

УДК 631.3

UDC 631.3

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)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНОМ КОНТАКТНОМ УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

MODELING OF HYDRAULIC LOSSES IN A JET-FILM CONTACT DEVICE FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

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

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

Гильмутдинова Зарина Альбертовна
Студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Gilmutdinova Zarina Albertovna
Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

В представленной работе рассмотрены особенности гидравлического сопротивления струйно-плёночного контактного устройства, предназначенного для использования в технологических процессах агропромышленного комплекса. Актуальность темы объясняется необходимостью повышения эффективности обмена массой и теплом между воздушной и жидкой фазами во множестве операций: от обработки растительного сырья до очистки газовых выбросов в сельскохозяйственном производстве. Оптимизация контактных аппаратов позволяет не только сократить энергозатраты, связанные с прокачкой потоков, но и обеспечить стабильное качество обрабатываемого продукта. В ходе исследования выполнены расчеты в программной среде ANSYS Fluent с применением двухпараметрической модели турбулентности $k-\omega$ SST, что позволило получить детализированные данные о распределении скоростей и давлений в исследуемой зоне. В качестве варьируемых параметров были выбраны высота сливного стакана и фиктивная скорость газового потока, что позволило изучить влияние геометрии и режимных условий на коэффициент сопротивления. Полученные результаты демонстрируют линейную тенденцию к снижению сопротивления при росте высоты сливного стакана

The presented study examines the features of hydraulic resistance in a jet-film contact device designed for use in technological processes within the agro-industrial complex. The relevance of the topic is explained by the need to enhance the efficiency of mass and heat transfer between the air and liquid phases in various operations, ranging from the processing of plant materials to the treatment of gas emissions in agricultural production. Optimization of contact devices not only reduces energy costs associated with flow pumping but also ensures consistent quality of the processed product. The study involved calculations performed in the ANSYS Fluent software environment using the two-parameter $k-\omega$ SST turbulence model, which provided detailed data on the distribution of velocities and pressures within the investigated zone. The varied parameters included the height of the drainage cup and the effective velocity of the gas flow, enabling the study of the influence of geometry and operating conditions on the resistance coefficient. The results obtained demonstrate a linear trend of decreasing resistance with an increase in the height of the drainage cup

Ключевые слова: СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНОЕ КОНТАКТНОЕ УСТРОЙСТВО, ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, КОНТАКТ ФАЗ

Keywords: JET-FILM CONTACT DEVICE, HYDRAULIC RESISTANCE, AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX, PHASE CONTACT

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-206-004>

Введение. Современный агропромышленный сектор находится в условиях постоянного поиска эффективных решений, позволяющих одновременно повышать производительность и снижать затраты на ресурсы. Это обусловлено возрастающей потребностью в качественной переработке сельскохозяйственного сырья и стремлением к получению конкурентоспособной продукции на внутреннем и внешнем рынках. Одним из ключевых направлений совершенствования отрасли считается разработка и внедрение технологических устройств, которые способны обеспечить интенсификацию процессов тепло- и массообмена в самых различных стадиях переработки аграрного сырья. Подобные задачи возникают, например, при конденсации паров, сушке зерна, получении экстрактов, пастеризации жидких продуктов, а также при очистке газовых выбросов, образующихся в ходе производства.

Развитие методов контактного взаимодействия фаз приобретает особую актуальность в связи с повышенными требованиями к экологии и энергетической эффективности сельскохозяйственных производств. Значительная часть технологических линий в агропромышленном комплексе требует наличия узлов, обеспечивающих непрерывный и равномерный контакт потоков воздуха (или других газов) с жидкой средой. В таких узлах происходит либо охлаждение и очистка газового потока, либо, напротив, насыщение жидкой фазы необходимыми компонентами. Эффективность данных процессов напрямую зависит от конструкции и возможностей контактного оборудования, способного обеспечивать высокую степень взаимодействия фаз при минимальных энергетических затратах.

Стабильная работа такого оборудования важна не только для повышения производительности, но и для улучшения экологической

<http://ej.kubagro.ru/2025/02/pdf/04.pdf>

безопасности технологических процессов. К примеру, устранение вредных примесей из газовых потоков или снижение потерь тепла при сушке требует максимально рационального использования контакта газа и жидкости. Если при этом устройство обладает низким гидравлическим сопротивлением и равномерно распределяет жидкую фазу, то снижается общее энергопотребление производства. Кроме того, удастся поддерживать требуемые параметры качества перерабатываемого сырья и готовой продукции, что влияет на экономическую привлекательность готовых аграрных товаров.

Таким образом, поиск и применение эффективных аппаратов, обладающих оптимальными характеристиками по гидравлическому сопротивлению и интенсификации обменных процессов, становится первоочередной задачей для агропромышленного комплекса. Разработка инновационных систем контактирования газа и жидкости способна обеспечить конкурентные преимущества предприятиям, занимающимся переработкой сельскохозяйственной продукции, а также повысить экологическую и экономическую устойчивость отрасли в целом.

Состояние исследований и актуальность проблемы.

Традиционные подходы к организации взаимодействия между газом и жидкостью в агропромышленном комплексе охватывают широкий спектр технологий – от простых оросительных камер до многоступенчатых установок с продуманной системой распределения фаз. Однако с ростом масштабов сельскохозяйственных производств и усилением экологических норм стали возникать все более жесткие требования к эффективности и надежности контактных устройств. При конструировании подобных аппаратов исследователи стремятся достичь максимальной площади контакта между жидкой и газовой фазами и обеспечить равномерное течение каждой фазы с минимальными потерями давления. В то же время большое внимание уделяется вопросам автоматизации и возможности

гибко перестраивать рабочие параметры оборудования под переменные условия работы.

В ряде научных работ подробно анализируются различные геометрические исполнения тарелок, насадок и спецэлементов, которые позволяют усилить процессы тепло- и массообмена. Многие конструкторские решения направлены на то, чтобы поток жидкости распределялся по всей поверхности контактного узла и не образовывал застойных зон. Кроме того, стремление увеличить площадь соприкосновения фаз нередко приводит к усложнению внутренней структуры аппарата, что влечет за собой повышение затрат на производство и эксплуатацию. Поэтому актуальной остается задача проектирования устройств, способных совмещать компактные габариты и эффективные режимы взаимодействия фаз.

Помимо этого, активно развиваются методы численного моделирования, которые дают возможность виртуально протестировать различные варианты конструкции. Благодаря появлению универсальных пакетов прикладных программ процесс расчета протекания фаз происходит в условиях, максимально приближенных к реальным. Это позволяет снизить число трудоемких экспериментальных исследований и быстрее выявлять оптимальные параметры аппаратов. В агропромышленном комплексе такая гибкость в проектировании крайне важна, так как необходимо своевременно реагировать на изменение свойств обрабатываемого сырья и уметь масштабировать производство в зависимости от сезонных факторов.

В работе [1] было разработано струйно-пленочное контактное устройство, представленное на рис. 1, которое сочетает в себе принципы направленного струйного распределения и пленочного обтекания контактных поверхностей.

Цель исследований. Целью данной работы является проведение расчета коэффициента сопротивления струйно-пленочного контактного устройства, обеспечивающего эффективный контакт между газовым и жидким потоками при минимальных энергетических затратах.

Материалы и методы исследований. В ходе исследований основное внимание уделялось определению гидравлических потерь в предлагаемом струйно-пленочном узле, чтобы оценить, насколько такая конструкция способствует снижению энергозатрат на прокачку воздуха. Для решения данной задачи в среде ANSYS Fluent создавалась модель одномерного течения газовой фазы (воздуха) при температуре 20 °С сквозь контактный модуль, состоящий из трех последовательных ступеней. Ширина каждого сливного стакана принималась равной 100 мм, а сама геометрическая конфигурация включала вертикальные стенки и специальные элементы для распределения жидкости.

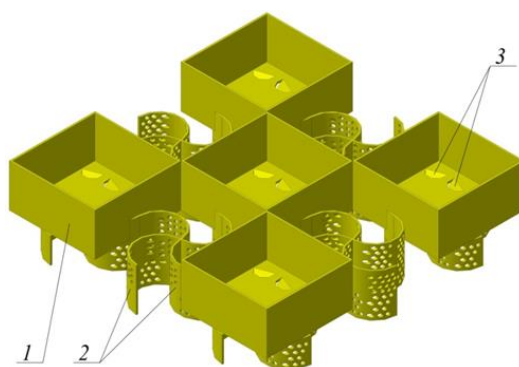


Рисунок 1 – Струйно-пленочное контактное устройство: 1 – сливной стакан; 2 – гофрированные и перфорированные перегородки; 3 – лепестки.

В рамках численного эксперимента варьировались два ключевых параметра: высота сливного стакана в диапазоне от 10 до 30 мм и фиктивная скорость поступающего воздушного потока, изменявшаяся в пределах 1–10 м/с. Такой подбор значений позволил сопоставить различные режимы работы устройства, учитывая специфику агропромышленных процессов, где рассеянные загрязнения или колебания

в расходе воздуха могут существенно влиять на контактные условия. Для турбулентного описания потока была выбрана двухпараметрическая $k-\omega$ SST-модель, которую предварительно оценивали на согласованность с экспериментальными данными из более ранних исследований. Этот подход подтвердил, что выбранная модель турбулентности дает приемлемые результаты при достаточно сложных формах внутренних элементов аппарата.

При проведении расчетов особое внимание уделялось корректному учету граничных условий и сеточного разбиения, чтобы исключить искажения результатов. В частности, детализированная сетка вблизи поверхностей сливных стаканов и перфорированных перегородок позволила точнее спрогнозировать зону развития пограничного слоя и поведение потока при обходе препятствий. Полученные в результате вычислительного эксперимента данные использовались для оценки коэффициента сопротивления и определения оптимальных геометрических параметров струйно-пленочного контактного устройства.

Результаты исследований. На основании проведенного компьютерного моделирования были получены как количественные, так и качественные зависимости, иллюстрирующие влияние высоты сливного стакана на потери давления в исследуемом аппарате.

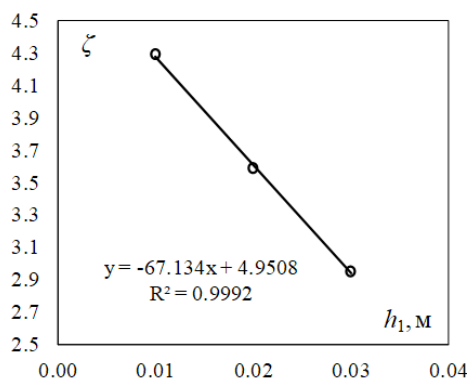


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента сопротивления струйно-пленочных контактных устройств от различной высоты сливного стакана h_1

При сравнении различных вариантов геометрического исполнения удалось установить, что коэффициент сопротивления возрастает при снижении высоты сливного стакана. Это связано с особенностями течения газа и усилением зон турбулентного перемешивания возле ребер сливных поверхностей. На рисунке 2 представлена обобщенная зависимость коэффициента сопротивления струйно-пленочных контактных устройств от изменения высоты сливного стакана h_1 . Очевидно, что в области малых значений данного параметра наблюдается наиболее выраженное ростовое поведение кривой сопротивления, тогда как при увеличении высоты этот параметр снижается почти линейно. Качественный анализ полученных полей скоростей также показал, что компактная конфигурация струйно-пленочного блока способствует более равномерному распределению газового потока, не создавая выраженных застойных зон.

Выводы. 1. Проведенное исследование подтвердило, что конструкция с чередованием струйных и пленочных зон контакта обеспечивает благоприятные условия для интенсивного взаимодействия фаз, однако гидравлические потери существенно зависят от высоты сливного стакана. 2. Оптимальный диапазон геометрических параметров позволяет уменьшить энергоемкость процесса за счет сокращения сопротивления воздушному потоку. 3.

Библиографический список

1. Дмитриев, А. В. Очистка промышленных газов от аэрозольных частиц в аппаратах со струйно-пленочным взаимодействием фаз / А. В. Дмитриев, И. Н. Мадышев, О. С. Дмитриева // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22, № 6. – С. 10-14.

References

1. Dmitriev, A. V. Ochistka promyshlennyh gazov ot ajerozol'nyh chastic v apparatah so strujno-plenochnym vzaimodejstviem faz / A. V. Dmitriev, I. N. Madyshev, O. S. Dmitrieva // Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2018. – T. 22, № 6. – S. 10-14.