

## РЕЦЕНЗИЯ

на диссертацию Торского Андрея Олеговича на тему «Разработка и расчет циклонно-вихревого аппарата для проведения совмещенных процессов массообмена и пылеулавливания», представленную на соискание степени доктора философии PhD по специальности 6D072400 – Технологические машины и оборудование.

Из перечня приоритетных направлений развития науки формируемых Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан, представленные в диссертации материалы, соответствуют направлению «Рациональное использование водных ресурсов, животного и растительного мира, экология», в котором имеется специализированное научное направление «Системы очистки сточных вод, газоочистки и пылеулавливания». Кроме того, результаты соответствуют задачам Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020-2025 годы и Посланию Президента РК от 1 сентября 2020 года «Казахстан в новой реальности: Время действий».

**Актуальность темы.** В настоящее время известно большое количество разнообразных по конструкции газоочистных аппаратов, действие которых основано на различных механизмах: центробежном (циклоны НИИОГАЗ, ЛИОТ, СИОТ, скрубберы центробежного действия с водяной пленкой, с внутренними завихрителями, с центральным подводом орошения и с боковым расположением форсунок), ударном (ротоклоны, скрубберы Дойля, скрубберы ударного действия и др.), скоростные (скрубберы Вентури), вихревом взаимодействии потоков (аппараты с регулярной подвижной насадкой). В технологических схемах очистки такие аппараты, в различных сочетаниях, обеспечивают снижение выбросов твердых частиц и газообразных веществ в окружающую среду. При этом в наиболее распространенном варианте компоновки схемы очистки при улавливании твердых и газообразных примесей из газа первым по ходу потока устанавливается оборудование для сухой очистки, а затем мокрой.

В представленной диссертационной работе вместо двух аппаратов для сухой и мокрой очистки предлагается устанавливать один комбинированный газоочистной аппарат, имеющий две ступени контакта. В нижней части контактной ступени используется центробежный механизм улавливания твердых частиц, а верхняя предназначена для проведения тепломассообменных процессов в условиях вихревого взаимодействия газа и жидкости. Для такой конструкции газоочистного аппарата результаты исследований и методики расчета отсутствуют.

В связи с этим, представленные в диссертационной работе Торского А.О. результаты исследований по изучению гидродинамики, процессов пылеулавливания и массообмена в циклонно-вихревом аппарате, полученные основные расчетные зависимости определяют ее актуальность.

### **Новизна работы.**

На основании установленных закономерностей движения закрученного потока газа, взаимодействия газа и жидкости при вихревом обтекании насадочных элементов получены расчетные зависимости для определения гидравлического сопротивления в зоне действия центробежной силы, гидравлического сопротивления, количества удерживаемой жидкости и газосодержания слоя зоны вихревого взаимодействия потоков газа и жидкости.

Применяя диссипативный подход и положения теории о локальной изотропной турбулентности, а также используя балансовые уравнения, получены формулы для расчета коэффициентов массоотдачи в газовой фазе, толщины пленки на поверхности насадки, диаметра струй и среднего диаметра капель.

Основываясь на уравнениях определяющих конструктивные соотношения циклонной ступени и модифицированный инерционный параметр, характеризующий состояние пылегазовой смеси разработана математическая модель центробежного и инерционного осаждения частиц в циклонной ступени аппарата.

Получены формулы для расчета коэффициента турбулентной диффузии и определения эффективности пылеулавливания вихревой ступени контакта, в основе которых лежит модель турбулентно-диффузионного осаждения твердых частиц.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений.**

Расчетные зависимости для определения гидравлического сопротивления в зоне действия центробежной силы, гидравлического сопротивления, количества удерживаемой жидкости и газосодержания слоя зоны вихревого взаимодействия потоков газа и жидкости являются достоверными. При их выводе использованы закономерности научного открытия в области механики газа и жидкости и уравнения гидростатики.

Уравнение для расчета коэффициентов массоотдачи в газовой фазе является обоснованным, так как получено на основе первого закона Фика с использованием положений теории о локальной изотропной турбулентности. Формулы для определения толщины пленки на поверхности насадки, диаметра струй и среднего диаметра капель получены из балансовых уравнений с использованием диссипативного подхода и положений теории о локальной изотропной турбулентности и также являются обоснованными. Достоверность их подтверждена сопоставлением с экспериментальными данными.

Математическая модель центробежного и инерционного осаждения частиц в циклонной ступени аппарата является обоснованной, так как в основе ее лежат уравнения, учитывающие конструктивные соотношения циклонной ступени и параметр, характеризующий состояние пылегазовой смеси. Достоверность полученной модели подтверждена экспериментальными данными.

Обоснованность и достоверность формул для расчета коэффициента турбулентной диффузии и определения эффективности пылеулавливания базируется на используемой модели турбулентно-диффузионного осаждения твердых частиц и малой величиной погрешности при сопоставлении с экспериментальными данными.

**Практическая ценность** диссертации состоит в том, что конструкция аппарата циклонно-вихревого действия защищена патентом РК №33662.

Разработана инженерная методика расчета аппарата циклонно-вихревого действия. Предложены рекомендации по проектированию и эксплуатации промышленных аппаратов.

**Оценка внутреннего единства полученных результатов.**

Постановленные в работе задачи и полученные в ходе их реализации результаты полностью соответствуют целям и обладают внутренним единством, направленным на создание аппарата циклонно-вихревого действия, проведению комплексных исследований, разработке методики его расчета и рекомендаций по проектированию.

**Личный вклад автора в получении результатов** состоит в: анализе литературно-патентных источников по конструкциям пылеулавливающих и теплообменных аппаратов, методикам их расчета; разработке новой конструкции аппарата циклонно-вихревого действия; проведении исследований гидродинамических характеристик, эффективности пылеулавливания, коэффициентов массоотдачи в газовой фазе и получении расчетных зависимостей; разработке рекомендаций по проектированию аппаратов; проведении промышленных испытаний и внедрении аппарата циклонно-вихревого действия промышленностью.

**Академическая честность.**

Анализ материалов диссертации показал, что при ее подготовке соблюдены принципы научной этики. Не допускалась фабрикация научных данных, фальсификация, плагиат, использование литературных данных без ссылок на источник.

**Подтверждение достаточной полноты публикаций основных положений, результатов, выводов и заключения диссертации.**

Основные положения диссертационной работы, результаты, выводы и заключения опубликованы в 10 статьях, из них 6 статей в материалах международных конференций, 3 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, 1 статья в издании входящем в базу научных журналов SKOPUS по направлению: Engineering: General Engineering. Процентиль: 31. Получен 1 патент РК.

**Недостатки по содержанию и оформлению диссертации.**

1. Во введении при формулировании цели работы необходимо было отметить наряду с внедрением в промышленность, внедрение полученных результатов в учебный процесс.

2. На стр. 55-57 приведены сопоставительные данные результатов исследований аппаратов КАИТ и циклонно-вихревого действия по

