

УДК 621.928.6

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

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ С СЕПАРАЦИОННЫМ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Зинуров Вадим Эдуардович

Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 1564-3438

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Чернова Олеся Станиславовна

Студент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Агропромышленный комплекс сталкивается с необходимостью повышения эффективности очистки газовых потоков от твердых частиц, возникающих в процессе переработки продукции. Сепарационные устройства являются важной частью этой задачи, однако их конструктивные особенности требуют дальнейшего совершенствования для соответствия экологическим стандартам и повышения эффективности производственных процессов. В статье представлена экспериментальная установка, включающая лабораторный модуль с сепаратором, воздуходувку, ресивер и измерительные устройства для анализа потоков. Численное моделирование проводилось в среде Ansys Fluent для детального изучения поведения частиц в турбулентных потоках. Моделирование осуществлялось с использованием уравнений Навье-Стокса для описания турбулентных режимов с применением модели напряжений Рейнольдса (RSM), что позволило точно воспроизвести закрученные потоки газа внутри установки. Дискретная фазовая модель (DPM) использовалась для отслеживания траекторий частиц и оценки их осаждения в экспериментальной установке. Результаты численного моделирования показали, что при скорости входного потока 2,25 м/с крупные частицы диаметром более 75 мкм не достигали сепаратора, что также было подтверждено в ходе экспериментов. Моделирование выявило ключевые зоны завихрений и распределение скоростей газового потока, что способствует лучшему пониманию поведения частиц внутри установки.

Ключевые слова: ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ,

UDC 621.928.6

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

VISUALIZATION OF PARTICLE MOTION IN AN EXPERIMENTAL SETUP WITH A SEPARATION DEVICE FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Zinurov Vadim Eduardovich

Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 1564-3438

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Chernova Olesia Stanislavovna

Student

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

The agro-industrial complex faces the need to improve the efficiency of cleaning gas flows from solid particles that arise during the processing of products. Separation devices are an important part of this task; however, their design features require further improvement to meet environmental standards and increase the efficiency of production processes. The article presents an experimental setup, which includes a laboratory module with a separator, a blower, a receiver, and measuring devices for analyzing flows. Numerical modeling was carried out in the Ansys Fluent environment for a detailed study of particle behavior in turbulent flows. The modeling was based on solving the Navier-Stokes equations to describe turbulent regimes, using the Reynolds Stress Model (RSM), which allowed for accurate reproduction of swirling gas flows inside the setup. The Discrete Phase Model (DPM) was used to track particle trajectories and assess their deposition in the experimental setup. The results of numerical modeling showed that at an inlet flow velocity of 2.25 m/s, large particles with a diameter of more than 75 μm did not reach the separator, which was also confirmed by experiments. The modeling identified key vortex zones and the distribution of gas flow velocities, contributing to a better understanding of particle behavior within the setup.

Keywords: VISUALIZATION OF PARTICLE MOTION, EXPERIMENTAL SETUP,

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА,
СЕПАРАТОР, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ
КОМПЛЕКС, ТУРБУЛЕНТНЫЕ ПОТОКИ,
ЗАВИХРЕНИЯ, СЕПАРАЦИЯ ТВЕРДЫХ
ЧАСТИЦ

SEPARATOR, AGRICULTURAL INDUSTRY,
TURBULENT FLOWS, VORTICES,
SEPARATION OF SOLID PARTICLES

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-202-010>

Введение. Агропромышленный комплекс (АПК) требует внедрения передовых технологий, которые не только повышают эффективность производства, но и минимизируют его негативное воздействие на окружающую среду. Одной из актуальных проблем в агропромышленном производстве является необходимость очистки газовых выбросов от твердых частиц, которые образуются в процессе переработки сельскохозяйственной продукции. В условиях ужесточения экологических норм и стандартов становится критически важным использование высокоэффективных сепарационных устройств для очистки воздушных потоков. Такие устройства способны существенно снизить выбросы пыли и других твердых частиц, улучшая экологическую обстановку на производственных предприятиях.

Современные сепарационные технологии, основанные на различных физических принципах (гравитация, инерция, электростатика и т. д.), позволяют эффективно удалять твердые частицы из газовых потоков, что особенно важно для предприятий агропромышленного комплекса, где требуется соблюдение строгих санитарных норм и поддержание высокого уровня чистоты воздуха.

Для предприятий, занятых переработкой сельскохозяйственной продукции, очистка воздушных потоков становится важной задачей в связи с постоянным увеличением объемов производства и соответствующим ростом объемов выбросов. Применение эффективных сепарационных технологий позволяет не только улучшить условия труда и здоровье работников, но и обеспечить соответствие строгим экологическим нормативам, которые становятся все более жесткими как на

<http://ej.kubagro.ru/2024/08/pdf/10.pdf>

национальном, так и на международном уровнях. Кроме того, внедрение таких технологий способствует снижению затрат на очистку воздуха и сокращению убытков, связанных с потерей продукта в виде пыли.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Современные сепарационные устройства имеют широкий диапазон применений и могут адаптироваться к различным технологическим процессам. В сельскохозяйственном секторе наиболее востребованы установки, способные работать с частицами разной природы и размеров, начиная от грубых частиц зерновой пыли и заканчивая мельчайшими аэрозолями, образующимися в процессе сушки и переработки продуктов. Устройства на основе инерционных сил, гравитационных фильтров, циклонов и электростатических систем демонстрируют различные уровни эффективности в зависимости от специфики производства и характеристик обрабатываемых газовых потоков.

Существующие методы очистки газов, такие как циклоны, электростатические фильтры и рукавные фильтры, имеют свои преимущества и недостатки, что обуславливает необходимость постоянного поиска новых решений. Несмотря на широкий спектр доступных технологий, применение многих устройств затруднено из-за высокой энергоемкости, сложности обслуживания и недостаточной эффективности при работе с мелкодисперсными частицами. В связи с этим сохраняется актуальность исследований, направленных на разработку новых или усовершенствование существующих сепарационных устройств, которые могли бы эффективно справляться с задачей очистки газовых потоков в условиях агропромышленного производства.

В ходе предыдущих исследований [1] был разработан сепаратор, в котором сепарационные элементы V-образной формы располагаются в шахматном порядке. Сепарация частиц происходит за счет резкого изменения траектории газового потока. Важной задачей является

оптимизация геометрических параметров устройства для достижения его максимальной эффективности. В настоящее время эта задача успешно решается с помощью численного моделирования. Однако на начальном этапе требуется провести верификацию и валидацию полученных результатов.

Цель исследований. Визуализировать движение твердых частиц в экспериментальной установке с сепаратором на основе численного моделирования.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследований была собрана экспериментальная установка (рис. 1) для исследования эффективности сепарации твердых частиц из газовых потоков, состоит из нескольких ключевых компонентов, обеспечивающих проведение точных экспериментов. Основными элементами установки являются лабораторный модуль с сепаратором, воздуходувка, ресивер, измерительные устройства (расходомер и дифференциальные манометры) и компьютер для регистрации данных.

Эксперименты проводятся в несколько этапов. Сначала воздух забирается из окружающей среды. Далее движется через ресивер и расходомер, после чего он нагнетается вентилятором в лабораторный модуль. Твердые пылевидные частицы дозируются шприцевым насосом непосредственно перед входом в модуль. В процессе прохождения через сепараторы частицы отделяются от газового потока под действием инерционных сил и оседают в его бункере. Остаточные частицы улавливаются фильтром тонкой очистки.

При численном моделировании процессы внутри экспериментальной установки моделировались с использованием программного обеспечения Ansys Fluent. Для описания турбулентных потоков решались уравнения Навье-Стокса. Для корректного замыкания турбулентных уравнений использовалась модель напряжений Рейнольдса RSM, зарекомендовавшая

себя как надежный инструмент при моделировании сложных закрученных потоков в сепарационных устройствах.

Движение частиц в газовом потоке отслеживалось с помощью дискретной фазовой модели DPM, что позволило детализировано описать их траекторию и вычислить эффективность осаждения. В ходе моделирования учитывались ключевые параметры: скорость газового потока на входе, размер и плотность твердых частиц, и геометрические характеристики сепаратора. Такой подход обеспечил глубокий анализ работы системы и выявление оптимальных условий для максимальной эффективности сепарации при минимальных потерях давления.

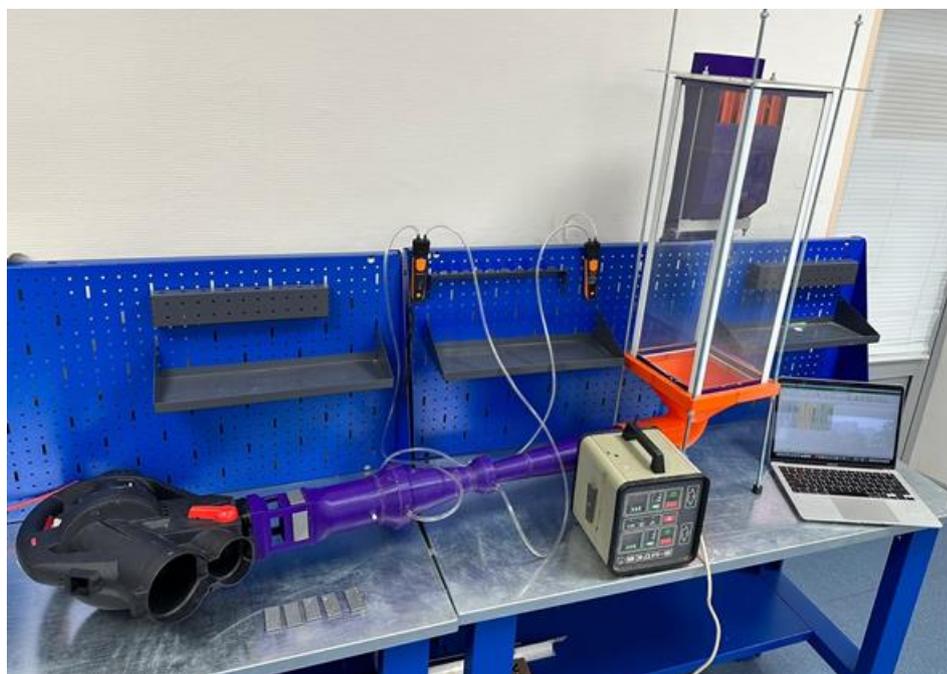


Рисунок 1 – Экспериментальная установка с сепаратором в верхней части лабораторного модуля

Результаты исследований. В результате численного моделирования было получено распределение скоростей газового потока в экспериментальной установке (рис. 1). Моделирование продемонстрировало точное соответствие реальной физике процесса, с достоверным отображением изменений скорости газа и формирования

локальных завихрений как в лабораторном модуле, так и в самом сепараторе. Максимальные значения скорости наблюдаются в суженной части расходомера, после чего скорость уменьшается по мере расширения проходного сечения, что приводит к увеличению статического давления. В нижней части лабораторного модуля отчетливо видны завихрения, вызванные обтеканием потока вокруг нижней стенки бункера сепаратора. Подобные завихрения также формируются внутри самого бункера, что подчеркивает сложность и динамику течения газа (рис. 1).

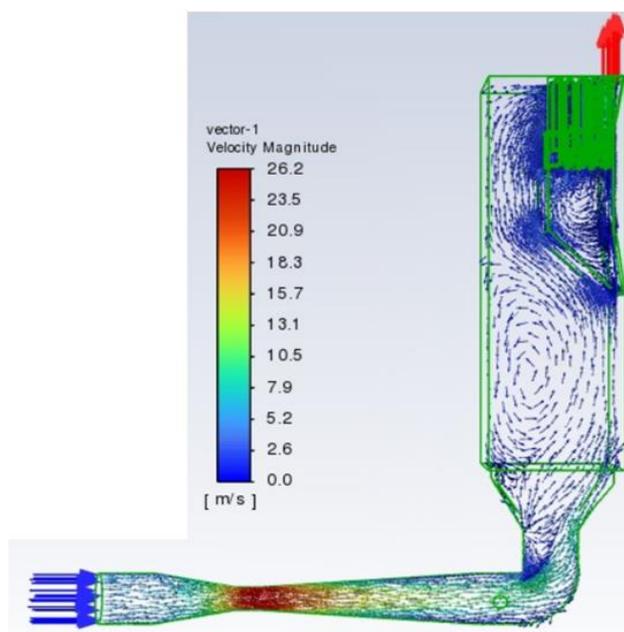


Рисунок 2 – Распределение скорости газового потока в сепараторе

В ходе экспериментов на лабораторной установке максимальный размер частиц достигал 208 мкм. При этом большая часть частиц имела размер до 103,2 мкм. Интересным наблюдением стало то, что определённая доля частиц не достигала сепаратора, что также было подтверждено результатами численного моделирования. Так, при минимальной входной скорости газа в установку 2,25 м/с – частицы размером более 75 мкм не долетали до сепаратора, что можно увидеть на рисунке 3.

Эти результаты демонстрируют важность выбора оптимальных параметров работы установки, поскольку скорость витания частиц и их взаимодействие с газовым потоком играют ключевую роль в эффективности сепарации. Моделирование показало, что с увеличением размера частиц их траектории становятся более прямолинейными, т. е. менее подвергаются выбиванию из структуры газового потока.

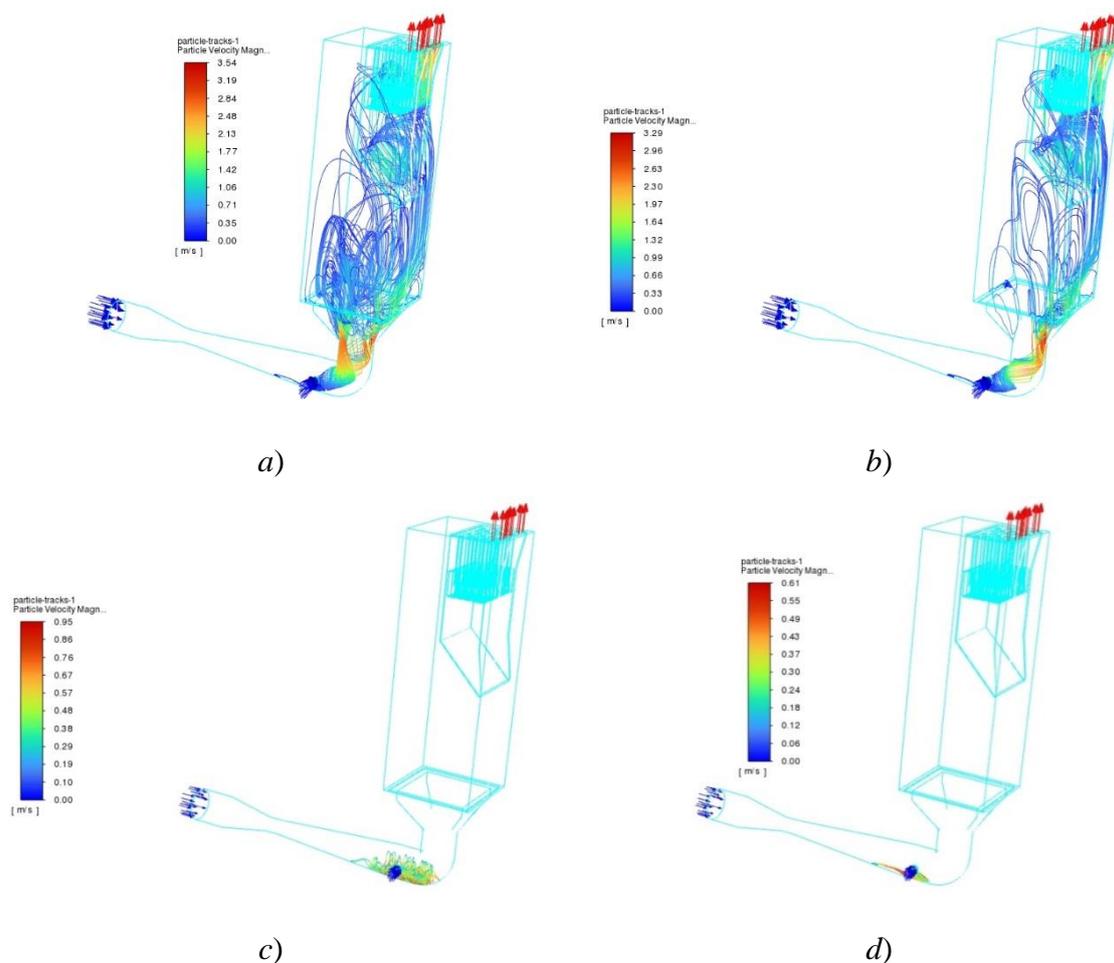


Рисунок 3 – Траектории частиц различного размера в лабораторном модуле: *a* – 60 мкм; *b* – 70 мкм; *c* – 75 мкм; *d* – 80 мкм

В перспективе планируется проведение валидации модели по потере давления в экспериментальной установке и эффективности сепарации. Этот этап позволит оценить, насколько точно модель отражает реальные физические процессы, происходящие в установке, и обеспечит надежность полученных результатов. После успешной валидации предполагается

перейти к оптимизации конструктивных параметров сепаратора с использованием численного моделирования. Такой подход позволит не только повысить эффективность устройства, но и минимизировать энергозатраты и износ оборудования.

Выводы. 1. Проведенное численное моделирование и физические эксперименты подтвердили точное соответствие полученных данных реальной физике процесса движения твердых частиц в экспериментальной установке. Моделирование продемонстрировало достоверное распределение скоростей газа и выявило зоны завихрений, которые играют важную роль в процессе сепарации частиц из газа. 2. При минимальной скорости газового потока 2,25 м/с крупные частицы (более 75 мкм) не достигают сепаратора, что указывает на необходимость увеличения входной скорости газового потока в экспериментальную установку. Частицы меньшего размера (менее 75 мкм) лучше удерживаются в потоке благодаря турбулентным завихрениям.

Библиографический список

1. Салахова, Э. И. Влияние сепарационной решетки на эффективность улавливания твердых частиц в устройстве с дугообразными элементами / Э. И. Салахова, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, А. В. Дмитриева, А. А. Абдуллина // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26. – № 8. – С. 41-46.

References

1. Salahova, Je. I. Vlijanie separacionnoj reshetki na jeffektivnost' ulavlivanija tverdyh chastic v ustrojstve s dugoobraznymi jelementami / Je. I. Salahova, V. Je. Zinurov, O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitrieva, A. A. Abdullina // Vestnik Tehnologicheskogo universiteta. – 2023. – Т. 26. – № 8. – S. 41-46.