в агропромышленном комплексе.

Выводы. 1. Введение мультивихревого сепаратора в агропромышленные системы очистки воздуха способно существенно продлить срок службы фильтров, особенно при интенсивном пылении или аэрозольном загрязнении. 2. При увеличении эффективности сепарации с низких до высоких показателей наблюдается экспоненциальный рост периода эксплуатации фильтрующих элементов, что обеспечивает значительное сокращение расходов на замену расходных материалов. 3. Особенности геометрии каналов, в частности квадратная форма, приводят к возникновению неустойчивых завихрений в углах, требующих дополнительного изучения для ещё большей оптимизации сепарационного процесса.

Библиографический список

1. Определение расчетной скорости газового потока в фильтрах грубой и тонкой очистки при различной степени загрязненности в окрасочных камерах / В. Э. Зинуров, Р. Я. Биккулов, А. В. Дмитриев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 3-12.

References

1. Opredelenie raschetnoj skorosti gazovogo potoka v fil'trah gruboj i tonkoj ochistki pri razlichnoj stepeni zagraznennosti v okrasochnyh kamerah / V. Je. Zinurov, R. Ja. Bikkulov, A. V. Dmitriev [i dr.] // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki. – 2022. – T. 24, № 5. – S. 3-12.