

УДК 338.583

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы экономики (физико-математические науки, экономические науки)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЕПАРАТОРА С КОАКСИАЛЬНЫМИ ТРУБАМИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Хамитова Динара Вилевна

Канд. техн. наук, доцент

SPIN – код автора: 7877-0874

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Разакова Карина Ирековна

Студент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

В работе предложено решение, направленное на оптимизацию эксплуатации фильтрационных установок в аграрном секторе за счёт использования инновационного сепарационного устройства с коаксиальной конфигурацией труб. Данная конструкция формирует устойчивую вихревую структуру воздушного потока, позволяющую на раннем этапе отделять мелкодисперсные частицы, снижая тем самым нагрузку на элементы тонкой очистки. Проведено технико-экономическое обоснование целесообразности использования устройства с точки зрения эксплуатационных затрат. В рамках исследования произведён расчет ключевых инвестиционных показателей — чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и индекса доходности (PI) — при сроке службы 10 лет, ставке дисконтирования 16% и трёх уровнях годового экономического эффекта: 60, 90 и 120 тыс. руб. в год. Расчёты показали, что устройство окупается при всех вариантах сценария, при этом наиболее высокая эффективность достигается при максимальной доходности, где PI составил 2,32. Полученные результаты подтверждают экономическую обоснованность применения вихревых технологий в аграрной отрасли, а также их потенциал в снижении эксплуатационных издержек и продлении межсервисных интервалов оборудования

Ключевые слова: ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, СЕПАРАТОР, КОАКСИАЛЬНЫЕ ТРУБЫ, ИНДЕКС ДОХОДНОСТИ, ЧДД, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, ФИЛЬТРАЦИЯ, ВИХРЕВАЯ СТРУКТУРА

UDC 338.583

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods of economics (physical and mathematical sciences, economic sciences)

ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF USING A SEPARATOR WITH COAXIAL PIPES IN AGRO-INDUSTRIAL PRODUCTION

Khamitova Dinara Vilevna

Cand.Tech.Sci., associate professor

RSCI SPIN-code: 7877-0874

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Razakova Karina Irekovna

Student

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

The study proposes a solution aimed at optimizing the operation of filtration systems in the agricultural sector through the use of an innovative separation device with a coaxial tube configuration. This design creates a stable vortex airflow structure that enables early-stage separation of fine particles, thereby reducing the load on fine filtration components. A techno-economic justification for the implementation of the device is provided, focusing on its impact on operational cost reduction. As part of the study, key investment performance indicators—Net Present Value (NPV) and Profitability Index (PI)—were calculated based on a 10-year service life, a 16% discount rate, and three levels of annual economic benefit: 60,000; 90,000; and 120,000 rubles. The results showed that the device achieves payback under all scenarios, with the highest efficiency observed at the maximum income level, where the PI reached 2.32. These findings confirm the economic viability of applying vortex-based technologies in the agricultural industry and highlight their potential to reduce operational costs and extend the maintenance intervals of filtration equipment

Keywords: ECONOMIC EFFICIENCY, SEPARATOR, COAXIAL TUBES, PROFITABILITY INDEX, NET PRESENT VALUE (NPV), AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX, FILTRATION, VORTEX STRUCTURE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-208-039>

Введение. Современные тенденции в развитии агропромышленного комплекса диктуются необходимостью не только увеличения объёмов производства, но и повышения устойчивости технологических процессов к внешним и внутренним факторам, влияющим на их экономическую эффективность. На фоне растущей автоматизации и усложнения оборудования, одной из значимых проблем остаётся поддержание чистоты воздушных потоков и газовых сред, участвующих в различных стадиях агропроизводства. Загрязнение фильтрационных систем мелкодисперсными частицами, характерное для зерносушильных установок, очистных станций и линий первичной переработки продукции, приводит к преждевременному износу фильтрующих элементов, снижению эффективности фильтрации и росту эксплуатационных затрат.

В аграрной технике, где стабильность процессов напрямую связана с сезонностью и плотным графиком эксплуатации оборудования, даже незначительное снижение ресурса фильтрационных систем может привести к сбоям и незапланированным простоям. Особую актуальность приобретает проблема предотвращения преждевременного засорения фильтров, стоимость которых может достигать значительных величин. В ответ на эти вызовы отрасль нуждается в технических решениях, способных выполнять предварительную очистку воздушных потоков от твёрдых включений на ранней стадии, ещё до их попадания в основную фильтрационную систему.

Одним из инновационных направлений в этой области является внедрение устройств, в которых используется принцип вихревой сепарации частиц в межтрубном пространстве [1]. Конструкция сепаратора с коаксиально расположенными трубами позволяет создать устойчивое закрученное движение потока, в результате чего центробежные силы эффективно выталкивают твёрдые частицы из центрального воздушного

<http://ej.kubagro.ru/2025/04/pdf/39.pdf>

канала. Данное решение, в отличие от традиционных циклонических устройств, может быть реализовано в компактной форме и адаптировано под конкретные задачи сельскохозяйственного производства.

Разработка и применение подобных конструкций требуют не только инженерной проработки, но и всесторонней экономической оценки их целесообразности. В этой связи обоснование экономической эффективности применения сепаратора с коаксиальными трубами представляет собой актуальное направление научного исследования, имеющее прикладной характер и значительный потенциал для широкого внедрения в производственные процессы АПК.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Накопленный практический опыт в сельском хозяйстве свидетельствует о том, что загрязнение воздушной среды мелкодисперсными частицами – пылью, остатками кормов, органическими включениями – оказывает существенное влияние на работоспособность оборудования, снижает его КПД и увеличивает потребность в техническом обслуживании. В частности, системы тонкой фильтрации, применяемые в зерносушильных установках, кормоцехах, животноводческих комплексах и других производственных объектах, подвержены ускоренному износу и требуют регулярной замены дорогостоящих фильтрующих элементов.

Классическим решением является применение каскадных систем очистки воздуха, включающих грубые и тонкие фильтры, а также циклонные сепараторы. Однако циклоны имеют ограничения в эффективности при работе с мелкодисперсными фракциями (размером менее 20–40 мкм), что снижает их универсальность. Кроме того, значительные габариты и энергоёмкость таких систем не всегда позволяют интегрировать их в компактные технологические схемы.

На этом фоне растёт интерес к инновационным техническим решениям, основанным на управлении потоком за счёт создания

искусственно индуцированных вихревых структур. Одним из таких решений являются сепараторы с коаксиальными трубами, в которых за счёт конфигурации каналов формируется устойчивое вихревое движение воздуха. Центробежные силы, возникающие при этом, обеспечивают эффективное удаление твёрдых частиц до момента их попадания в тонкие фильтры. Такие конструкции отличаются простотой, компактностью, низким энергопотреблением и потенциальной возможностью тонкой настройки под конкретные производственные задачи.

Несмотря на растущий интерес к данным устройствам, в научной и технической литературе преобладает акцент на гидро- и аэродинамическую составляющую работы вихревых сепараторов, в то время как вопросы их экономической эффективности остаются малоизученными. Отсутствие системных оценок рентабельности внедрения таких устройств затрудняет принятие управленческих решений на уровне предприятий АПК, особенно в условиях ограниченных инвестиционных ресурсов.

Таким образом, исследование, направленное на количественную оценку экономических показателей – в частности, чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и индекса доходности (PI) – при внедрении сепараторов с коаксиальными трубами, является актуальным и своевременным. Оно может стать основой для обоснованного расширения применения вихревых технологий в аграрном секторе и повышения технологической устойчивости сельхозпроизводства.

Цель исследований. Оценка экономической эффективности применения сепаратора с коаксиальными трубами в агропромышленном производстве.

Материалы и методы исследований. Исследование посвящено оценке экономической эффективности внедрения инновационного сепаратора с коаксиальными трубами в технологические процессы

агропромышленного комплекса. Особенность конструкции данного устройства заключается в формировании устойчивых вихревых потоков в межтрубном пространстве, за счёт которых достигается эффективное отделение мелкодисперсных частиц до их попадания в фильтрующие элементы тонкой очистки.

Для проведения экономического анализа были приняты следующие исходные параметры. Срок службы устройства установлен на уровне десяти лет. Объем начальных капитальных вложений на реализацию проекта составил 250 тысяч рублей. В качестве ставки дисконтирования использовано значение 16%, соответствующее средним показателям доходности по инвестиционным проектам в сфере сельского хозяйства. Рассмотрены три сценария годового экономического эффекта, выраженного в виде денежного потока (Cash Flow): вариант №1 – 60 тыс. руб. в год, вариант №2 – 90 тыс. руб. в год, вариант №3 – 120 тыс. руб. в год.

Формирование годового денежного потока обусловлено тремя основными источниками экономии. Во-первых, за счёт снижения частоты замены фильтров с шести до двух раз в год, при стоимости одного комплекта в 30 тысяч рублей, удаётся достичь экономии около 120 тысяч рублей ежегодно. Во-вторых, за счёт уменьшения времени простоев оборудования на 5-10 часов в год, при стоимости одного часа простоя от 5 до 10 тысяч рублей, возможно получить дополнительный экономический эффект в размере 25-100 тысяч рублей. В-третьих, снижение трудозатрат на техническое обслуживание фильтрационных систем на 30-50% обеспечивает дополнительную экономию в размере 20–30 тысяч рублей ежегодно. Совокупно данные меры позволяют рассчитывать на экономический эффект от 150 до 250 тысяч рублей в год. Тем не менее, в целях проведения консервативной оценки были выбраны условные значения годового денежного потока: 60, 90 и 120 тыс. руб.

Для оценки эффективности инвестиционного проекта были рассчитаны два ключевых показателя. Первый – чистый дисконтированный доход (ЧДД), который характеризует накопленную приведённую прибыль за весь период эксплуатации устройства. Второй – индекс доходности (PI), отражающий отношение суммы дисконтированных поступлений к объёму первоначальных вложений, и, следовательно, уровень рентабельности проекта.

Результаты исследований. В первом варианте ($CF = 60$ тыс. руб.) проект начинает приносить положительный ЧДД лишь на 8-м году эксплуатации, а итоговый ЧДД составляет всего 39,99 тыс. руб. Индекс доходности на уровне 1,16 указывает на минимальную инвестиционную привлекательность проекта при низком уровне годовой экономии. Такой вариант может быть оправдан в условиях ограниченного бюджета или частичной реализации технического решения (табл. 1).

В сценарии со средним денежным потоком ($CF = 90$ тыс. руб.), проект выходит в положительную зону уже на 4-м году, а к завершению срока эксплуатации накапливает ЧДД в 184,99 тыс. руб. При этом индекс доходности составляет 1,74, что демонстрирует уверенную окупаемость вложений. Такой уровень доходности делает проект экономически обоснованным и интересным для большинства предприятий среднего уровня автоматизации.

Наиболее выгодным является третий вариант ($CF = 120$ тыс. руб.), при котором проект становится прибыльным уже на 3-м году эксплуатации, а к концу 10-летнего периода демонстрирует ЧДД в размере 329,99 тыс. руб. Индекс доходности достигает 2,32, что говорит о высокой рентабельности вложений. Такой уровень эффективности оправдывает внедрение рассматриваемого сепаратора как с экономической, так и с технологической точки зрения.

Результаты расчётов показали, что даже при минимальном уровне годового экономического эффекта (60 тыс. руб./год) проект окупается, хотя и с низким уровнем инвестиционной привлекательности ($PI = 1,16$). При среднем и высоком уровне доходности (90 и 120 тыс. руб./год соответственно) проект демонстрирует устойчивую положительную динамику ЧДД, с выходом на безубыточность уже на 3–4 году эксплуатации, и индексами доходности 1,74 и 2,32 соответственно.

Таблица 1 – Расчет ЧДД и PI

Год	ЧДД, тыс. руб. (Вариант № 1, CF = 60 тыс. руб./год)	ЧДД, тыс. руб. (Вариант № 2, CF = 90 тыс. руб./год)	ЧДД, тыс. руб. (Вариант № 3, CF = 120 тыс. руб./год)
1	-198,28	-172,41	-146,55
2	-153,69	-105,53	-57,37
3	-115,25	-47,87	19,51
4	-82,11	1,84	85,78
5	-53,54	44,69	142,92
6	-28,92	81,63	192,17
7	-7,69	113,47	234,63
8	10,62	140,92	271,23
9	26,39	164,59	302,79
10	39,99	184,99	329,99
Индекс доходности (PI)	1,16	1,74	2,32

Таким образом, рассмотренное техническое решение не только снижает эксплуатационные расходы на обслуживание фильтрующих систем, но и обеспечивает возврат инвестиций в обозримом временном горизонте. Это подтверждает целесообразность внедрения сепаратора с

коаксиальными трубами на предприятиях агропромышленного комплекса с целью повышения энергоэкономической эффективности технологических процессов.

Выводы. 1. Расчёты показали, что проект является экономически целесообразным при всех рассматриваемых уровнях годового денежного потока, включая минимальный сценарий в 60 тыс. руб./год. 2. Наиболее высокая инвестиционная привлекательность достигается при годовом эффекте от 120 тыс. руб., при котором индекс доходности составляет 2,32, а срок окупаемости – менее 3 лет.

В перспективе планируется выполнить углублённый анализ жизненного цикла устройства, включающий оценку затрат на обслуживание, утилизацию и повторное использование компонентов, что позволит более точно определить его экономическую и экологическую устойчивость. Также целесообразно рассмотреть масштабируемость технологии и возможность серийного производства с учётом рыночных факторов и потенциала её внедрения в другие отрасли, где требуется предварительная очистка воздушной среды.

Библиографический список

1. Прец, М. А. Численное исследование процесса разделения мелкодисперсных частиц в центробежном классификаторе при варьировании геометрических параметров / М. А. Прец, А. Ф. Зиангиров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 205. – С. 257-265.

References

1. Prec, M. A. Chislennoe issledovanie processa razdelenija melkodispersnyh chastic v centrobezhnom klassifikatore pri var'irovanii geometricheskikh parametrov / M. A. Prec, A. F. Ziangirov // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2025. – № 205. – S. 257-265.