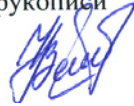


На правах рукописи



БЕЛОВА НАДЕЖДА ВЯЧЕСЛАВОВНА

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ В
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ГРАНУЛИРОВАНИЯ
СУСПЕНЗИЙ

Специальность: 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной
среды, веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2012

Работа выполнена на кафедре проектирования и производства электронно-вычислительных средств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Поволжский государственный технологический университет».

Научный руководитель: Стешина Людмила Александровна,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Даутов Осман Шакирович,
доктор технических наук, профессор, кафедры
радиоэлектронных и телекоммуникационных
систем ФГБОУ ВПО «Казанский национальный
исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева», г. Казань.

Кулешов Валерий Константинович,
доктор технических наук, профессор кафедры
физических методов и приборов контроля качества
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет», г. Томск.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Тольяттинский
государственный университет», г. Тольятти.

Защита состоится «18» декабря 2012 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.09 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» в зале заседаний ученого Совета по адресу: Россия, 634028, г.Томск, ул. Савиных, 7, ауд.215 (актовый зал).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 630034, г.Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан «__» ноября 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент



Б.Б.Винокуров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Контроль параметров технологического процесса одно из эффективных средств достижения выпуска продукции высокого качества и важнейшая функция управления процессом. Для предотвращения потерь энергетических и материальных ресурсов в ходе технологического процесса гранулирования суспензий необходимо обеспечить своевременное получение достоверной информации о параметрах технологического процесса, с максимальной точностью измерительной информации в переходных режимах технологического процесса. Недостоверная информация о параметрах газовой среды, используемой как несущей в процессе гранулирования суспензий, особенно в переходных режимах технологического процесса, является причиной «ложного» управления системой. Контроль таких параметров газовой среды как температура, давление, расход, влажность газовой среды и обеспечение оптимальных условий хода технологического процесса при быстроизменяющихся процессах тепло- и массообмена, является важной задачей для сохранения физико-химических свойств выпускаемого конечного продукта.

В диссертации представлен анализ работ известных отечественных и зарубежных ученых: В.П. Шевчука, Я. Пиотровского, П.В. Новицкого, Дж. Тейлора, В.А. Грановского, В.И. Лачкова и д.р., в которых исследованы вопросы точности при измерениях, предложены методики определения и повышения точности измерений. Авторами рассмотрены подходы к обеспечению точности измерительной информации о параметрах технологического процесса. Особенности технологического процесса в переходных режимах, качественные характеристики приборов контроля снижают возможность построения оптимальных алгоритмов управления процессом.

Таким образом, **важной и актуальной задачей** является контроль параметров газовой среды в процессе гранулирования суспензий, а именно обеспечение максимальной точности измерительной информации в переходных режимах технологического процесса.

Целью диссертационной работы является повышение точности измерений параметров газовой среды, создание алгоритмического и программно-технического обеспечения процессов обработки информативных сигналов и представления результатов измерений в системе контроля параметров газовой среды технологического процесса гранулирования суспензий.

Научная задача диссертации: совершенствование способа расчета и обработки информативных сигналов основанного на применении специальных методов адаптивной динамической коррекции, позволяющего повысить точность измерительной информации в системе контроля параметров газовой среды, с целью обеспечения качества готовой продукции и эффективности работы системы автоматического управления технологическим процессом гранулирования суспензий.

Для решения поставленной задачи необходимо решить ряд взаимосвязанных частных задач:

- провести анализ факторов, влияющих на точность измерительной информации в каналах системы контроля параметров газовой среды в переходных режимах технологического процесса;

- разработать математические модели измерительных каналов системы контроля и имитационную модель системы контроля параметров газовой среды. Провести имитационные и экспериментальные исследования;

- разработать способ измерения параметров газовой среды, алгоритмическое и программно-техническое обеспечения его реализации. Предложенный алгоритм реализовать на лабораторной установке измерения параметров газовой среды;

- разработать методику выполнения измерений для проведения экспериментальных исследований.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи использовались методы современной теории управления и идентификации динамических систем, теории измерений и измерительных преобразователей, статистического оценивания параметров процессов и оптимальной фильтрации, имитационного моделирования и экспериментального исследования, вероятностно-статистической обработки результатов.

Научная новизна работы определяется следующими основными результатами:

- разработаны математические модели измерительных каналов системы контроля параметров газовой среды технологического процесса гранулирования суспензий;

- предложена имитационная модель системы контроля параметров газовой среды, позволяющая проводить многофакторные имитационные эксперименты;

- предложен способ измерения параметров газовой среды, позволяющий повысить точность измерительной информации в системе контроля параметров газовой среды в переходных режимах технологического процесса. Разработанный способ основывается на методах адаптивной динамической коррекции и аналитического конструирования агрегированных регуляторов;

- разработано алгоритмическое и программно-техническое обеспечение для реализации предложенного способа;

- разработана методика выполнения измерений.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенный способ и разработанное устройство реализованы в системе контроля лабораторной установки измерения параметров газовой среды, оснащенной промышленными измерительными приборами для проведения многофакторных экспериментальных исследований.

Диссертационные исследования проведены в рамках программы:

- «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («У.М.Н.И.К.») по государственному контракту № 6041р/8519 «Разработка

новых образцов техники в области машиностроения, радиотехники и средств управления с использованием критических технологий»;

- «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)» № 2.1.2/6206 «Исследование устойчивости и обеспечение инвариантности энергосберегающих систем адаптивного управления динамическими объектами»;

- ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы проект № НК-136П (2).

Достоверность и обоснованность полученных результатов базируется на построении адекватных математических моделей, применении современных методов анализа измерительных каналов, согласовании теоретических положений с результатами, полученными в ходе естественного функционирования устройства по предложенному способу, а также на опыте внедрения и применения приборов контроля параметров газовой среды в технологических процессах гранулирования суспензий методом распылительной сушки.

На защиту выносятся:

- способ измерения параметров газовой среды, позволяющий повысить точность измерительной информации в системе контроля параметров газовой среды в переходных режимах технологического процесса;
- математические модели измерительных каналов системы контроля параметров газовой среды технологического процесса гранулирования суспензий;
- имитационная модель системы контроля параметров газовой среды технологического процесса гранулирования суспензий и результаты экспериментальных исследований;
- алгоритм обработки информативных сигналов и результаты измерений в системе контроля;
- методика выполнения измерений параметров газовой среды.

Апробация работы. Основные результаты работы обсуждались и докладывались на 3-ей международной конференции молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы современной науки» (г. Самара 2007 г.), Всероссийской НПК «Инновационные разработки вузовской науки – российской экономике» (г. Йошкар-Ола, 2008 г.), Международной научной студенческой конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам (г. Йошкар-Ола, 2008 г.) НТК профессорско-преподавательского состава МарГТУ (г. Йошкар-Ола 2008 г., 2009 г., 2010 г.), Всероссийской междисциплинарной научной конференции с международным участием (г. Йошкар-Ола, 2007 г.), VIII Международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ'2009» (Владимир-Суздаль, 2009 г.), (XXIX Российской школе по проблемам науки и технологий, посвященной 85-летию со дня рождения академика В.П. Макеева (г. Миасс Челябинская обл., 2009 г.), Второй международной научной конференции - «Математическое моделирование и дифференциальные уравнения» (Минск,

Республика Беларусь, 2009г.); Международной научно-технической конференции «Проблемы автоматизации и управления в технических системах 2009» (г. Пенза, 2009 г.); Межрегиональной конференции «Моделирование и создание объектов энергоресурсосберегающих технологий» (г. Волжский, 2009 г.); IX Всероссийской школе-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (г. Липецк, 2012); Расширенном заседании кафедры проектирования и производства ЭВС ФГБОУ ВПО «ПГТУ», 2012 г.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 18 печатных работах, в том числе, в 4 статьях периодических изданий из перечня ВАК, в 3 других научных журналах, 7 материалах и 2 тезисах докладов. На предложенные технические решения получено 2 патента РФ на изобретение.

Реализация и внедрение результатов работы.

Полученные научно-технические результаты внедрены в производственный процесс ООО «Конси-Стекольный завод». Результаты исследований используются в научно-исследовательском процессе ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет». Разработанная структура устройства, способ для измерения параметров газового потока, обеспечивающий точность измерительной информации в системе контроля параметров газовой среды, используются в учебном процессе специальности 220500.65 «Проектирование и технология электронных средств» и специальности 210100.65 «Управление и информатика в технических системах» кафедрой «Проектирование и производство электронно-вычислительных средств» ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет» при проведении занятий по дисциплинам «Теория автоматического управления» и «Учебная научно-исследовательская работа студентов», «Информационно-измерительные системы и комплексы».

Личный вклад автора. Автором разработаны:

- математические модели измерительных каналов системы контроля параметров газовой среды технологического процесса гранулирования суспензий методом распылительной сушки;
- имитационная модель системы контроля;
- алгоритмическое и программно-техническое обеспечение системы контроля, позволяющее реализовать разработанный способ измерения параметров газовой среды;
- методика выполнения измерений параметров газовой среды на экспериментальной лабораторной установке.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, приложений. Основное содержание диссертации отраженно изложено на 124 машинописных страницах и содержит 21 рисунок и 8 таблиц. Библиография включает 122 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и решаемые задачи, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, указана их научная новизна и практическая ценность.

В первой главе проведен анализ существующих способов измерения и приборов контроля параметров газовой среды в энергоемких технологических процессах. Описаны измерительные каналы системы контроля параметров газовой среды технологического процесса гранулирования суспензий.

Рассмотрены подходы повышения точности измерений в переходных режимах технологического процесса. Приведен анализ погрешностей, описаны источники их возникновения, рассмотрены методы и критерии оценки точности измерений.

Выявлено, что повышение точности измерительной информации в системе контроля в переходных режимах технологического процесса возможно за счет применения специальных методов адаптивной динамической коррекции, основанной на предсказании поведения системы по характеру изменения сигнала. На основе проведенного анализа сформулирована научная задача диссертации.

Во второй главе представлены математические модели (ММ) измерительных каналов системы контроля параметров газовой среды технологического процесса гранулирования суспензий. Исходными данными для разработки ММ являются общие законы сохранения масс, теплопередачи, а также конструктивные особенности приборов.

В измерительном канале «Температура» системы контроля используется термопреобразователь сопротивления платиновый ТСП-1187.

ММ измерительного канала «Температура», с учетом конструктивных особенностей датчика и свойств газовой среды, описывается уравнением:

$$\frac{dT_{\text{газа}}}{dt} = \frac{1}{\left(M_{\text{газа}} - \frac{W}{V_{\text{тр.}}}\right) \times c_{\text{газа}} + c_{\text{H}_2\text{O}} \times \frac{W}{V_{\text{тр.}}}} \times \frac{2\pi l (T_{\text{газа}} - T_4)}{\frac{1}{\alpha_{\text{газа}}} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_1}{r_2} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_2}{r_3} + \frac{1}{\lambda_3}}, \quad (1)$$

где T_4 – температура газа, эквивалентная электрическому сигналу датчика; $T_{\text{газа}}$ – действительная температура газового потока; $\alpha_{\text{газа}}$ – коэффициент теплоотдачи газа; r_1 , r_2 , r_3 , – радиусы стального, алюминиевого и платинового слоев термопреобразователя соответственно; λ_1 , λ_2 , λ_3 – коэффициент теплопередачи стали, алюминия и платины соответственно, $c_{\text{газа}}$ – теплоемкость потока газа; $M_{\text{газа}}$ – масса газа; l – длина стержня термопреобразователя; W – абсолютная влажность газового потока; $V_{\text{тр}}$ – объем измерительной линии трубопровода.

ММ измерительного канала «Давление», полученная на основе уравнения Менделеева-Клапейрона, отображает взаимодействие датчика давления и

газовой среды с учетом конструктивных особенностей датчика. Изменения в камерах 1 и 2 соответственно для датчика №1 (вход) описывается уравнениями:

$$\frac{dP_{K1}^{D1}}{dt} = \frac{R}{V_{K1}^{D1}} \left(\xi \sqrt{P_1 - P_{K1}^{D1}} T_{газа} + \frac{dT_{газа}}{dt} M_{K1}^{D1} \right), \quad (2)$$

$$\frac{dP_{K2}^{D1}}{dt} = \frac{R}{V_{K2}^{D1}} \left(\xi \sqrt{P_{K2}^{D1} - P_1} T_{газа} + \frac{dT_{газа}}{dt} M_{K2}^{D1} \right), \quad (3)$$

Изменения в камерах 1 и 2 соответственно для датчика №2:

$$\frac{dP_{K1}^{D2}}{dt} = \frac{R}{V_{K1}^{D2}} \left(\xi \sqrt{P_2 - P_{K1}^{D2}} T_{газа} + \frac{dT_{газа}}{dt} M_{K1}^{D2} \right), \quad (4)$$

$$\frac{dP_{K2}^{D2}}{dt} = \frac{R}{V_{K2}^{D2}} \left(\xi \sqrt{P_{K2}^{D2} - P_2} T_{газа} + \frac{dT_{газа}}{dt} M_{K2}^{D2} \right), \quad (5)$$

где $\dot{M}_{вх}$ – массовый расход в 1-й камере датчика; $\dot{M}_{вых}$ – массовый расход во 2-й камере датчика; P_{K1}^{Di} – давление в 1-й камере соответствующего датчика; P_{K2}^{Di} – давление во 2-й камере датчика; $P_{вх}$ – давление на входе в 1-ю камеру датчика ($P_{вх} = P_1$); $P_{вых}$ – давление на выходе из 2-й камеры датчика ($P_{вых} = P_2$); P_1 , P_2 – давление датчика №1 и №2 соответственно; ξ – коэффициент местного сопротивления трубки на входе и выходе камер датчика.

Уравнения (2) – (5) описывают принцип действия датчиков давления, установленных на входе и выходе измерительной линии лабораторной установки. ММ измерительных каналов давления на входе и выходе системы контроля позволяют определить массовый расход газовой среды $\dot{M}$.

$$\dot{M} = \xi_{тр} \sqrt{P_1 - P_2}, \quad (6)$$

ММ измерительного канала влажности отображает изменение интенсивности излучения в системе, что является показателем влагосодержания в газовой среде. На основании принципа действия оптического датчика влажности, используемого в системе, интенсивности излучения определяется по закону Ламберта-Бугера-Бэра и описывается выражением:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-kWL}, \quad (7)$$

где I , I_0 – интенсивность монохроматического излучения на входе и выходе измерительной линии, эквивалентная электрическому сигналу датчика; k – коэффициент поглощения; W – абсолютная влажность газа; L – длина оптического пути.

Поглощение монохроматического излучения зависит от параметров исследуемой среды, и определяется зависимостью:

$$1 - e^{-k\alpha L} = k \sqrt{\frac{P}{P_0}} \sqrt{\frac{T_0}{T}} \sqrt{W}, \quad (8)$$

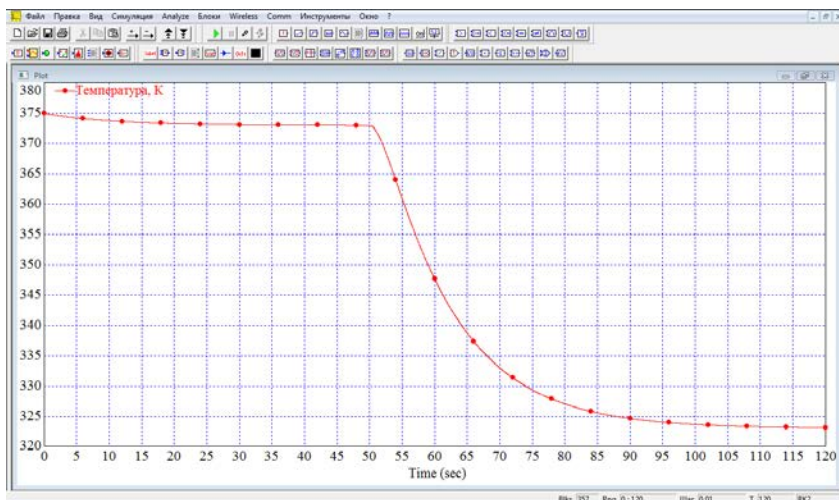
Совокупность уравнений (1) – (8) образует ММ системы контроля и является основой для разработанной имитационной модели.

Адекватность ММ системы контроля подтверждена соответствием теоретических данных, полученных с использованием имитационной модели, с данными производственных испытаний действующей установки гранулирования суспензий Кировоградского завода твердых сплавов.

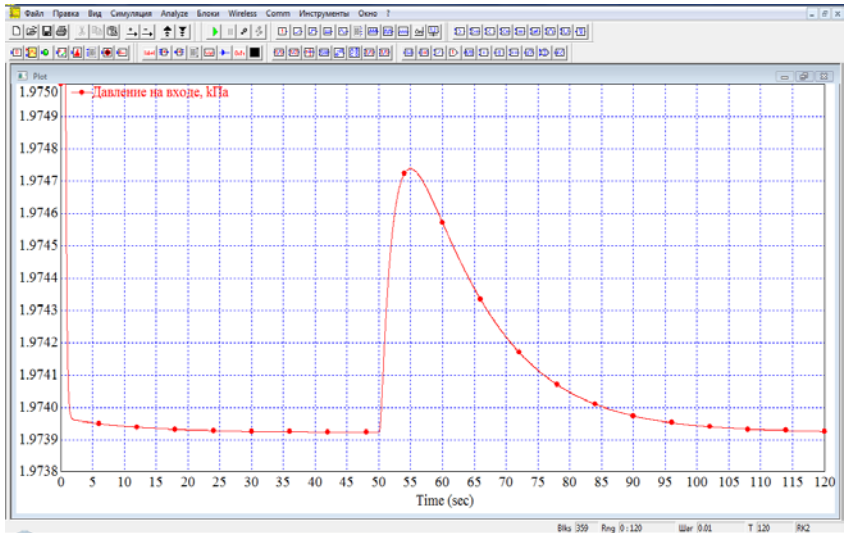
Результаты имитационного моделирования процесса измерения параметров газовой среды в системе контроля технологического процесса гранулирования представлены на рисунке 1.

На рисунке 2 представлены вычисляемые параметры, такие как давление в системе и расход несущей среды.

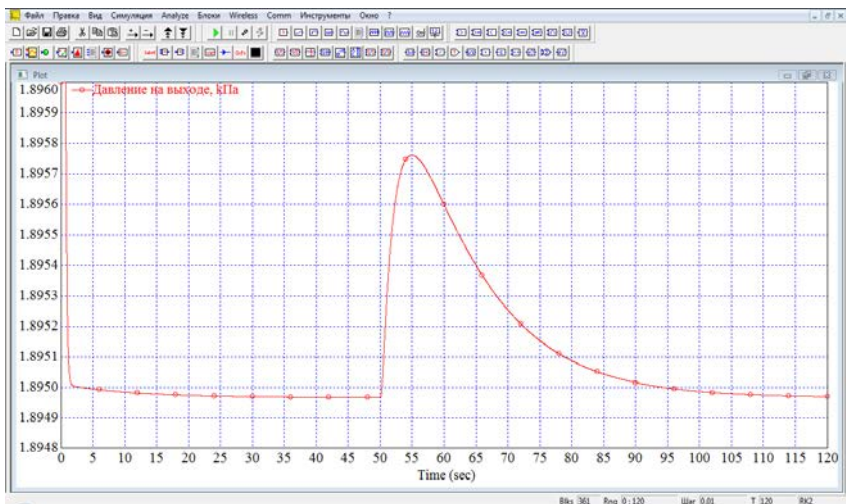
Имитационная модель системы контроля позволяет проводить многофакторные имитационные исследования в переходных режимах технологического процесса гранулирования суспензий.



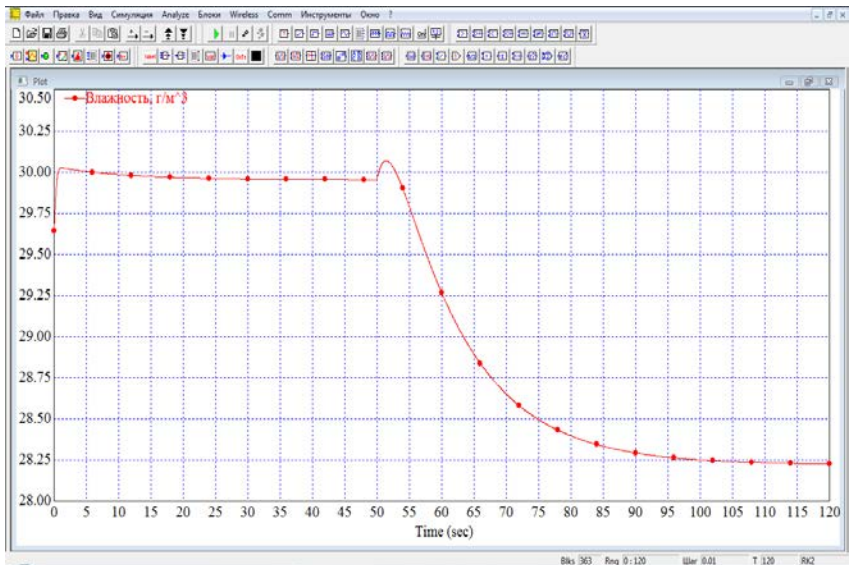
а) ИК «Температура», К



б) ИК «Давление» (вход), кПа

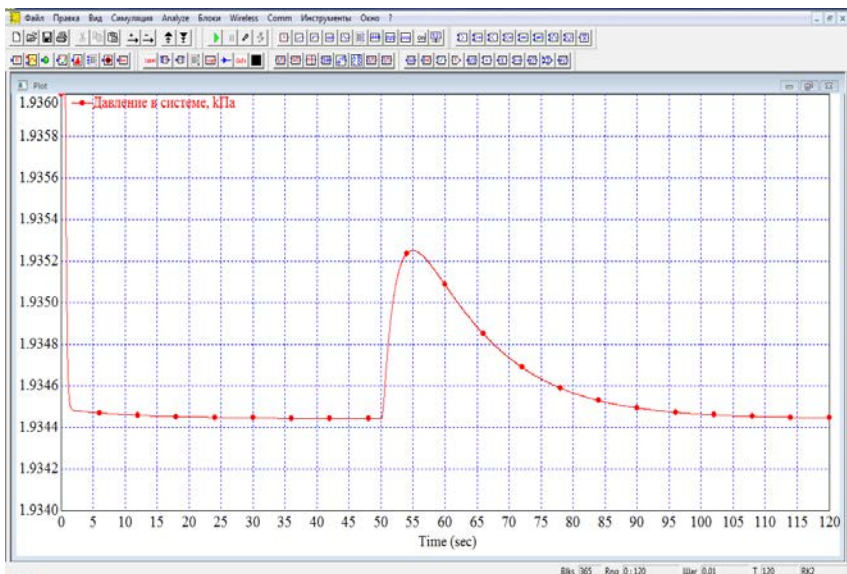


в) ИК «Давление» (выход), кПа

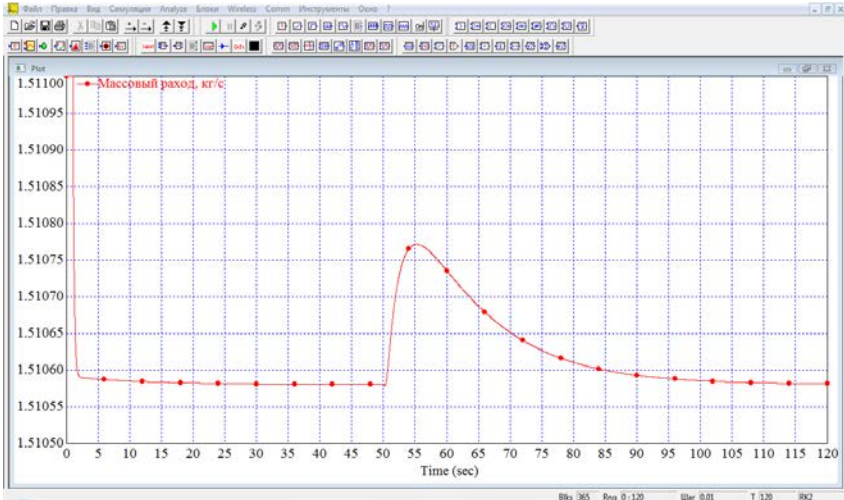


в) ИК «Влажность», г/м^3

Рисунок 1 - Результаты имитационного моделирования процесса измерения параметров газовой среды.



а) Изменение давления в системе, кПа.



б) Изменение массового расхода в системе, кг/с.

Рисунке 2 - Результаты имитационного моделирования вычисляемых параметров газовой среды.

В третьей главе разработан способ для измерения параметров газовой среды, позволяющий повысить точность измерительной информации в системе контроля параметров газовой среды в переходных режимах технологического процесса.

При разработке способа для измерения параметров газовой среды использовались математические модели измерительных каналов системы контроля, приведенные к виду «вход-выход», специальные методы динамической коррекции, а именно метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов, основанный на предсказании поведения системы по характеру изменения сигнала. В результате математических преобразований и замены постоянных переменных константами, математические модели измерительных каналов системы контроля, представленные выражениями (1) – (8), преобразованы в НФК и описываются системой уравнений:

$$\dot{x}_1 = \frac{K_1}{\left[x_8 + \frac{x_6}{K_2} \right] x_7 + x_6 \frac{K_4}{K_2}} (x_1 - \tilde{x}_1), \quad (9)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{K_4 K_5}{x_9} \left[x_9 \dot{x} + K_6 x_1 \sqrt{\tilde{x}_2 - x_2} \right], \quad (10)$$

$$\dot{x}_3 = \frac{K_4 K_5}{x_{10}} \left[x_{10} \dot{x} + K_6 x_1 \sqrt{x_3 - \tilde{x}_2} \right], \quad (11)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{K_4 K_5}{x_{11}} \left[x_{11} \dot{x}_1 + K_6 x_1 \sqrt{\tilde{x}_3 - x_4} \right], \quad (12)$$

$$\dot{x}_5 = \frac{K_4 K_5}{x_{12}} \left[x_{12} \dot{x}_1 + K_6 x_1 \sqrt{x_5 - \tilde{x}_3} \right], \quad (13)$$

$$K_7 \sqrt{\frac{x_2 - x_3 + x_0}{\tilde{x}_2}} \sqrt[4]{\frac{\tilde{x}_1}{x_1}} = 1 - e^{\tilde{x}_3 K_8}, \quad (14)$$

где x_1 – действительное значение температуры; x_2 , x_3 – действительное значение давления на входе и выходе датчика давления 1 соответственно; x_4 , x_5 – действительное значение давления на входе и выходе датчика давления 2 соответственно; x_6 – действительное значение влажности газового потока; $\tilde{x}_1$ – значение температуры, эквивалентное электрическому сигналу датчика; $\tilde{x}_2$, $\tilde{x}_3$ – значение давления, эквивалентное давлению в камерах 1 и 2 датчика давления 1 соответственно; $\tilde{x}_4$, $\tilde{x}_5$ – значение давления, эквивалентное давлению в камерах 1 и 2 датчика давления 2 соответственно; $\tilde{x}_6$ – значение влажности, соответствующее электрическому сигналу датчика; K_1 – K_{17} – расчетные коэффициенты математической модели.

Ввод функций компенсирующих воздействий – управление по каждому измерительному каналу, обеспечивает движение системы в заданном многообразии.

С учетом ввода компенсирующих воздействий, система уравнений (9-13) представлена в терминах «вход-выход».

$$\dot{x}_1 = B_{11}(x_1 - \tilde{x}_1) + U_1, \quad (15)$$

$$\dot{x}_2 = B_{21} \cdot \dot{x}_1 + B_{22} x_1 \sqrt{\tilde{x}_2 - x_2} + U_2, \quad (16)$$

$$\dot{x}_3 = B_{31} \cdot \dot{x}_1 + B_{32} \cdot x_1 \sqrt{x_3 - \tilde{x}_2} + U_3, \quad (17)$$

$$\dot{x}_4 = B_{41} \cdot \dot{x}_1 + B_{42} \cdot x_1 \cdot \sqrt{\tilde{x}_3 - x_4} + U_4, \quad (18)$$

$$\dot{x}_5 = B_{51} \dot{x}_1 + B_{52} x_1 \sqrt{x_5 - \tilde{x}_3} + U_5, \quad (19)$$

где B_{ij} – коэффициент, определяющий фазовую траекторию движения вектора; U_i – функция компенсирующего воздействия для каждого измерительного канала.

Уравнение $\min$ сопровождающего функционала J и асимптотической устойчивости в целом или в некоторой допустимой области имеет вид:

$$J = \int_0^{\infty} [m^2 \psi^2 + c^2 \dot{\psi}^2(t)] dt, \quad (20)$$

где $\psi(x)$ – некоторая функция переменной x .

Уравнение экстремали имеет вид:

$$T\dot{\psi}(t) + \psi = 0, \quad (21)$$

где T – константа, обеспечивающая движение вдоль заданного многообразия.

С целью обеспечения движения вдоль заданного многообразия произведен последовательный ввод макропеременных в уравнения (15) – (19).

Макропеременные измерительных каналов (ИК) представлены следующими выражениями: ИК температуры: $\psi_1 = \alpha_1 x_1$; ИК давления (вход):

$$\psi_2 = \alpha_2 \sqrt{\tilde{x}_2 - x_2}, \quad \psi_3 = \alpha_3 \sqrt{x_3 - \tilde{x}_2}; \quad \text{ИК давление (выход): } \psi_4 = \alpha_4 \sqrt{\tilde{x}_4 - x_4},$$

$$\psi_5 = \alpha_5 \sqrt{x_5 - \tilde{x}_4}.$$

Выполнив последовательный ввод макропеременных в уравнение экстремали, ММ будет иметь вид:

$$U_1 = \tilde{x}_1 - x_1(1 - \alpha_1). \quad (22)$$

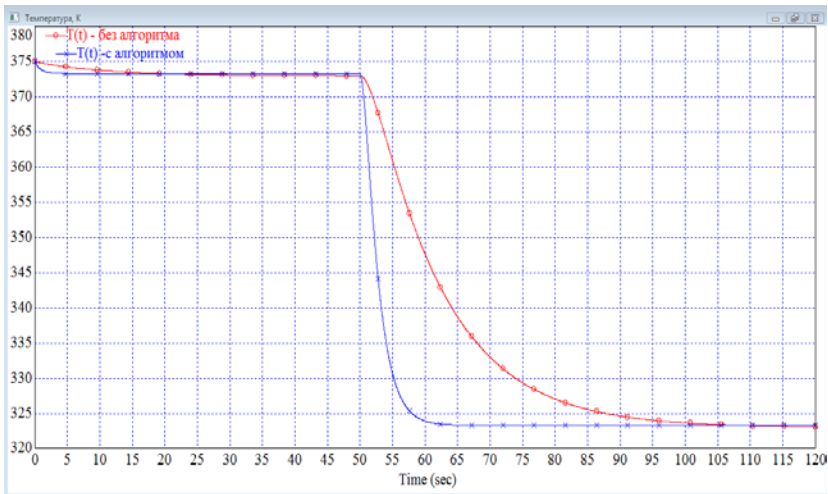
$$U_2 = \frac{2}{T_2}(\tilde{x}_2 - x_2) - B_{21}[B_{11}(x_1 - \tilde{x}_1) + \tilde{x}_1 - (\alpha_1 - 1)] - B_{22}x_1\sqrt{\tilde{x}_2 - x_2}. \quad (23)$$

$$U_3 = -\frac{2}{T_3}(x_3 - \tilde{x}_2) - B_{31}[B_{11}(x_1 - \tilde{x}_1) + \tilde{x}_1 - (\alpha_1 - 1)] - B_{32}x_1\sqrt{x_3 - \tilde{x}_2}. \quad (24)$$

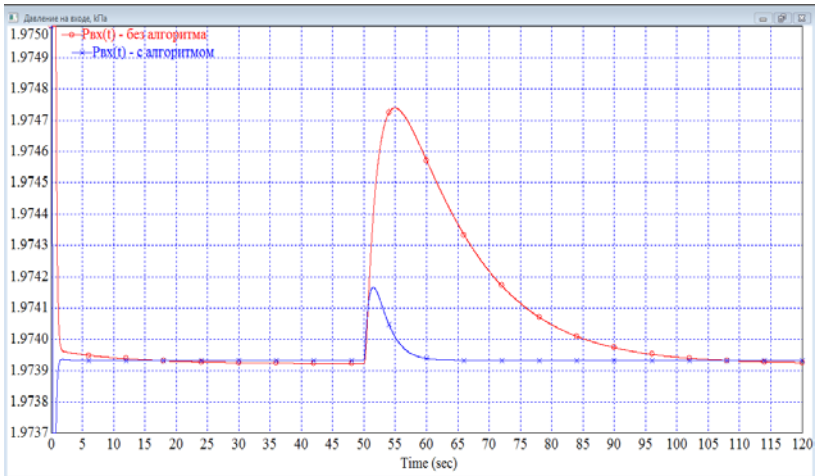
$$U_4 = \frac{2}{T_4}(\tilde{x}_4 - x_4) - B_{41}[B_{11}(x_1 - \tilde{x}_1) + \tilde{x}_1 - (\alpha_1 - 1)] - B_{42}x_1\sqrt{\tilde{x}_4 - x_4}; \quad (25)$$

$$U_5 = -\frac{2}{T_5}(x_5 - \tilde{x}_4) - B_{51}[B_{11}(x_1 - \tilde{x}_1) + \tilde{x}_1 - (\alpha_1 - 1)] - B_{52}x_1\sqrt{x_5 - \tilde{x}_4}. \quad (26)$$

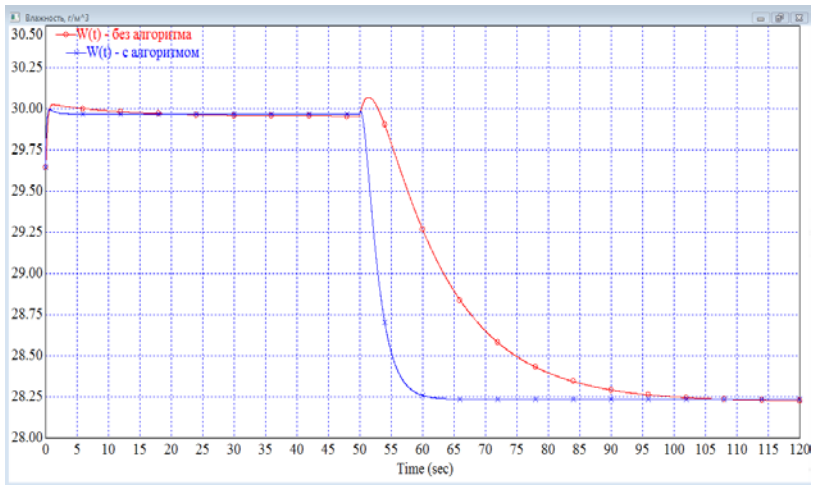
По результатам расчета функций компенсирующих воздействий, имитационная модель системы контроля дополнена соответствующими блоками. Результаты имитационного моделирования измерительных каналов параметров газовой среды при использовании предложенного способа представлены на рисунке 3.



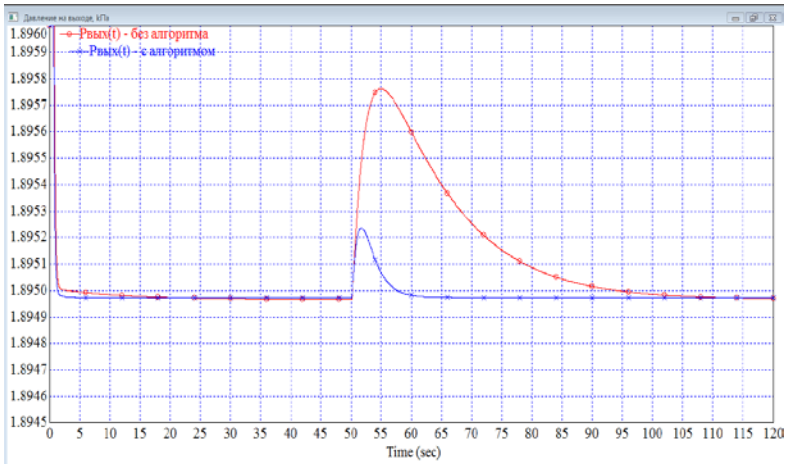
а) ИК «Температура», К.



б) ИК «Давление» (вход), кПа.



в) ИК «Влажность», г/м³.



г) ИК «Давление» (выход), кПа.

Рисунок 3 - Результаты имитационного моделирования измерительных каналов параметров газовой среды с использованием алгоритма обработки измерений

Результаты имитационного моделирования подтверждают эффективность применения предложенного способа. Блок-схема алгоритма, реализующего предложенный способ, представлена на рисунке 4. Научная новизна предложенного и обособленного способа измерения параметров подтверждена патентом. (Патент №2423674).

Разработанное устройство для измерения параметров газовой среды включает в себя датчик температуры, два датчика давления, установленные на входе и выходе измерительной линии, блок обработки измерительной информации (интеллектуальный модуль), индикаторный блок и диафрагму, дополнительно используется датчик влажности. Новизна технического решения подтверждена патентом РФ на полезную модель. (Патент №75045).

Система контроля параметров газовой среды, представленная на рисунке 5, реализована на лабораторной установке (ЛУ) измерения параметров газовой среды. ЛУ является макетом установки гранулирования суспензий Кировоградского завода твердых сплавов и включает в себя измерительную линию трубопровода с расположенными на ней ПИП, щит автоматики, и блок инициализации. Схема ЛУ представлена на рисунке 6.

Измерительные приборы ЛУ являются промышленными датчиками и используются при измерении параметров на действующей установке гранулирования суспензий. Диапазон измерений датчиков согласован с условиями работы ЛУ.

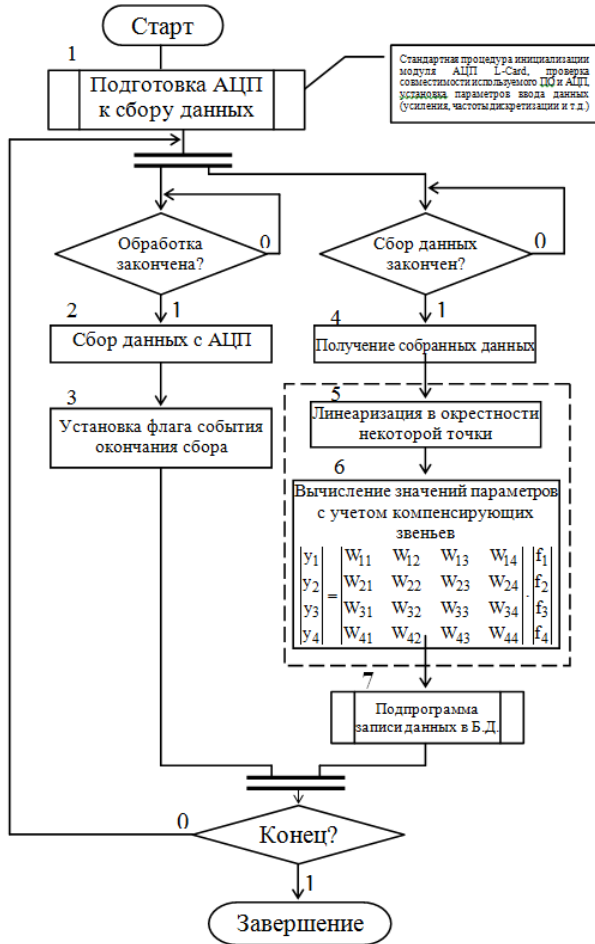


Рисунок 4 - Блок – схема алгоритма, реализующего способ измерения параметров

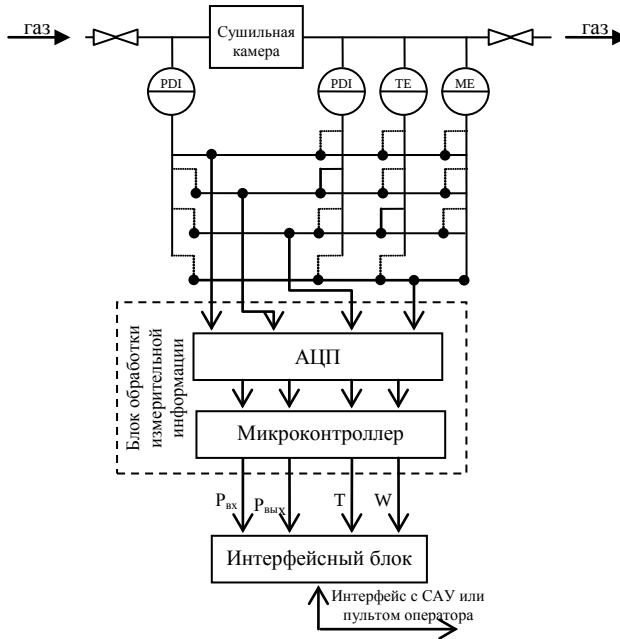


Рисунок 5 - Структурная схема системы контроля параметров газовой среды.

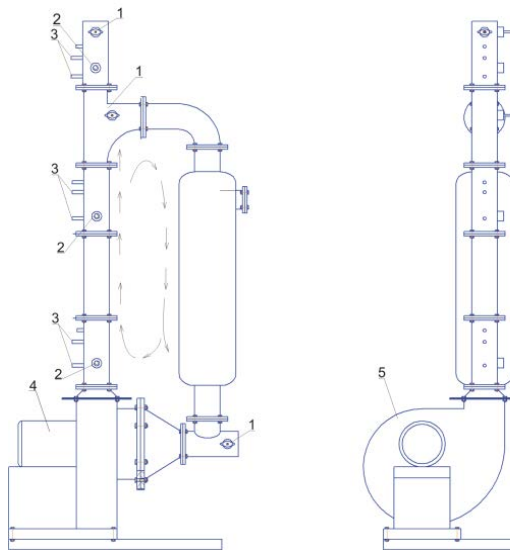


Рисунок 6 - Измерительная линия трубопровода лабораторной установки системы контроля параметров газовой среды. 1 – заглушка, 2 – гильза для установки термометра, 3 – штуцер для установки манометра, 4 – двигатель, 5 – вентилятор.

В четвертой главе предложена методика выполнения измерений параметров газовой среды, представлены результаты экспериментальных исследований на лабораторной установке и выполнена оценка погрешностей измерительных каналов системы контроля.

Таблица 1- Результаты статистической обработки измерительной информации, СКО

	Измерительный канал			
	«Температура»	«Давление»(вход)	«Давление» (выход)	«Влажность»
Без алгоритма	1,279	$0,656 \cdot 10^{-3}$	$0,637 \cdot 10^{-3}$	0,233
С алгоритмом	1,135	$0,631 \cdot 10^{-3}$	$0,620 \cdot 10^{-3}$	0,164

Выполнена аппроксимация экспериментальных данных, и получены передаточные функции каждого измерительного канала.

На основе передаточных функций определены следующие качественные характеристики ИК: интегральная оценка качества; оценка по методу коэффициентов ошибок. По результатам экспериментальных данных выполнен анализ эффективности использования предложенного способа. Анализ качественных характеристик показал уменьшение интегральной ошибки в 2-14 раз, уменьшение коэффициентов ошибки в 2,5 – 4 раза в зависимости от ИК системы.

На основании разработанной методики выполнения измерений и экспериментальных исследований проанализированы априорные погрешности измерительных каналов: случайная погрешность, систематическая погрешность, погрешность гистерезиса, динамическая погрешность, дополнительная погрешность.

Таблица 2 - Значение погрешностей измерительных каналов системы контроля при $t=50^{\circ}\text{C}$

	$\dot{\Delta}$	$\dot{\Delta}_c$	$\dot{\Delta}_H$	$\dot{\Delta}_{\text{дин}}$	$\dot{\Delta}_{\text{доп}}$
ИК «Температура»					
Без алгоритма	0,3	0,016	0,34	0	0,008
С алгоритмом	0,3	0,009	0,01	0	0,0045
ИК «Давление» (вход)					
Без алгоритма	0,5	0,007	0,012	0	0,004
С алгоритмом	0,5	0,005	0,01	0	0,003
ИК «Давление» (выход)					
Без алгоритма	0,5	0,007	0,012	0	0,004
С алгоритмом	0,5	0,005	0,01	0	0,003
ИК «Влажность»					
Без алгоритма	0,003	0,003	0,017	0	0,002
С алгоритмом	0,003	0,001	0,013	0	0,0006

При оценке погрешностей каждого ИК измерений выявлено, что основной составляющей, которая вносит погрешность в измерения, является погрешность Гистерезиса, возникающая вследствие инерционности датчиков. В результате

вероятностно-статистической обработки экспериментальных данных выявлено, что ИК «Температура» в системе контроля обладает наибольшей погрешностью Гистерезиса. В результате применения алгоритма обработки измерительной информации погрешность Гистерезиса уменьшается на 33 %.

В заключении сформулированы основные результаты работы и рекомендации по их использованию. Обозначены возможные направления дальнейших исследований.

В приложении приведены дополнительные материалы, необходимые для изложения основных положений работы, и прилагаются документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационной работы.

Основные выводы по работе:

1. предложен способ для измерения параметров газовой среды, основанный на применении методов адаптивной динамической коррекции и аналитического конструирования агрегированных регуляторов, позволяющий повысить точность измерительной информации в системе контроля параметров газовой среды в переходных режимах технологического процесса гранулирования суспензий;
2. разработаны математические модели измерительных каналов, имитационная модель системы контроля параметров газовой среды;
3. разработана структура устройства, алгоритмическое и программно-техническое обеспечение для реализации предложенного способа;
4. разработана методика выполнения измерений параметров газовой среды на экспериментальной лабораторной установке;
5. выполнена оценка погрешностей измерительных каналов системы контроля параметров газовой среды.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Стешина, Л.А. Математическая модель системы измерения параметров газовых потоков. / Л.А. Стешина, Н.В. Белова // Автоматизация и современные технологии. - 2009. - № 11. - С.36-38.
2. Белова, Н.В. Программно-аппаратная система измерения параметров газового потока. / Н.В. Белова, Л.А. Стешина // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. - №2. С. 18-20.
3. Белова, Н.В. Способ измерения и обработки параметров газового потока в процессе гранулирования суспензий / Н.В. Белова // Системы управления и информационные технологии, 4(38), 2009. - С. 73-77.
4. Белова Н.В. Лабораторная установка для измерения параметров потоков многофазных сред. / Н.В. Белова, Л.А. Стешина // Современные проблемы науки и образования. [Электронный ресурс] – 2011. - №3.
5. Патент RU 75045 U1 G01N23/00. Устройство измерения параметров газового потока / Савиных А.Б., Стешина Л.А., Белова Н.В. (Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный технический университет»). – 2008104094/22; Заявлено 04.02.2008 // Изобретения (Заявки и патенты). - 2008. – №20.

6. Патент Ru 2423674 C2 G01N15/00. Способ для измерения параметров проточных многокомпонентных сред / Савиных А.Б., Стешина Л.А., Белова Н.В. – 2009119833/28; Заявлено 25.05.2009 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2011. – №19.

7. Белова, Н.В. Применение ПФЭ при измерении параметров газового потока. / Н.В. Белова, О.А. Малинина // Молодой ученый. – г. Чита. №4-2010. с. 65-70.

8. Белова, Н.В. Разработка эффективных планов проведения активного эксперимента технологических процессов гранулирования суспензий. // Н.В. Белова, О.А. Малинина // Ежегодная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов МарГТУ – Йошкар-Ола, 2009.

9. Белова, Н.В. Система измерения параметров газового потока в трубопроводе / Н.В. Белова // Труды 3-й международной конференции молодых учёных и студентов «Актуальные проблемы современной науки». Естественные науки. Часть 12. Секция: НЕФТЕХИМИЯ, ОХРАНА ТРУДА. Самара. 2007. С. 4-6.

10. Белова, Н.В. Способ и алгоритм повышения динамической точности измерения параметров газовой среды. / Н.В. Белова, Л.А. Стешина, И.О. Танрыведиев // Вестник МарГТУ, секция Радиотехника. - 2009. №2 (6). С. 78-82.

11. Белова, Н.В. Алгоритм обработки информации при измерении параметров газового потока / Н.В. Белова // Наука и технологии. Тезисы докладов XXIX Российской школы, посвященной 85-летию со дня рождения академика В.П. Макеева. - Миасс: МСНТ, 2009.- С. 30. - Библиогр.: с. 135 - 137.

12. Белова, Н.В. Анализ результатов имитационного моделирования при измерении параметров в процессе гранулирования суспензий. / Н.В. Белова, А.Б. Савиных, Л.А. Стешина // Материалы межрегиональной конференции «Моделирование и создание объектов энерго ресурсосберегающих технологий». - г. Волжский, 2009 г.

13. Белова, Н.В. Аппаратно - программный комплекс измерения параметров потоков многофазных сред / Н.В. Белова, Л.А. Стешина // Инновационные разработки вузовской науки – российской экономике: сб. статей. / Йошкар-Ола, Марийский гос. техн. ун-т, 2008. – С. 72-75.

14. Белова, Н.В. Имитационная модель измерения параметров газового потока. /Сб. статей профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов и студентов МарГТУ по итогам НТК в 2009 г. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2009. – С. 43-43.

15. Белова, Н.В. Оптимизация измерения параметров газового потока в переходных режимах работы технологических процессов. / Н.В. Белова // «Математическое моделирование и дифференциальные уравнения»: тез. Докладов Второй международной научной конференции. Часть I. - Минск, Институт математики НАН Беларуси, 2009. С. 24-25.

16. Белова, Н.В. Проблемы управления динамическими объектами в энерго- и ресурсоемких производствах / Н.В. Белова, А.Б. Савиных, Л.А. Стешина //

материалы международной научно-технической конференции «Проблемы автоматизации и управления в технических системах 2009».- Пенза, изд-во Пензенский гос.ун-т, 2009.

17. Белова, Н.В. Разработка структуры измерительной системы параметров газовых потоков / Н.В. Белова, Л.А. Стешина // XI Вавиловские чтения: материалы конференции с международным участием. Йошкар-Ола, 2007. – С. 311 - 312.

18. Стешина, Л.А., Проблемы контроля параметров газовой несущей среды. / Л.А. Стешина, Н.В. Белова // Материалы 8-й международной научно-технической конференции ПТСПИ'2009. - Владимир: Изд-во Владим. Гос. ун-т, 2009. – С. 204-207.