

Учёному секретарю Диссертационного совета Д 212.267.13,
Доктору технических наук ХРИСТЕНКО Ю.Ф.

ФГАОУВО «Национальный исследовательский
Томский государственный университет»,
пр. Ленина 36, Томск 634050

ОТЗЫВ

официального оппонента Ассовского И.Г. на диссертацию Антонниковой Александры Александровны "Осаждение аэрозолей с помощью акустического излучения и дополнительной дисперсной фазы", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Проблема охраны окружающей человека воздушной среды требует решения большого числа разнообразных научно-технических задач, среди которых важное место занимает задача по созданию эффективных методов нейтрализации вредных примесей в воздухе и очистки от них воздушной среды. Наиболее распространенные загрязнения присутствуют в воздухе в виде аэрозолей (дымы, туманы, смог). К настоящему времени разработаны и широко используются разнообразные устройства для очистки воздуха от вредных аэрозолей (например, циклоны, фильтры, пылеуловители и др.). Главным их недостатком является невозможность улавливания высокодисперсных (субмикронных) аэрозолей, а также невозможность использования в агрессивных и взрывоопасных газах.

Одним из перспективных способов преодоления указанного недостатка существующих очистителей воздуха является укрупнение субмикронных и наноразмерных частиц с последующим их осаждением. Поэтому диссертационная работа **А.А. Антонниковой**, посвященная теоретическому и экспериментальному изучению механизма и закономерностей осаждения высокодисперсных аэрозолей с помощью акустического излучения и дополнительной дисперсной фазы, а также поиску путей и способов ускорения осаждения таких аэрозолей является весьма актуальной для механики и физики аэрозолей, а также защиты окружающей среды. Предложенный в диссертации способ укрупнения и осаждения частиц аэрозоля (воздействием ультразвука и дополнительной дисперсной фазы) имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными методами, прежде всего, применимость к агрессивным и взрывоопасным газам, а также возможность работы при высоких давлениях и температурах.

Отличительной чертой диссертационной работы **А.А. Антонниковой** является прикладная направленность решаемых экспериментальных и теоретических задач, сочетание численных и аналитических методов для решения теоретических задач, и современных физикохимических методов для экспериментальных исследований. Следует особо отметить инновационный характер предлагаемого в диссертации применения ультразвука для укрупнения и осаждения субмикронных частиц аэрозоля, поскольку традиционно ультразвук используется для дробления и разделения агломератов наночастиц. Хотя явление укрупнения мелких взвешенных в воздухе частиц под

ВХ. № 31016/469
ПОСТУПИЛ В ТГУ
* 10 * 09 * 2014

действием акустических колебаний было обнаружено Г. Паттерсоном еще в 1931 году и опубликовано в журнале Nature, акустическая коагуляция пока применяется лишь для крупнодисперсных аэрозолей (размер частиц 1-10 мкм) с достаточно высокой концентрацией частиц (~2 г/м³). Для доказательства обоснованности предлагаемого решения автором выполнены детальные исследования механизма взаимодействия ультразвука с частицами аэрозолей, впервые установлены предельные случаи для коагуляции и осаждения высокодисперсных аэрозолей. Доказано, что применение дополнительной дисперсной фазы с размерами частиц, порядка 2-4 мкм, повышает эффективность коагуляции аэрозолей при ультразвуковом воздействии.

Перечисленные факторы характеризуют научную и практическую значимость и новизну представленного в диссертации материала.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 103 публикации. Во **введении** автор формулирует цель диссертационной работы и задачу исследований, обосновывает актуальность решаемой задачи.

В **первой главе** автором представлен подробный обзор литературных данных об источниках и характеристиках вредных аэрозолей, распространенных в различных отраслях промышленности, выполнен критический анализ используемых на практике способов улавливания дисперсных примесей из газовых сред. Показано, что большинство промышленных выбросов представляют высокодисперсные аэрозоли с характерным размером конденсированных частиц не более 10-15 мкм, обоснована необходимость их улавливания. Следует отметить научную и практическую ценность выполненного автором анализа литературы по методам осаждения промышленных аэрозолей, который позволил сделать вывод о наибольшей перспективности ультразвукового и акустического методов для очистки воздуха от высокодисперсных аэрозолей. Для повышения эффективности этих методов предлагается способ предварительного распыления нейтрализующего жидкокапельного аэрозоля в дополнение к воздействию акустического поля. Такое распыление создает дополнительные центры коагуляции, что особенно необходимо в случае аэрозолей малой концентрации.

Во **второй главе** автор проводит сравнительный анализ конструкций источников ультразвуковых колебаний и методов распыления жидкокапельного аэрозоля. Выполненный анализ позволил сделать вывод, что для повышения эффективности процесса коагуляции высокодисперсных аэрозолей акустическими колебаниями необходимо применять ультразвуковые излучатели, обеспечив оптимальные условия их размещения для максимального акустического воздействия. Кроме того, распыливание жидкостей ультразвуком имеет ряд преимуществ перед другими методами – оно позволяет получить аэрозоли с более высокой дисперсностью, а также более узкий спектр размеров капель (близкий к монодисперсному), что позволяет создать максимальное количество дополнительных центров коагуляции при одной и той же массе распыляемой жидкости.

Несомненную научную и практическую ценность представляют результаты теоретического и экспериментального исследования закономерностей акустической коагуляции, представленные автором в **третьей и четвертой** главах

В **третьей главе** автор формулирует оригинальную (полуэмпирическую) модель

коагуляции аэрозоля под действием ультразвука. Выражение для вероятности столкновений частиц в модели включает в себя зависимость от частоты и амплитуды звуковых колебаний, концентрации и дисперсного состава исходного аэрозоля, вязкости и температуры среды, физико-химических параметров материала частиц. Для каждого характерного размера частиц аэрозоля существуют минимальная (неэффективная) ω_{min} и оптимальная частоты акустического воздействия ω_{max} : при $\omega < \omega_{min}$ ультразвук не оказывает влияния на процессы коагуляции; дальнейшее увеличение $\omega > \omega_{max}$ частоты не приводит к ускорению коагуляции (согласно с экспериментальными данными).

Следует особо отметить предложенную автором физико-математическую модель коагуляции в случае двух конденсированных фаз аэрозоля. Такая задача на практике имеет место, к примеру, в шахтах (угольная пыль и водной туман), при тушении пожаров (дым и вода), при осаждении промышленных пылей с помощью водных аэрозолей и т.п. Введение в существующий аэрозоль дополнительной фазы повышает концентрацию частиц, что способствует ускорению коагуляции и осаждения. В этом случае следует ожидать, что при использовании одной и той же массы вводимого аэрозоля больший эффект будет получен при большей дисперсности последнего: при большем количестве частиц возрастает удельная поверхность, увеличивается число столкновений в единицу времени, возрастает скорость коагуляции и осаждения.

Как показали выполненные автором расчеты, дополнительное введение аэрозоля с частицами 1-5 мкм даже в количестве 5 % от массы исходного аэрозоля в несколько раз повышает скорость осаждения частиц; ультразвуковое воздействие еще более ускоряет этот процесс. Вместе с тем, введение аэрозоля с частицами 30-40 мкм не оказывает заметного влияния на скорость осаждения исходного аэрозоля.

Следует отметить научную ценность выполненного автором анализа роли «звукового ветра» в процессе акустической коагуляции. Показано, что чем меньше размер частицы, тем больше это влияние. Скорость коагуляции, при этом, может не отличаться от броуновской – осаждение будет обусловлено именно звуковым ветром, а не укрупнением частиц и их движением в гравитационном поле.

В четвёртой главе представлены результаты выполненного автором большого объема экспериментальных исследований, взаимосвязанных с теоретическими результатами автора, представленными в третьей главе. Среди многочисленных экспериментальных закономерностей отметим, для примера, выявленный факт, что крупнодисперсные водные капли (диаметр частиц 30-40 мкм) не интенсифицируют процесс осаждения дыма. При этом, мелкодисперсные капли (2-4 мкм), напротив, сильно (в 5-6 раз) ускоряют осаждение. Наибольший эффект интенсификации осаждения смеси аэрозолей отмечен при воздействии ультразвуком. Результаты выполненных экспериментальных исследований позволили автору предложить рекомендации по оптимальному размещению в помещении источников акустического излучения и мелкодисперсного водного аэрозоля с целью эффективного осаждения вредных пылей и дымов.

К недостаткам диссертационной работы можно отнести следующее:

1. В представленном большом списке цитированной литературы имеется даже ссылка на работу публикацию 1891 года, но практически отсутствуют ссылки на

современные публикации зарубежных авторов.

2. В диссертации большое внимание уделено обзору предшествующих теоретических и экспериментальных исследований других авторов. Вместе с тем, отсутствует их прямое сравнение с полученными автором многочисленными теоретическими и экспериментальными результатами.

В целом, диссертационная работа **А.А. Антонниковой** является завершенным научным исследованием, выполненным на современном теоретическом и экспериментальном уровне. Полученные в работе фундаментальные результаты позволяют заключить, что **А.А. Антонниковой** решена важная научная задача – разработаны основы механики осаждения высокодисперсных аэрозолей с помощью акустического излучения и дополнительной дисперсной фазы.

Материал диссертации отличается комплексностью подхода, изложен ясно, хорошо оформлен и содержит большое количество иллюстраций.

Представленные выводы и заключения достаточно обоснованы, в том числе с помощью данных экспериментального исследования процесса.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Результаты диссертационной работы **А.А. Антонниковой** могут быть рекомендованы для использования в учебном процессе при подготовке специалистов в области технологий, использующих аэрозольные среды. Кроме того, результаты диссертации будут полезны при разработке и усовершенствовании способов управления физикохимическими процессами в аэрозольных средах, а также при создании систем противопожарной безопасности.

Считаю, что диссертация **А.А. Антонниковой** отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам диссертант - **Антонникова Александра Александровна** заслуживает присвоения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Доктор физико-математических наук,
заведующий лабораторией физики горения
твердых топлив ИХФ РАН,

И.Г. Ассовский
09.09.2014



Собственноручную подпись
сотрудника Ассовского И.Г.
удостоверяю
Секретарь

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук,
119991, Москва, Косыгина ул., 4, <http://center.chph.ras.ru>,
тел. 7-495-9397295, mail: krupkin@chph.ras.ru,
Ассовский Игорь Георгиевич