

ПОЛУЧЕНО  
ОГУ Вх  
« 9 » 12 2024 г.

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента Медведевой Оксаны Николаевны на диссертацию **Крюкова Владимира Викторовича** «Автоматизированная система управления узлами редуцирования газа магистральных газопроводов с применением аппарата нечеткой логики», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»

### Актуальность избранной темы исследования

Для повышения эффективности, надёжности и безопасности эксплуатации магистральных газопроводов, контроля состояния оборудования и технологических процессов газоснабжения, обеспечения безаварийной работы системы служат автоматизированные системы управления (АСУ) на основе использования современных технических средств. Указанная система обеспечивает эффективный дистанционный контроль работы технологического оборудования, автоматизированный сбор и обработку информации о параметрах газоснабжения.

Особенности развития газотранспортной системы Российской Федерации, исходя из важной роли природного газа, требуют повышения эффективности при транспортировке газа, в том числе, за счёт совершенствования автоматизированных систем управления.

Разветвленная сеть газопроводов представляет сложную структуру, состоящую из множества узлов, основным из которых является узел редуцирования газа (УРГ). Как показывает анализ эксплуатации УРГ, в процессе его работы возможно возникновение различных негативных факторов, связанных в том числе со сложностью в настройке автоматического режима стабилизации давления и нарушениями динамических свойств системы, негативно отражающихся не только на процессе регулирования, но и приводящих к выходу из строя механических частей, таких как рейка, шток, сепаратор, уплотнения и т.д., что, в конечном итоге, влечёт за собой возникновение аварийных ситуаций на объекте. Сложность настройки связана с тем, что подобные процессы полностью математически описать затруднительно, поскольку необходимо учесть значительное количество технологических параметров, а классические законы регулирования не способны обеспечить должного качества управления. В этой связи необходимо провести более глубокие исследования, связанные с задачами разработки алгоритмов управления регулирующими клапанами, и позволяющими исключить влияние дестабилизирующих факторов на качество процесса редуцирования. На этом основании можно утверждать, что диссертационная работа Крюкова

Владимира Викторовича, посвящённая разработке и внедрению алгоритма управления регулирующим клапаном, который обеспечивает повышение качества регулирования и позволяет стабилизировать технологический процесс редуцирования газа на линейной части магистральных газопроводов, актуальна и направлена на решение одной из приоритетных задач в рассматриваемой области.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается логичным построением теоретического исследования, корректным использованием современных методов анализа, чётким построением последовательности этапов исследования, использованием современных средств измерения и программного обеспечения.

В диссертации сформулирована совокупность из четырех логически взаимосвязанных научных положений, выносимых на защиту, реализация которых способствует повышению эффективности процесса редуцирования газа на основе математических моделей в виде нечетких уравнений, метода определения параметров управления, алгоритма управления, а также методике проведения экспериментальных исследований.

**Первое положение** – «Математические модели процесса редуцирования газа в виде нечетких уравнений и их имитационная реализация, позволяющие повысить точность и расширить функциональные возможности системы за счёт разработанных правил нечёткого управления». Данное положение получено при решении первой и второй задачи во втором разделе.

**Второе положение** – «Метод определения параметров управления редуцированием газа на основе гибридного нечеткого управления, позволяющий учитывать технологические и конструкционные ограничения, накладываемые на процесс и производить расчет настроечных коэффициентов, что ведет к повышению эффективности и безопасности эксплуатации магистральных трубопроводов». Данное положение получено при решении второй и третьей задачи во втором и третьем разделах

**Третье положение** – «Алгоритм управления регулирующим клапаном, обеспечивающий повышение качества регулирования и позволяющий стабилизировать технологический процесс редуцирования газа на линейной части магистральных газопроводов». Данное положение получено при решении четвертой задачи в четвертом разделе.

**Четвёртое положение** – «Методика проведения экспериментальных исследований, подтверждающая достоверность предложенных математических моделей и алгоритма управления процессом редуцирования

давления газа». Данное положение получено при решении пятой задачи в четвертом.

Выводы и рекомендации, представленные в диссертации, соответствуют поставленным задачам, в достаточной степени обоснованы и логично вытекают из содержания исследования.

### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Доказательная база основных положений диссертационной работы усиливается достаточно обширным и убедительным списком использованных источников, а также работами самого соискателя, в которых отсутствуют противоречия с результатами ранее выполненных исследований в выбранной научной области. В работе использована достоверная и проверяемая информационно-эмпирическая база, содержащая достаточный для проведения исследования объем данных, апробированные научные методы исследования, сертифицированные приборы, современный математический аппарат, а также достоверная исходная информация.

Результаты работы апробированы на конференциях различного уровня, опубликованы в 13 статьях, 3 из которых в изданиях, включённых в перечень рецензируемых научных изданий ВАК при Минобрнауки России.

В заключение диссертации сформулировано шесть пунктов результатов и выводов, являющихся обобщением теоретических и экспериментальных результатов, представляющих несомненную ценность для теории и практики синтеза автоматизированных систем управления технологическими процессами редуцирования газа и обладающих существенной научной новизной и достоверностью.

Научная ценность работы заключается в разработанных математических моделях для идентификации коэффициентов классического ПИД-регулятора по нечетким исходным данным. Разработанные математические модели, сочетающие в себе классический и нечеткий закон управления, после необходимых доработок могут быть применены для регуляторов, использующих другой тип транспортируемой среды. Разработанная методика проведения эксперимента с применением гибридного нечёткого ПИД-регулятора, отличающаяся учётом автоподстройки коэффициентов, способствующая снижению перерегулирования при достижении заданной уставки давления, а также продлению срока службы оборудования, за счёт минимизации механического воздействия на исполнительное устройство, безусловно, обладает научной новизной.

## **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Теоретическая значимость основных результатов диссертации заключается в том, что разработанные научные положения, математические модели, методы и алгоритмы вносят значительный вклад в изучение и развитие создания автоматизированных систем управления редуцированием газа, которые способствуют повышению качества процесса за счет снижения негативных воздействий на технологический процесс.

Практическое значение использования полученных научных результатов состоит в развитии алгоритмического и программного обеспечений, в основе которых заложены разработанные математические модели процесса редуцирования газа с применением аппарата нечеткой логики.

Полученные в диссертации результаты значимы для развития научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, поскольку они вносят вклад в методологию синтеза автоматизированных систем управления процессом редуцирования газа. Автоматизированные системы управления на основе разработанных теоретических положений более точно поддерживают значения технологических параметров и повышают эффективность функционирования технологических процессов.

Важной чертой работы является её практическая направленность, результаты диссертационной работы Крюкова Владимира Викторовича внедрены в процесс управления узлами редуцирования газа магистральных газопроводов Оренбургского ЛПУМГ в части разработанной соискателем автоматизированной системы управления с применением аппарата нечёткой логики, способствующей повышению качества и снижению потерь от погрешностей.

### **Соответствие автореферата содержанию диссертации**

Автореферат диссертации в достаточной степени отражает основные положения диссертации. Автореферат диссертации по форме и содержанию соответствует предъявляемым к нему требованиям.

### **Анализ содержания диссертации**

Диссертация Крюкова Владимира Викторовича содержит введение, четыре раздела, список использованных источников и приложения. Работа изложена на 178 страницах машинописного текста, включающего список литературы из 112 наименований и 4 приложений.

*Во введении* обоснована актуальность направлений исследования, сформулированы цель и задачи работы, изложены научная новизна,

теоретическая и практическая значимость полученных результатов, выносимые на защиту положения, приведены сведения об апробации работы, публикациях автора.

*В первом разделе* представлен литературный обзор, направленный на критический анализ основных тенденций современного состояния автоматизации процесса транспортировки природного газа, отражена степень изученности обозначенной соискателем проблемы и выявлены основные недостатки АСУ, применяемых на УРГ линейной части магистрального газопровода. По результатам обзора литературных источников для решения поставленных в диссертационном исследовании задач соискателем предлагается с целью исключения проблем корректности настройки клапанов-регуляторов, обеспечивающих функцию поддержания заданного давления, рассмотреть возможность введения дополнительных изменений в настройки коэффициентов регулятора, зависящих от изменения давления на входе, для снижения перерегулирования.

Во *втором разделе* приводятся результаты математического описания процесса редуцирования давления газа с использованием нечёткого алгоритма Мамдани (Mamdani) и разработанная соискателем функциональная схема и алгоритм функционирования регулятора давления газа. Предложен метод регулирования и процесс функционирования системы, определяющей оптимальные настройки ПИД-регулятора, используя ошибку регулирования, а также её интегральную и дифференциальную составляющую по времени.

*Третий раздел* посвящён сравнительному анализу апробации работы системы по трём законам регулирования, представлено описание разработанного гибридного нечёткого ПИД-регулятора с автоподстройкой коэффициентов, оптимальным образом компенсирующего возмущающее воздействие и обеспечивающего требуемое качество регулирования.

В *четвёртом разделе* представлена разработанная принципиальная схема программируемого логического контроллера на базе микроконтроллера AVR ATMEGA32, приведены результаты экспериментальных исследований на реальном объекте и выполнена сравнительная оценка качества регулирования.

В *заключении* диссертационного исследования обобщены его результаты и сформулированы практические предложения.

### **Замечания и вопросы по работе**

1. Первая глава диссертации содержит часть материала описательного характера (с. 14–20 и т. д.), не имеющего особого значения для проведения дальнейших исследований, который без ущерба для ценности работы мог быть сокращён до минимума.

2. По работе имеется ряд замечаний редакционного характера, в том числе к качеству представляемой графической информации. Так схемы, представленные на рис. 1.3–1.8, 1.10 и др. не позволяют качественно оценить представляемую на них информацию из-за отсутствия расшифровки позиций составляющих элементов, отсутствия подписей переменных величин по осям, что в итоге может привести к искажённому восприятию и оценке результатов работы.

3. Согласно п.4 определённой соискателем научной новизны работы при обосновании разработанной методики проведения эксперимента необходимо было более наглядно представить данную методику в виде алгоритма.

4. По тексту работы соискатель использует в качестве единицы измерения давления газа альтернативную меру измерения  $\text{кг/см}^2$  (стр. 55, 56, 61, 79, 84 и т. д.), следовало бы привести измеряемые величины к единице измерения международной системы единиц (СИ) – Па.

5. В работе использованы треугольные функции принадлежности, может ли соискатель обосновать выбор функций данного вида?

6. В диссертационной работе соискателем не рассматривается возможность совместного автоматического управления положением двух клапанов-регуляторов, работающих параллельно на основной и обводной линии редуцирования, может ли соискатель прояснить данный вопрос?

7. Требуется пояснения вопрос безопасности системы при возникновении ошибки входных данных (некорректная передача показаний с датчика давления). Также не раскрыто применение таких инструментов, как избыточность, фильтрация данных, защита от ошибок и т. д.

8. Требуется пояснения п.3 выводов по четвёртому разделу диссертации, а именно указанная величина снижения перерегулирования в 24,5 % гибридного нечёткого ПИД-регулятора с автоподстройкой коэффициентов в сравнении с классическим ПИД-регулятором. По тексту работы оценить данное утверждение не удалось.

Указанные замечания не являются критичными, не снижают теоретическую и практическую значимость работы, а также её общую ценность и положительную оценку и могут быть рассмотрены соискателем в качестве рекомендации к продолжению исследований в выбранном направлении.

### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Порядком присуждения ученых степеней»**

В диссертационной работе Крюкова Владимира Викторовича изложены новые научно обоснованные решения и разработки, базирующиеся на математических моделях с применением аппарата нечёткой логики и

подтверждающиеся результатами апробации, а также практического внедрения нечеткой гибридной АСУ на производстве.

Диссертация Крюкова В. В. «Автоматизированная система управления узлами редуцирования газа магистральных газопроводов с применением аппарата нечёткой логики» является законченной научно-квалификационной работой и полностью *соответствует критериям* Положения «О порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Крюков Владимир Викторович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Официальный оппонент:

Профессор кафедры «Теплогазоснабжение  
и нефтегазовое дело»

федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования

«Саратовский государственный технический  
университет имени Гагарина Ю. А.»,  
д.т.н., доцент

**Медведева Оксана Николаевна**

Отзыв составлен 15 ноября 2024 г.

Подпись и сведения Медведевой Оксаны Николаевны заверяю:

Учёный секретарь

Учёного совета

СГТУ имени Гагарина Ю. А.

15 ноября 2024 г.



**Потапова Анжелика Владимировна**

**Сведения об официальном оппоненте:**

Медведева Оксана Николаевна, доктор технических наук (специальность 05.23.03), профессор кафедры «Теплоснабжение и нефтегазовое дело» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.»

тел. (рабочий): +7(8452) 99–88–93; e-mail: medvedeva-on@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю. А.» (СГТУ имени Гагарина Ю. А.)

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Телефон: +7 (8452) 99-88-11; 99-86-03

E-mail: [rectorat@sstu.ru](mailto:rectorat@sstu.ru); [sstu\\_office@sstu.ru](mailto:sstu_office@sstu.ru)