

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы докторанта Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева Айгуль Искаковой на тему «Разработка системы управления процессом очистки промышленных газов от пыли» представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности

6D070200 – «Автоматизация и управление»

Актуальность работы. Указом Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121 принята стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года, где обращают особое внимание на повышение эффективности производства путем комплексного использования сырья, экономии энергоресурсов и охраны окружающей среды.

Низкоуглеродное развитие является необходимым условием устойчивого развития и нацелено на предотвращение катастрофических последствий глобального изменения климата.

Согласно Шестому Оценочному докладу Международной группы экспертов по изменению климата (далее - МГЭИК), антропогенные выбросы парниковых газов (далее - ПГ) достигли самых высоких показателей в истории человечества, что уже оказывает значительное негативное влияние на климатическую систему Земли. Это несет в себе прямые физические риски и угрозы для экосистем, инфраструктуры, жизни и здоровья людей. В ответ на эти вызовы и для нивелирования данных рисков страны мира активно принимают международные обязательства.

На заседании Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций (далее - ООН) 25 сентября 2015 года принята резолюция "Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития до 2030 года". Согласно данной резолюции 193 государства - члена ООН обязались обеспечить устойчивый, всеохватный и поступательный рост, социальную интеграцию и защиту окружающей среды в условиях партнерства и мира.

В декабре 2015 года принято Парижское соглашение, направленное на поддержку экологической целостности, "зеленой" экономики, передачу высокоэффективных технологий и адаптацию к изменяющемуся климату. Основными целями настоящего Соглашения являются удержание прироста глобальной средней температуры ниже 2°C сверх доиндустриальных уровней (уровень 1850-1900 гг.) и приложение усилий по ограничению прироста температуры до 1,5°C.

В этой связи, для реализации Парижского соглашения, все стороны каждые пять лет представляют свои планы действий в области климата - определяемые на национальном уровне вклады (далее - ОНУВ). Страны также разрабатывают стратегии низкоуглеродного развития, обеспечивающие долгосрочный горизонт для ОНУВ. Главной целью данных стратегий является

достижение баланса между антропогенными выбросами из источников и их абсорбцией поглотителями ПГ.

В настоящее время, несмотря на активное развитие солнечной энергетики и других возобновляемых источников энергии, основная часть выработки электроэнергии в мире по-прежнему обеспечивается за счет традиционных промышленных отраслей. К основным загрязняющим веществам, содержащимся в выбросах котельных и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), относятся сажа и зола — остаточные продукты сгорания органического топлива. Их количество и состав зависят от типа используемого топлива (каменный, древесный или сланцевый уголь, мазут, природный газ и др.).

Наиболее распространёнными загрязняющими веществами в пыли выбросов являются различные химические соединения, в том числе оксиды серы и азота. Помимо них, могут присутствовать соединения фтора и хлора, сероводород, угарный газ, а также тяжелые металлы.

В настоящее время взаимосвязь между тепловой энергией и окружающей средой рассматривается по-новому благодаря таким проблемам, как «кислотные» дожди, парниковый эффект, увеличение содержания в атмосфере вредных веществ. Ожидается, что уровень использования тепловой энергии в ближайшем будущем значительно возрастет, а это значит, что возрастет вредное воздействие газовых потоков.

Наиболее эффективным и широко применяемым методом очистки газовых потоков от пыли является электрическая очистка в сухих электрофильтрах. Значительные колебания количественных и качественных характеристик запыленных потоков отрицательно влияют на технологические режимы пылеулавливающих установок и снижают степень очистки газов. Следовательно, очистка газов от продуктов теплоэнергетических узлов и станций является одной из актуальных проблем. Поэтому проблема повышения эффективности установок пылеулавливания является важной задачей, решение которой возможно созданием автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) электрической очистки газов.

В связи с этим разработка систем автоматического управления электрической очисткой газов с использованием математических моделей и алгоритмов управления, учитывающих основные особенности технологии процесса электрической очистки газов и ориентированных на современные средства вычислительной техники, с целью создания АСУ ТП, обеспечивающей эффективность управления процессом, определяет актуальность избранной темы.

Идея работы заключается в синтезе эффективных режимов работы системы управления процессом очистки промышленных газов от пыли с учётом динамической настройки параметров фильтрации в зависимости от характеристик газового потока, используя современные методы управления.

Одной из важнейших проблем при охране окружающей среды является защита воздушного бассейна от чрезмерных загрязнений. Следовательно, создание автоматизированной системы управления очисткой отходящих газов

должно обеспечивать очистку промышленных газов до допустимых уровней содержания примесей при выбросе в атмосферу. Среди способов очистки промышленных газов электрическая очистка является наиболее эффективной. Данный способ очистки имеет ряд преимуществ, такие как:

- широкий диапазон производительности – от нескольких м³/час до миллионов м³/час;
- степень очистки газов – до 99,9 % и выше;
- гидравлическое сопротивление – не более 0,2 кПа (является основной причиной низких эксплуатационных затрат);
- электрофильтры могут улавливать сухие частицы, капли жидкости и частицы тумана;
- в электрофильтрах улавливаются частицы размером от 0,01 мкм (вирусы, табачный дым) до десятков микрон.

Особенностью функционирования электрофильтра является его способность обеспечивать максимальную степень очистки при значениях напряжённости электрического поля в межэлектродном пространстве, при которых возникают искровые пробои, но не происходит перехода в дуговой разряд. Уровень напряжения, приводящий к искровым пробоям, изменяется нелинейно в широком диапазоне и определяется множеством факторов. В их числе: характеристики исходящих газов, концентрация твердых частиц в газовом потоке, влажность, температура, размеры частиц пыли, их химический состав и электрическая проводимость, а также условия формирования осадочного слоя на осадительных электродах и ряд других параметров.

С развитием экологических принципов, методов оценки последствий загрязнения окружающей среды и признанием негативного влияния органических и химических загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий, на законодательном уровне были утверждены санитарно-гигиенические нормы их производственной деятельности. Законом зафиксирована необходимость применения стандарта - очистка газовых выбросов в атмосферу. Более того, очистка газовых выбросов, в которых содержатся токсичные вещества, - обязательное условие во всех отраслях народного хозяйства.

Вопросам очистки газов уделяется значительное внимание в правительственных документах:

- Указ президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121 «Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года»;
- Постановление Правительства Республики Казахстан от 14 декабря 2007 года N 1232 «Технический регламент Требования к эмиссиям в окружающую среду при сжигании различных видов топлива в котельных установках тепловых электрических станций»;
- Постановление Правительства Республики Казахстан от 29 июля 2020 года № 479 Об утверждении Плана мероприятий по реализации Концепции по переходу Республики Казахстан к "зеленой экономике" на 2021 – 2030 годы;

- Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 марта 2023 года № 264 Об утверждении Концепции развития сферы энергосбережения и повышения энергоэффективности Республики Казахстан на 2023 – 2029 годы;
- Постановление Правительства Республики Казахстан от 23 января 2024 года № 23 Справочник по наилучшим доступным техникам «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии»;
- Постановление Правительства Республики Казахстан от 11 марта 2024 года № 161 Заключение по наилучшим доступным техникам "Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии";
- Приказ Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 9 сентября 2021 года № 367 «Правила эксплуатации установок очистки газа».

Цель работы – разработка системы автоматического управления процессом очистки промышленных дымовых газов в электрофильтрах на основе комплексного регулирования, включающего распределение газовых потоков между отдельными электрофильтрами, управление электрическими параметрами их работы, а также систему встряхивания электродов. Предлагаемый подход предусматривает применение системного анализа химико-технологических процессов, обеспечивающего поддержание концентрации загрязняющих веществ в отходящих газах в пределах установленных нормативных значений, что способствует снижению техногенного воздействия на окружающую среду.

Объект исследования – система управления процессом очистки промышленных газов от пыли.

Предмет исследования – автоматизация технологических процессов электрической очистки газов от котельных и ТЭС.

Методы исследования – системный анализ химико-технологических процессов, методы анализ и синтеза ММО-систем, декомпозиции, методы теории нечеткой логики.

Основные задачи работы. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Разработать систему усовершенствованного управления на основе химического анализа состава промышленных газов.
- 2) Разработать многомерную многосвязную систему автоматического управления распределением промышленных газов по электрофильтрам.
- 3) Разработать систему управления электрическим режимом электрофильтров для обеспечения максимальной очистки промышленных газов при оптимальном потреблении электроэнергии.
- 4) Разработать систему автоматического управления работой механизмов встряхивания от пыли, обеспечивающую наиболее эффективное улавливание пыли в электрофильтре.

Научная новизна:

- 1) Проведена декомпозиция задачи управления процессом электрической очистки дымовых газов от пыли.

2) Предложена новая структура системы управления очисткой отходящих газов.

3) Разработана система усовершенствованного управления, учитывающая химический анализ промышленных отходящих газов.

4) Разработана математическая модель зависимости температуры от химического состава газа, путем параметрической идентификации данных.

5) Разработана ММО-система управления распределения газовых потоков по параллельно работающим электрофильтрам с типовыми регуляторами.

6) Разработана нечеткая модель процессов управления электрическим режимом ЭФ и встряхиванием электродов.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1) Проведена декомпозиция задачи управления процессом электрической очистки дымовых газов от пыли.

2) Предложена новая структура системы управления очисткой отходящих газов.

3) Разработана система усовершенствованного управления, учитывающая химический анализ промышленных отходящих газов.

4) Разработана математическая модель зависимости температуры от химического состава газа, путем параметрической идентификации данных.

5) Разработана ММО-система управления распределения газовых потоков по параллельно работающим электрофильтрам с типовыми регуляторами.

6) Разработана нечеткая модель процессов управления электрическим режимом ЭФ и встряхиванием электродов.

Практическая ценность работы. Результаты теоретических и практических исследований, представленные в работе, могут использоваться как методическая основа для разработки системы управления очисткой газов в электрофильтрах. Построенная система управления позволяет повысить эффективность технологического процесса за счет повышения качества и оперативности управления.

Программная реализация: Разработано комплексное программное обеспечение, реализующее разработанные модели и алгоритмы управления системы очистки промышленных газов в среде MATLAB & SCADA.

Реализация результатов работы. Основные научные и практические результаты диссертационной работы опубликованы в высокорейтинговых журналах: Scopus, Web of Science, ККСОН, а также апробированы на научно-практических конференциях. Имеется акт внедрения.

Связь с государственными программами. Тема диссертационной работы основана на приоритетных направлениях, выделенных в Постановлении Правительства Республики Казахстан от 29 июля 2020 года № 479 «Об утверждении Плана мероприятий по реализации Концепции по переходу Республики Казахстан к "зеленой экономике" на 2021 – 2030 годы», где предусмотрено снижение уровня выбросов углекислого газа в электроэнергетике.

Кроме того, в Постановлении Правительства Республики Казахстан от 23 января 2024 года № 23 «Об утверждении справочника по наилучшим доступным техникам «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии» указано, что наилучшие доступные техники - это используемые и планируемые отраслевые технологии, техника и оборудование, обеспечивающие организационные и управленческие меры, направленные на снижение уровня негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду до обеспечения целевых показателей качества окружающей среды.

В Приказе Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 9 сентября 2021 года № 367 «Правила эксплуатации установок очистки газа» приведено, что в период работы электрофильтра поддерживается электрический режим (величина тока, напряжение), газовая и пылевая нагрузки (скорость газа в рабочей зоне, гидравлическое сопротивление, объем и концентрация пыли на входе в аппарат), температура очищаемого газа.

Научные исследования, представленные в диссертации, проводились в рамках указанных Постановлениях Правительства Республики Казахстан и приказа Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих конференциях: 8th International Conference, New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation NEET, Zakopane, Poland, June 18-21, 2013; 13th International Scientific Conference on Optical Sensors and Electronic Sensors, Proc. of SPIE, 2014; Международная научно-практическая конференция «Подготовка инженерных кадров в контексте глобальных вызовов XXI века» в рамках Сатпаевских чтений-2013г.; Международная научно-практическая конференция «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика», Алматы, Казахстан, 3-4 декабря, 2015 г.; Международная конференция, Сатпаевские чтения – 2018: «Инновационные решения традиционных проблем: инженерная и технология»; XI Международная научно-техническая конференция «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование» Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» с 16 по 18 октября 2020г.; Сатпаевские чтения – 2021: «Автоматизация и роботизация».

Публикации по теме диссертации. По теме диссертационной работы опубликовано 17 научных работ, в том числе 4 статьи в журналах, индексируемых в базе данных Scopus, 4 статьи в сборниках конференций, индексируемых в базе данных Scopus, 5 работ в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 4 работы в сборниках международных конференций.

1) Modelling and analysis of electrostatic precipitator (ESP) in combustion process., EET' 2015 в Zakopane Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review) Kotyra A., Shegebayeva Zh., Imanbek B.

2) Application of Fuzzy Neural Networks in Combustion Process Diagnostics., *Energies* 2024, 17(1), 212; <https://doi.org/10.3390/en17010212>., Andrzej Kotyra, Saule Smailova, Bakhyt Yeraliyeva, Saule Kumargazhanova and Baglan Imanbek

3) Experiments on the effect of control signal duty cycle on pulse gas injector closing time., ISBN 978-83-63569-49-5, 8th International Conference, New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation NEET 2013, Zakopane, Poland, June 18-21, 2013.

4) Biomass co-combustion characterization based on analysis of flame image sequence., ISBN 978-83-63569-49-5, 8th International Conference, New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation NEET 2013, Zakopane, Poland, June 18-21, 2014. Kotyra A.,

5) Badania eksperymentalne wpływu wypełnienia sygnału sterującego na czas wylazania impulsowego wtrysku gazu., *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R.90 NR 3/2014., Mariusz Duk,

6) Application of fiber optic flame monitoring system for estimation burner input parameters., *Optical Fibers and Their Applications 2014*, edited by Jan Dorosz, Ryszard S. Romaniuk, Proc. of SPIE Vol. 9228, 92280O © 2014 SPIE CCC., Andrzej Kotyra, Sarsenbek Zhussupbekov.

7) Functional integration of automated system databases by means of artificial intelligence., ISSN: 0277-786X. ISBN: 9781510613546. Photonics applications in astronomy, communications, industry, and high energy physics experiments 2017, 28 may – 6 june Wilga, Poland.

8) Research and analysis of the physicochemical properties of coal and biomass

9) Моделирование эффективности очистки электрофильтров при различных физико-химических свойствах отходящих газов. Научный журнал "ҚазҰТЗУ Хабаршысы" - "Вестник КазННТУ" на номере журнала: №3 (115). Дата публикации: 2016-06-09. Жусупбеков С.С.

10) Estimation of Linear Model Identification of Dry filter workflow process. ТОО «Издательство «Ғылым» Национальной академии наук РК» 2016г. Wójcik W., Zhussupbekov S., OmirbekovaZh.

11) Разработка интеллектуальной системы управления технологическими процессами сухих электрофильтров на основе нейронных сетей., “intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация” Многопрофильный научный журнал Костанайского государственного университета им. А. Байтурсынова 2016 г., Жусупбеков С.С. Войцик В. Омирбекова Ж.Ж.

12) Көмір және биомассалардың физика – химиялық қасиеттерін талдау және зерттеу., Научный журнал "ҚазҰТЗУ Хабаршысы" - "Вестник КазННТУ" на номере журнала: №5 (123) Дата публикации: 2017-06-09.

13) Применение метода Циглера-Никольса для дискретных систем управления многосвязными объектами., вестник Алматинского университета энергетики и связи/ issn 2790-0886/импакт-фактор-0.154/4(55)2021г

https://doi.org/10.51775/2790-0886_2021_55_4_84., Жусупбеков С.С. Муханов Б.К.

14) Research active posterior rhinomanometry tomography method for nasal breathing determining violations., Sensors, 2021, 21(24), 8508 <https://doi.org/10.3390/s21248508>., Avrunin, O.G., Nosova, Y.V., Abdelhamid, I.Y., Harasim, D.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 разделов, заключения, списка использованной литературы из 100 наименований, изложенных на 129 страницах компьютерного текста, включает 62 рисунков, 15 таблиц и 15 приложений.