

ОТЗЫВ

официального оппонента **Тукмакова Алексея Львовича** на **диссертационную работу Нгуен Ву Линь на тему «Очистка газовых выбросов угольных ТЭС от мелкодисперсных частиц в прямоугольных сепараторах»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.14.14 –Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты**

На отзыв представлены автореферат и диссертация на 140 страницах, состоящая из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 123 наименований.

1. Актуальность выбранной темы

Диссертационная работа Нгуен Ву Линь посвящена разработке инерционного сепаратора для очистки дымовых газовых потоков ТЭС, работающих на тяжелых видах топлива от мелкодисперсных частиц. Предполагается, что сепаратор будет располагаться между фильтром грубой очистки (сепараторы- циклоны) и фильтром тонкой очистки, в качестве которых используются как электрофильтры, так и рукавные фильтры. Решается задача создания инерционного сепаратора, который бы был прост в эксплуатации, технологичен, обладал низким гидравлическим сопротивлением и позволил бы продлить время работы сменных дорогостоящих элементов фильтров тонкой очистки. Учитывая прогнозы о более интенсивном использовании угля и возникающих в связи с этим экологических проблемах, можно сделать вывод о том, что задача конструктивного и технологического совершенствования оборудования очистки дымовых газов от дисперсных примесей, решаемая в диссертации, актуальна.

2. Общая характеристика работы

В диссертационной работе предложена конструкция инерционного сепаратора, инженерная методика его расчета, выполнен анализ эффективности сепарации для газовзвесей с частицами различного размера, сделана оценка влияния формы сепарирующих элементов на эффективность работы устройства. Изготовлен сепаратор и экспериментально исследована его работа на воздушно- капельной смеси.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. .

Во введении формулируется актуальность и цель исследований; приводятся задачи, требующие решения; их научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы; описываются методы исследования; положения, выносимые на защиту, обосновывается достоверность полученных результатов, описывается их апробация.

Первая глава посвящена анализу современного состояния. Сделан обзор существующих аппаратов по очистке газовых потоков от мелкодисперсных частиц. Показаны проблемы использования применяемых аппаратов для сепарации мелкодисперсных частиц. Дана постановка задач исследования.

Во второй главе предлагается конструкция инерционного сепаратора, математическая модель процесса сепарации и содержатся результаты компьютерного моделирования процесса движения и осаждения частиц на элементах сепаратора в зависимости от конструктивных параметров устройства и расхода газа. В качестве осаждающих элементов рассматриваются двутавровые стержни, а также стержни с П-образным и дугообразным поперечным сечением. Внутренний объем сепаратора заполнялся вертикально расположенными стержнями и в зависимости от геометрических размеров сечения стержней и их расположения анализировались траектории движения частиц при различных скоростях потока и размерах частицы. Движение среды рассчитывалось при помощи программного комплекса ANSYS-FLUENT. Наряду с этим подходом, разработана оценочная методика расчета эффективности прямоугольного сепаратора, в которой для описания динамики частиц применялась двумерная система уравнений движения частицы в цилиндрической системе координат. Система включала в себя уравнение для радиальной скорости частицы, перемещающейся под действием центробежной силы и радиальной составляющей силы аэродинамического сопротивления, а также уравнение для азимутальной составляющей скорости, меняющейся под действием силы Кориолиса и азимутальной составляющей силы аэродинамического сопротивления. Для коэффициента сопротивления частицы в потоке применялась аппроксимация Клячко. При этом пренебрегалось осаждением в поле силы тяжести и радиальной составляющей скорости газа. Рассматривалось течение газа и движение частицы в поперечном сечении канала, образованном соседними стержнями с различными геометрическими размерами. Было проведено трехмерное моделирование разработанного прямоугольного сепаратора с помощью ANSYS-FLUENT. В ходе расчета эффективности сепаратора с различными формами сепарационных элементов была определена эффективность улавливания мелкодисперсных частиц сепаратором при скорости газового потока до 10 м/с, которая составляла 94,8, 92,9 и 90,7 % при использовании двутавровых, дугообразных и П-образных элементов соответственно.

В третьей главе представлены результаты физического исследования работы инерционного сепаратора при помощи созданной для этой цели экспериментальной установки, которая включала в себя прямоугольный сепаратор, вытяжной вентилятор, компрессор и ресивер, форсунку, емкость для жидкости и весы. В качестве дисперсной среды использовались капли оливкового масла, которые распылялись форсункой. В результате проведения экспериментов были получены оценки для эффективности улавливания капель при различных скоростях потока, а также определены величины потери давления. Проведенный эксперимент показал, что эффективность улавливания

ния частиц двутавровыми элементами в прямоугольном корпусе составляет 79,5%, потери давления в установке составили в среднем 1930 Па. Отклонения улавливания мелкодисперсных частиц пыли размером 2 мкм между физическим и численным экспериментом составили около 20%.

Верхняя граница скорости потока ограничивалась наступлением режима течения с дроблением капель в сужении между двутавровыми элементами, что приводило к снижению интенсивности осаждения за счет уменьшения скоростного скольжения фаз.

В четвертой главе описаны результаты длительной работы созданного сепаратора в промышленной системе подачи воздуха, исследована работоспособность сепаратора и рассмотрены вопросы экономии средств предприятием в связи с увеличением интервала времени обслуживания фильтров тонкой очистки.

В заключение сформулированы основные результаты и перспективы совершенствования конструкции.

3. Оценка новизны исследования и полученных результатов

1. Автор диссертации выполнил компьютерное моделирование процесса очистки дымовых газов угольных ТЭС от мелкодисперсных частиц в прямоугольном сепараторе и получил зависимости геометрических размеров аппарата от требуемой степени эффективности очистки.

2. Экспериментальным путем получил зависимости гидравлического сопротивления в прямоугольном сепараторе от скорости воздуха на входе в устройство и эффективности очистки газовых выбросов от чисел Стокса.

3. Получил зависимости эффективности очистки газового потока от мелкодисперсных частиц в предложенном аппарате от скорости потока на входе в аппарат и размеров частиц.

4. Получил уравнения для расчета количества рядов и элементов в каждом ряду прямоугольного сепаратора в зависимости от параметров улавливаемых твердых частиц.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность компьютерного моделирования подтверждается использованием лицензионного программного продукта и удовлетворительным согласованием рассчитываемых и экспериментальных данных. Достоверность опытных данных подтверждается их воспроизводимостью в однотипных сериях экспериментов, а также использованием для их получения современного, сертифицированного и поверенного оборудования.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы состоит в экономической оценке целесообразности использования предлагаемого аппарата в технологических процессах очистки газовых потоков от мелкодисперсных частиц на ТЭС 1 г. Уонг Би (Вьетнам); в разработке конструкции прямоугольного сепаратора для очистки газовых выбросов ТЭС от мелкодисперсных частиц; в разработке инженерной методики расчета устройства

для очистки дымовых газов от мелкодисперсных частиц, обеспечивающей возможность определения характерных параметров аппарата при различных характеристиках газовых потоков с целью оптимизации процесса очистки дымовых газов ТЭС и технологических выбросов промышленных предприятий; апробации устройства на ООО «КАМАТЕК».

5. Соответствие паспорту научной специальности

Диссертация соответствует специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты в части:

П1. Разработка научных основ методов расчета, выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы агрегатов, систем и тепловых электростанций в целом.

П3. Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий производства электрической энергии и тепла, использования топлива, водных и химических режимов, способов снижения влияния работы тепловых электростанций на окружающую среду.

П4. Разработка конструкций теплового и вспомогательного оборудования и компьютерных технологий их проектирования и диагностирования.

6. Рекомендации по использованию результатов диссертации

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы на предприятиях энергетической, химической, нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности, в проектных и научно-исследовательских организациях.

Теоретические положения и результаты по взаимодействию дымовых газов в прямоугольных сепараторах, изложенные в диссертации, могут быть рекомендованы к использованию в учебном процессе при подготовке студентов ВУЗов соответствующих направлений и профилей подготовки, а также в отраслевых и академических научно-исследовательских институтах.

7. Замечания по диссертационной работе

По диссертации имеется ряд вопросов и замечаний.

- 1) Глава 2 содержит анализ эффективности работы сепаратора на основе результатов численного моделирования динамики частиц, т.е. траекторий их движения. В то же время используемая в расчетах математическая модель не описана. Из текста понятно, что моделирование движения газа выполнено при помощи ANSYS- FLUENT, упомянута модель турбулентности, но нет уравнений движения газа и не ясно, как выполнялось моделирование движения частиц. Система уравнений движения частиц, состоящая из уравнений для радиальной и азимутальной составляющих скорости появляется только в конце главы (п. 2. 10. Оценочная методика расчета эффективности прямоугольного сепаратора), уже после того, как все результаты численного моделирования приведены.
- 2) Вызывает вопрос постановка начальных и граничных условий для скорости частиц (система 2.18, стр.98). Радиальная и азимутальная

составляющие скорости частиц зависят от радиуса, азимутального угла и времени. В начальных условиях пространственные переменные при задании составляющих скорости не указаны. Отсутствуют граничные условия для скорости частиц на входе в канал. Нет описания метода решения системы 2.19.

- 3) Глава 3 содержит результаты экспериментального исследования работы сепаратора для воздушно-капельной смеси в отличие от результатов, приведенных в главе 2, где говорится о твердых частицах в несущем газе. Результаты расчетов и эксперимента оказались близки, но и расчеты проведены при условиях прилипания для скорости частиц, что скорее соответствует каплям, а не твердым частицам, для которых возможен отскок при соударении с поверхностью.
- 4) Реальные газовзвеси полидисперсны, тогда как расчеты приведены для модели одиночной частицы, без учета диссипативного влияния дисперсной фазы на течение несущей среды, которое зависит от объемного содержания и дисперсности твердой фазы.
- 5) Геометрия каналов сепаратора меняется в процессе осаждения. Эти результаты можно увидеть в главе 4 на фотографиях устройства, проработавшего длительное время. Следовательно, эффективность сепарации и аэродинамическое сопротивление с течением времени меняются и полученные закономерности, зависящие от формы профиля, описывают только начальный этап работы устройства. По этой причине и различие в форме сечения (двутавр, дуга, п-образный профиль) существенно на начальном этапе.

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

8. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертации

Основное содержание диссертационной работы изложено в 14 печатных работах, 3 из которых опубликованы в изданиях из перечня ВАК РФ, 4 в рецензируемых журналах, включенных в базу данных Scopus и 5 в материалах российских и международных научных конференций.

Результаты работы, представленные в автореферате, полностью соответствуют материалу, изложенному в диссертации.

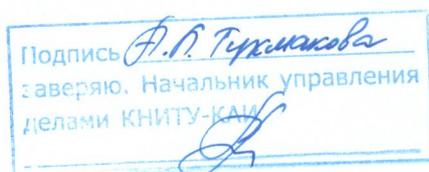
9. Заключение по работе

В целом, диссертация Нгуен Ву Линь «Очистка газовых выбросов угольных ТЭС от мелкодисперсных частиц в прямоугольных сепараторах» является законченной научно-квалификационной работой по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты, в которой изложено научно обоснованное решение задачи повышения эффективности очистки дымовых газов путем создания новых прямоугольных сепараторов, выбора рациональных режимов их работы и методов

их проектного расчета. Результаты, полученные диссертантом, имеют научное и практическое значение, они должным образом обоснованы, апробированы и опубликованы. Работа удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Нгуен Ву Линь заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты.

Официальный оппонент: профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», доктор физико-математических наук, Тукмаков Алексей Львович

Подпись Тукмакова Алексея Львовича заверяю



Ученая степень: доктор физико-математических наук

Специальность: 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, 01.02,05– Механика жидкости, газа и плазмы.

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», кафедра теплотехники и энергетического машиностроения.

Почтовый адрес: 420111, Российская Федерация, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10

Контактный телефон: +7 (843) 238-55-50, 231-01-56,

e-mail: tukmakov@imm.knc.ru

СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертационной работе
 «Очистка газовых выбросов угольных ТЭС от мелкодисперсных частиц в прямоугольных сепараторах» на соискание
 ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

Игуен Ву Линь

Фамилия, имя, отчество	Год рождения, гражданство	Место основной работы (полное наименование организации, адрес), должность, телефон, адрес электронной почты	Ученая степень (с указанием шифра научной специальности, по которой защищена диссертация)	Ученое звание (по специальности / кафедре)	Основные работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах за последние 5 лет (не более 15 публикаций)
1	2	3	4	5	6
Тукмаков Алексей Львович	18.02.1961 РФ	Федеральное государственное бюджетное учреждение «Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева-КАИ» место нахождения: 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К.Маркса, д. 10, почтовый адрес: 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул.	Д.ф.-м.н., 01.02.04, 01.02.05	снс	1)Azharonok V.V., Tukmakov A.L. Dynamics of the Working Medium of a Diffusion-Cooled Electric-Discharge CO ₂ Laser with Periodic Heat Release in the Axial Region of its Cylindrical Resonator//Journal of Engineering Physics and ThermophysicsVolume 87, Issue 6, 2014, Pages 1469-1479. DOI: 10.1007/s10891-014-1152-8. 2)Tukmakov A.L. Model of motion and sedimentation of a charged gas suspension in an electric field//Journal of Engineering Physics and ThermophysicsVolume 87, Issue 1, January 2014, Pages 38-47. DOI: 10.1007/s10891-014-0982-8. 3)Тукмаков А.Л. Численная модель электрогазодинамики аэродисперсной системы на основе уравнений движения двухскоростной двухтемпературной газозвеси // Прикладная механика и техническая физика {Numerical model of the electro-gas- dynamics of a gas-particle system based on the equations of motion of a two-velocity two-

<p>К.Маркса, д. 10, Тел. (843)238-55-50 tukmakov@imm.knc.ru</p>		<p>temperature gas-particle mixture / Journal of Applied Mechanics and Technical Physics 2015, 4. P. 636-643 }, 2015. Т. 56. № 4. С. 112 - 120.</p> <p>4)Тукмаков А.Л. , Баянов Р.И., Тукмаков Д.А. Течение полидисперсной газозвеси в канале, сопровождающееся коагуляцией в нелинейном волновом поле // Теплофизика и аэромеханика {Flow of polydisperse gas-particle mixture in a duct followed by coagulation in a nonlinear wave field A.L. Tukmakov, R.I. Bayanov, D.A. Tukmakov / Thermophysics and Aeromechanics 2015, № 3, 305- 311 }, 2015. Т. 22. № 3. С. 319 - 325.</p> <p>5)Тукмаков А.Л. / A.L.Tukmakov, V.G.Tonkonog, S.N.Arslanova. Effect of the Coagulation Rate on the Settling Time of Stationary Vibrations of Aerosol in the Acoustic Resonator // Physics of Wave Phenomena, 2015. № 3. С. 235 - 240.</p> <p>6)Тукмаков А.Л. , В.Г.Тонконог, С.Н.Арсланова. Новая коагуляция полидисперсной газозвеси в технологии газификации и криостатирования сжиженного природного газа // Акустический журнал {Wave coagulation of a polydisperse gas suspension in the technology of gasification and Cryostatting of liquefied natural gas // Acoustical Physics, 2016, 62. 1. Pp. 125-131}, 2016. Т. 62. № 1. С. 125 - 131.</p> <p>7)Тукмаков А.Л. , Мубаракшин Б.Р., Тонконог В.Г. Моделирование процесса одоризации природного газа // Инженерно- физический журнал, 2016. Т. 89. № 1. С. 127 - 132.</p> <p>8)Тукмаков А.Л. , Тонконог В.Г., Тукмакова Н.А. Не- линейный резонанс в акустической системе с коагулирующей газозвесью // Акустический журнал { Tukmakov</p>
---	--	---

				<p>A.L., Tonkonog V.G., Tuktamkova N.A. Nonlinear resonance in an acoustic system with a coagulating gas suspension // <i>Acoustical Physics</i>. 2017. V. 63. No.5. P.610-616}, 2017. Т. 63. № 5. С. 566 - 572.</p> <p>9) Баянов Р.И., Тукмаков А.Л. / Арсланова С.Н., Баянов Р.И., Тукмаков А.Л., Тонконог В.Г. Течение пароконденсатной смеси метана в канале переменного сечения // <i>Инженерно-физический журнал {Flow of a Methane Vapor-Drop Mixture in a Channel of Variable Cross Section // Journal of Engineering Physics and Thermophysics</i>. 2017. V. 90. No. 2. P. 276-281}, 2017. Т. 90. № 2. С. 299 - 304.</p> <p>10) Тукмаков А.Л., Тукмаков Д.А. / А. Л. Тукмаков (КАИ, ИММ), Н. Ф. Кашапов, Д. А. Тукмаков (КАИ, ИММ), М. Г. Фазлыяхматов. Процесс осаждения заряженной полидисперсной газозвеси на поверхность пластины в электрическом поле // <i>Теплофизика высоких температур</i>, 2018. Т. 56. № 4. С. 498 - 502.</p> <p>A.L.Tuktamkov, N.F.Kashapov, D.A.Tuktamkov, M.G.Fazlyyakhmatov. Process of the Deposition of Charged Polydisperse Gas Suspension on the Plate Surface in an Electrical Field. <i>High Temperature</i>, 2018. 56. 4. pp. 481-485. doi:10.1134/S0018151X18040193</p> <p>11) Тукмаков А.Л., Тукмаков Д.А. Генерация акустического возмущения движущейся заряженной газозвесью // <i>Инженерно-физический журнал</i>, 2018. Т. 91. № 5. С. 1207 - 1213.</p> <p>12) Тукмаков А.Л., Тукмакова Н.А. Динамика полидисперсной пароконденсатной смеси с учетом дробления, коагуляции, испарения капель и конденсации пара // <i>Теплофизика высоких температур</i>. 2019, том 57, № 3, с.</p>
--	--	--	--	--

437-445.

13) Тукмакова Н.А., Тукмаков А.Л. Модель динамики полидисперсной паракапельной смеси с газодинамическим дроблением капель // Инженерно-физический журнал. 2019. №6. С.2511-2519.

14) Баянов Р.И., Тукмаков А.Л. Численная модель динамики односкоростной парагазокапельной среды // Известия вузов. Авиационная техника {A numerical model for the dynamics of one-velocity gas-vapor-droplet fluid R. I. Bayanov, A. L. Tukmakov // Russian Aeronautics (Iz.VUZ), 2015, Vol. 58, No. 1, pp. 21-29.}, 2015. № 1. С. 19 - 25.

15) Баянов Р.И., Тукмаков А.Л. Численное описание акустических колебаний парагазокапельной смеси в закрытом канале на основе односкоростной однотолепратурной модели // ИФЖ-Инженерно-физический журнал (по 2015), 2015. Т. 88. № 3. С. 570 - 576.

16) Tukmakov A.L. Dynamics of a coagulating polydisperse gas suspension in the nonlinear wave flow of an acoustic resonator // ИФЖ-Инженерно-физический журнал (по 2015) / Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2015. Т. 88. № 1. С. 9 - 17.



А. Л. Тукмаков

Подпись *А.Л. Тукмаков*
заведующего Начальник управления
дела 10 Кухтыкова