

ЦАРЬКОВ Геннадий Юрьевич



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ
ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ГАЗОВЫХ
СЕТЕЙ

Специальность: 05.11.16 — Информационно-измерительные
и управляющие системы (в промышленности)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тульский государственный университет» (ТулГУ)

Научный руководитель: ПАНАРИН Владимир Михайлович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: САВЧЕНКО Юрий Васильевич
доктор технических наук, профессор
института МПСУ МИЭТ

ГОВОРОВ Андрей Александрович
кандидат технических наук,
ведущий специалист ООО «СервисНейро»

Ведущее предприятие: ООО «АТМ Технолоджи»

Защита состоится «20» ноября 2019 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.271.07, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» по адресу: 300012, г.Тула, пр. Ленина, 92, ауд.9-101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тульского государственного университета и на сайте <http://tsu.tula.ru/>

Автореферат разослан «___» _____ 20 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ю.В. Иванов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Газовая отрасль планировалась, создавалась и в настоящее время функционирует как централизованно управляемая Единая система газоснабжения, охватывающая все звенья технологической цепи от разведки и добычи газа до его поставки в сети газораспределения и газопотребления. Такая структура Единой системы газоснабжения, в основном, сохранилась и доказала за прошедшие 15 лет свою эффективность после трансформации отрасли при переходе от централизованного планирования и управления к новым хозяйственным отношениям.

В Единой системе газоснабжения сохраняется система диспетчерского управления (ЦПДУ). ЦПДУ является сложным техническим и организационно-правовым звеном управления системой газоснабжения, оно осуществляет все оперативно-технические, плановые, учетные, представительские и другие функции через производственно-диспетчерские службы, входящие в общества по добыче газа, его транспортировке и подземному хранению, и диспетчерские центры в городах России, непосредственно координирующие поставку природного газа потребителям.

Организация сбора данных на протяжении многих лет осуществлялась по проводной схеме или посредством радиочастотных каналов. На магистральных газопроводах использование проводной связи, а также передача информации по «телу» трубы и в настоящее время оправдывает свою функциональность и экономически обосновано ввиду малой их разветвленности.

Учитывая значительную разветвленность сетей газораспределения и множество технологических объектов участвующих в процессе, параметры работы которых, влияют не только на качество транспортировки природного газа, но, в первую очередь, на безопасность вопрос построения эффективной информационно-измерительной и управляющей системы является в настоящее время актуальной и даже первоочередной.

Информационно-измерительные и управляющие системы объектами газораспределения в процессе работы должны не только обеспечивать достоверный сбор и передачу информации, но и отслеживать и своевременно прогнозировать нештатные ситуации с включением в алгоритм идентификационной составляющей, применяя современные методы.

Проблемы создания таких систем, в частности, заключаются в решении задачи перераспределения потоков информации от территориально удаленных объектов информационно-измерительных систем при смене режимов газопотребления, а следовательно и изменению параметров газовой сети, что приводит к необходимости перехода ряда объектов к другим алгоритмам управления для обеспечения эффективного процесса выработки управляющих сигналов, а также задач приоритетов обслуживания объектов в штатном, не стационарном и аварийном режимах. Вышеперечисленные обстоятельства определяют актуальность темы диссертации.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности работы информационно-измерительных и управляющих систем для объектов газораспределения на основе разработанных математических моделей прогнозирования параметров территориально распределенных газораспределительных сетей и методов аппроксимации, как объектов с переменными параметрами, коррекцией постоянных времени, запаздывания и коэффициентов передачи, минимизацией интервалов передачи информации в моделях прогнозирования состояния объектов.

Объектом исследования диссертационной работы является информационно-измерительная и управляющая система объектами, обеспечивающая эффективное управление газораспределительной сетью при поступлении данных от территориально распределенных и удаленных объектов с изменением приоритетов обслуживания в различных режимах для отображения информации, обеспечения требуемой точности и формирования управляющих воздействий.

Предметом исследования являются модели и методы повышения эффективности информационно-измерительных и управляющих систем территориально распределенными и удаленными объектами с переменными параметрами.

Методы исследования. Методическую и теоретическую базу диссертационной работы составляют подходы теории информационно-измерительных и управляющих систем, теории измерений, теории автоматического регулирования, идентификации и методов математического моделирования.

Общими вопросами проектирования информационно-измерительных и управляющих систем, идентификации объектов, цифровых систем управления занимались П. Эйкхофф, О.Н. Новоселов, М. Краус, Э. Вошни, Б. Куо, Р. Изерман. Развитием информационно-измерительных и управляющих систем в газовой отрасли – А.Г. Ананенков, М.А. Балавин, С.В. Емельянов, И.А. Жученко, Я.Е. Львович, С.Л. Подвальный, В.Н. Фролов. Теорией массового обслуживания - А.К. Эрланг, А.Я. Хинчин, А.А. Марков, Е.С. Вентцель, А.В. Овчаров, Дж. Лидбеттер, Г. Крамер, А.П. Юшкевич, И.И. Гихман, А.В. Скороход, Л.Г. Афанасьева, Е.В. Булинская. Исследованиями и моделированием характеристик сетей сотовой связи - Е.В. Морозов, О.И. Шелухин, А.Я. Городецкий, В.М. Вишневецкий, Б.Г. Осипов, М. Кровелл, А. Беставрос, Дж. Парк, С. Маккей, Э. Райт и другие.

Задачи исследования.

1. Проведение аналитического обзора и классификация структур и математических моделей информационно – измерительных и управляющих систем для объектов газораспределения территориально распределенных газораспределительных сетей.

2. Разработка математических моделей прогнозирования параметров в территориально распределенных газораспределительных сетях при изменении режимов газоснабжения, нарушениях целостности газопроводов и обоснование применения аппроксимации описания сети объектами с переменным запаздыванием применительно к информационно – измерительным и управляющим системам для объектов газораспределения территориально распределенных газораспределительных сетей.

3. Разработка структуры информационно-измерительной и управляющей системы территориально распределенной газораспределительной сети.

4. Проведение идентификации и оценки управляемости объектами газораспределения на основе математических моделей прогнозирования параметров территориально распределенных газораспределительных сетей.

5. Математическое моделирование информационно-измерительной и управляющей системы с коррекцией изменения постоянных времени, коэффициента передачи и запаздывания территориально распределенных газораспределительных сетей.

6. Разработка инженерных решений в реализации структур информационно-измерительных и управляющих систем применительно к мониторингу и управлению территориально распределенной запорно-регулирующей арматурой, шкафными газораспределительными пунктами, станциями катодной защиты от коррозии группы подземных металлических сооружений на объектах газораспределения территориально распределенных газораспределительных сетей.

7. Техническая реализация, опытно-промышленная эксплуатация и внедрение информационно-измерительной и управляющей системы для объектов газораспределения в АО «Газпром газораспределение Тула», предприятий АО «Газпром газораспределение» и в учебный процесс на кафедре охраны труда и окружающей среды института горного дела и строительства Тульского государственного университета.

Научная новизна диссертации заключается в следующем.

1. Предложена математическая модель и обосновано применение аппроксимации описания элементов сети, как объектов с переменными характеристиками и запаздыванием для прогнозирования потоков в территориально-распределенных газовых сетях в аварийных ситуациях с нарушением целостности газопроводов и изменении режимов газопотребления

в информационно-измерительных и управляющих системах для объектов газораспределения.

2. Предложена структура информационно-измерительной и управляющей системы территориально распределенной газораспределительной сети, учитывающая не только его удаленность и разветвленность объектов, но и переменные параметры самих объектов, как объектов управления.

3. Разработан метод коррекции постоянных времени, коэффициента передачи и запаздывания в модели прогнозирования параметров территориально-распределенной газораспределительной сети.

4. Сформирован метод переключений с переменными периодами квантования информационно – измерительной и управляющей системы для объектов газораспределения территориально распределенных газораспределительных сетей.

5. Получены математические выражения для вычисления коэффициентов регулятора и наблюдателя системы идентификации элементов газовой сети для переменных значений периодов квантования, что позволяет эффективно использовать данную модель независимо от выставленных приоритетах событий и минимизировать периоды между соседними опросами.

Практическая ценность работы состоит в том, что предложенные в диссертации теоретические положения, математические модели и методы служат основой для проектирования новой серии информационно-измерительных и управляющих систем, обеспечивающих повышение эффективности эксплуатации системы газораспределения, уменьшение времени отклика управляющего сигнала на изменение режима газопотребления, изменение периодов опроса в сторону увеличения при работе в штатных режимах и уменьшения при граничных и аварийных режимах работы оборудования, прогнозирование и предупреждение последствий нештатных, аварийных и предаварийных ситуаций со сбросом газа в атмосферу, уменьшение технологических потерь и снижения экологического воздействия газораспределительных сетей на окружающую среду.

Достоверность полученных теоретических результатов подтверждается результатами апробации разработанных методов при решении практических задач создания и внедрения информационно-измерительных и управляющих систем территориально распределенными объектами на различных по функциональности объектах газового хозяйства.

Положения, выносимые на защиту.

1. Математическая модель с аппроксимацией элементов сети объектами с переменными характеристиками и запаздыванием для прогнозирования проявления аварийных ситуаций с нарушением целостности газопроводов, изменений режимов газопотребления применительно к информационно-измерительным и управляющим системам для территориально распределенных объектов газораспределения.

2. Структура информационно-измерительной и управляющей системы территориально распределенной газораспределительной сети, учитывающая не только его удаленность и разветвленность объектов, но и переменные параметры самих объектов, как объектов управления.

3. Метод коррекции постоянных времени, коэффициента передачи и запаздывания в модели прогнозирования параметров территориально-распределенной газораспределительной сети.

4. Математические соотношения для вычисления коэффициентов регулятора и наблюдателя системы идентификации элементов газовой сети для переменных значений периодов квантования.

5. Метод переключений с переменными периодами квантования информационно – измерительной и управляющей системы для объектов газораспределения территориально распределенных газораспределительных сетей;

6. Оригинальные технические решения реализации структур информационно-измерительных и управляющих систем применительно к мониторингу и управлению терри-

ториально распределенной запорно-регулирующей арматурой, шкафными газораспределительными пунктами, станциями катодной защиты на объектах газораспределения территориально распределенных газораспределительных сетей.

Реализация и внедрение результатов. Результаты работы внедрены в информационно-измерительные и управляющие системы на объектах в АО «Газпром газораспределение Тула», Московском филиале АО «Газпром газораспределение», АО «Газпром газораспределение Воронеж», АО «Газпром газораспределение Ленинградская область», АО «Газпром газораспределение Курск», АО «Газпром газораспределение Ярославль», АО «Газпром газораспределение Волгоград», АО «Газпром газораспределение Ижевск», ООО «Техсистема УМР» при производстве работ по врезке в газопроводы под давлением, НПП ГК «СервисСофт».

Ряд теоретических положений внедрен в учебный процесс на кафедре охраны труда и окружающей среды Института горного дела и строительства Тульского государственного университета.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях и выставках. Международный научно-практический симпозиум «Современные наукоемкие технологии: теория, эксперимент и практические результаты», Египет, 14-20 апреля 2007 г., IV специализированная выставка «Антикор и гальваносервис», г. Москва, ВВЦ, 2006 г., III международная специализированная научно-техническая конференция «Discom-2007», Москва, 2007 г., Международный научно-практический симпозиум «Современные наукоемкие технологии: теория, эксперимент и практические результаты», Египет, 7-13 ноября 2009 г., X Всероссийская научно-техническая конференция «Информационные системы и модели в научных исследованиях, промышленности, образовании и экологии», Тула, 2012 г., XVIII Международная научно-техническая конференция «Приоритетные направления развития науки и технологий», 2015 г., XXII Международная научно-техническая конференция «Приоритетные направления развития науки и технологий», 2017 г., XXI Международная специализированная выставка газовой промышленности и технических средств для газового хозяйства «РОС-ГАЗ-ЭКСПО 2017», Санкт-Петербург, 2017 г., V Международная научно-техническая конференция «Инновационные наукоемкие технологии», 2018 г., XXII Международная специализированная выставка газовой промышленности и технических средств для газового хозяйства «РОС-ГАЗ-ЭКСПО 2018», Санкт-Петербург, 2018 г.

Публикации. Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в 71 печатной работе, из них 7 статей – в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, имеется 16 патентов РФ на изобретение, 18 патентов РФ на полезную модель и 19 свидетельств РФ о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов и заключения, изложенных на 134 страницах машинописного текста и включающих 30 рисунков, 3 приложений и списка использованной литературы из 183 наименований.

Личный вклад автора:

- аналитический обзор и классификация структур и математических моделей информационно – измерительных и управляющих систем для газораспределительных сетей;
- структура информационно-измерительной и управляющей системы территориально распределенной газораспределительной сети, учитывающая не только его удаленность и разветвленность объектов, но и переменные параметры самих объектов, как объектов управления;
- математическая модель и обоснование применения аппроксимации описания элементов сети, как объектов с переменными характеристиками и запаздыванием для прогнозирования параметров территориально-распределенных газовых сетей в аварийных ситуа-

циях с нарушением целостности газопроводов и изменении режимов газопотребления в информационно-измерительных и управляющих системах;

- математические выражения для вычисления коэффициентов регулятора и наблюдателя системы идентификации элементов газовой сети для переменных значений периодов квантования;

- метод коррекции постоянных времени, коэффициента передачи и запаздывания в модели прогнозирования параметров территориально-распределенной газораспределительной сети;

- метод переключений с переменными периодами квантования информационно – измерительной и управляющей системы для объектов газораспределения территориально распределенных газораспределительных сетей;

- оригинальные технические решения реализации структур информационно-измерительных и управляющих систем применительно к мониторингу и управлению территориально распределенной запорно-регулирующей арматурой, шкафными газораспределительными пунктами, станциями катодной защиты, устройствам дистанционного контроля утечек природного газа на объектах газораспределения территориально распределенных газораспределительных сетей;

- техническая реализация, опытно-промышленная эксплуатация и внедрение информационно-измерительной и управляющей системы для объектов газораспределения в АО «Газпром газораспределение Тула», предприятиях АО «Газпром газораспределение», ООО «Техсистема УМР» при производстве работ по врезке в газопроводы под давлением, НПП ГК «СервисСофт и в учебный процесс на кафедре охраны труда и окружающей среды института горного дела и строительства Тульского государственного университета.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, решению которых посвящена диссертация, отмечаются научная новизна, практическая значимость работы, а также апробация работы, приведена структура диссертации.

В первой главе рассмотрена система газоснабжения и предложено исследовать информационно-измерительные и управляющие системы как единые взаимосвязанные системы для объектов газовой отрасли. Приведены математические модели описания процессов для применения в информационно-измерительных и управляющих системах для объектов газораспределения территориально распределенных газовых сетей. Рассмотрены вопросы оптимизации систем газоснабжения и дана классификация газорегуляторных пунктов. Проведен анализ известных информационно-измерительных и управляющих систем для объектов газовой отрасли.

Основной недостаток известных информационно-измерительных и управляющих систем заключается в отсутствии функции прогнозирования во времени изменений параметров работы газораспределительного оборудования в зависимости от текущей оценки технологического состояния и процессов в газовой сети. Это ограничивает возможность систем в части прогнозирования возможного появления нештатных и аварийных ситуаций в реальном масштабе времени.

В диссертационной работе предлагаются модели и методы, на основе которых в информационно-измерительной и управляющей системе дополнительно к дистанционному съему текущей информации формируются прогнозные на определенный промежуток времени значения технологических параметров работы оборудования для предупреждения нештатных и аварийных ситуаций.

Определены основные требования к информационно-измерительным и управляющим системам для объектов газораспределения территориально распределенных газовых сетей.

Система должна дополнительно к дистанционному съему текущей информации обеспечивать формирование прогнозных значений технологических параметров работы

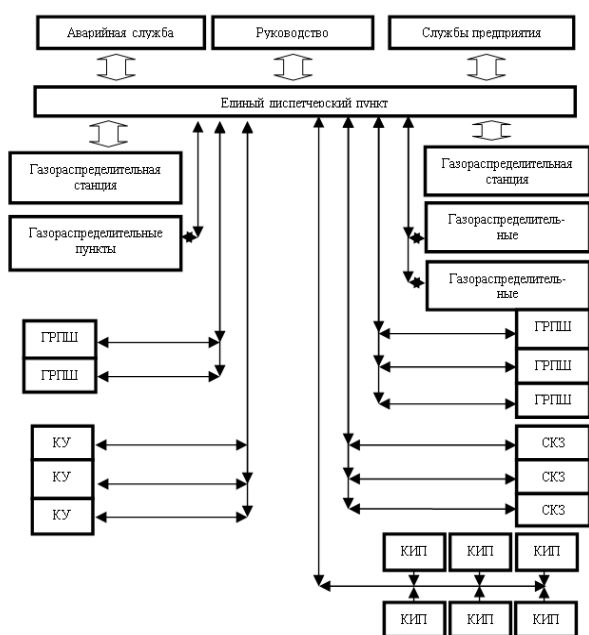
оборудования на определенный промежуток времени для предупреждения нештатных и аварийных ситуаций на объектах газораспределения территориально распределенных газовых сетей. На основе текущих и прогнозных значений параметров работы газовой сети система должна вырабатывать оптимальные управляющие воздействия на объекты газораспределения для обеспечения эффективной и безопасной работы оборудования.

Информационно-измерительные и управляющие системы должны обеспечивать передачу и прием таких технологических параметров, как расход объема газа по линиям редуцирования, температуру газа на входе и выходе оборудования, давление газа по линиям редуцирования, проводить мониторинг состояния положения задвижек и клапанов, защитных устройств отсечки подачи газа. Важным является своевременная передача информации в реальном времени об утечках газа на объектах газоснабжения, загазованности помещений, несанкционированного проникновения посторонних лиц на производственно-опасные объекты газораспределения. Информационно-измерительные и управляющие системы для объектов газораспределения территориально распределенных газовых сетей должны обеспечивать непрерывный дистанционный мониторинг всего парка представленного газораспределительного оборудования преимущественно по сетям сотовой связи GSM с минимизацией периодов опроса без потери информации в реальном времени.

Рассматривая протяженный газопровод, как объект управления приходим к рассмотрению его как объекта с транспортным запаздыванием. Это обусловлено тем, что в информационно-измерительной и управляющей системе для территориально-распределенной газотранспортной сети данные снимаются с технологического оборудования (газораспределительные станции и установки, шкафные распределительные пункты и т.д.), которое располагается или в начале или в конце участка газопровода. Данное положение обуславливает математическое описание динамических процессов объектами с запаздыванием.

Проведен обзор и классификация известных информационно-измерительных и управляющих систем для объектов газовой отрасли, показаны достоинства и недостатки систем, определена цель и поставлены задачи диссертационной работы.

Во второй главе представлена типовая схема газоснабжения, в состав которой входят сети магистральных газопроводов с газораспределительными станциями (ГРС) и газопроводами отводами на них и показана разветвленная схема распределительных газопроводов с установленными на них объектами, включенными в информационно-управляющую систему. Представлена структура информационно-измерительной системы территориально-распределенной газораспределительной сети (Рис.1). На данный момент в единую структуру включено более 1000 объектов, таких как: газораспределительные пункты (ГРП), шкафные пункты редуцирования газа (ГРПШ);



крановые узлы (КУ); контрольно-измерительные пункты (КИП); станции катодной защиты (СКЗ).

Для указанной структуры информационно-измерительной системы территориально-распределенной газораспределительной сети разработана математическая модель прогнозирования параметров территориально-распределенной газораспределительной сети при изменении режимов газопотребления, в аварийных ситуациях с нарушением целостности газопроводов, при работе газоиспользующего оборудования и объектов в режиме пуск-стоп и обосновано применения аппроксимации описания сети объектами с переменными коэффициентами передачи, постоянными времени и запаздыванием.

Рис. 1. Структура информационно-измерительной системы территориально-распределенной газораспределительной сети.

Построенная информационно-измерительная и управляющая система для разветвленной трубопроводной газовой сети (Рис. 2) с множеством элементов мониторинга и управления позволила получить данные в фиксированные моменты времени, то есть получить информационный срез газовой сети в некоторое фиксированное время t .

Одновременно на основе этих данных в совокупности с моделированием процессов движения газа по разветвленной территориально распределенной трубопроводной газовой сети появляется возможность экстраполяции данных на некоторый интервал времени τ .

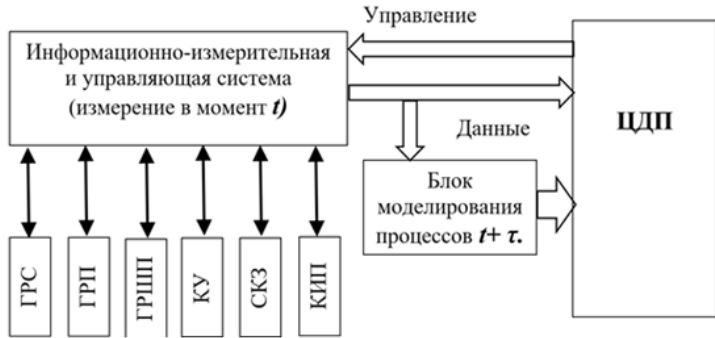


Рис. 2. Информационно-измерительная и управляющая система с сочетанием текущих данных и результатов моделирования на интервале времени $t + \tau$.

На основе данного предложения по сочетанию текущих данных информационно-измерительной и управляющей системы и результатов, полученных путем моделирования процессов в трубопроводной газовой сети, обеспечивается прогноз данных во времени $t + \tau$.

Представление математических моделей прогнозирования параметров в территориально-распределенной газораспределительной сети проведено в матричном

виде и в виде дифференциальных уравнений объектов с запаздыванием.

Входными параметрами информационно-измерительной и управляющей системы определены сигналы датчиков территориально распределенных объектов газораспределения.

В разработке математической модели прогнозирования параметров в территориально-распределенной газораспределительной сети применен аппарат теории матриц.

Представив в матричном виде величины давления газа на входе объекта газораспределения территориально-распределенной газораспределительной сети, давление газа на выходе, температуру газа на входе, температуру газа на выходе, величину потока газа, положение запорной арматуры, срабатывание защитных клапанов, величину защитного потенциала, к датчиков загазованности объекта и т.п., и, объединяя полученные векторы, определена матрица входных параметров информационно-измерительной и управляющей системы для применения в математических моделях прогнозирования параметров в территориально-

распределенной газораспределительной сети.

Данное представление входных параметров информационно-измерительной системы показало эффективность на практике в сочетании с математическими моделями динамики газовых потоков в территориально распределенных газопроводах.

В общем случае движение газа в газопроводах является нестационарным. Это определяется как изменением работы и режимов

$$\text{ИИС} = \begin{bmatrix} C_1^1 & C_1^2 & C_1^3 & \dots & C_1^n \\ C_2^1 & C_2^2 & C_2^3 & \dots & C_2^n \\ C_3^1 & C_3^2 & C_3^3 & \dots & C_3^n \\ C_4^1 & C_4^2 & C_4^3 & \dots & C_4^n \\ P_{ВХ1} & P_{ВХ2} & P_{ВХ3} & \dots & P_{ВХn} \\ P_{ВЫХ1} & P_{ВЫХ2} & P_{ВЫХ3} & \dots & P_{ВЫХn} \\ t_{ВХ}^{\circ C_1} & t_{ВХ}^{\circ C_2} & t_{ВХ}^{\circ C_3} & \dots & t_{ВХ}^{\circ C_n} \\ t_{ВЫХ}^{\circ C_1} & t_{ВЫХ}^{\circ C_2} & t_{ВЫХ}^{\circ C_3} & \dots & t_{ВЫХ}^{\circ C_n} \\ q_1 & q_2 & q_3 & \dots & q_n \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \dots & \beta_n \\ skl_1 & skl_2 & skl_3 & \dots & skl_n \\ U_{пот1} & U_{пот2} & U_{пот3} & \dots & U_{потn} \\ inoT_1 & inoT_2 & inoT_3 & \dots & inoT_n \\ U_{заш1} & U_{заш2} & U_{заш3} & \dots & U_{зашn} \\ skl_1 & skl_2 & skl_3 & \dots & skl_n \\ sdn_1 & sdn_2 & sdn_3 & \dots & sdn_n \\ sda_1 & sda_2 & sda_3 & \dots & sda_n \\ sdf_1 & sdf_2 & sdf_3 & \dots & sdf_n \\ sdo_1 & sdo_2 & sdo_3 & \dots & sdo_n \end{bmatrix}$$

давления на газораспределительных станциях, так и переменными характеристиками потребления газа (изменение объемов потребления при различных нагрузках и количества потребителей в реальном времени). Указанные особенности приводят к изменению режимов давления в газопроводе и изменению количества газа, находящегося в нем. Аккумулирующая емкость газопровода покрывает неравномерность и обуславливает запаздывание в передаче изменений режима в конечных точках потребления. В работе проведен анализ различных моделей движения газа в трубопроводе и определено:

- характерными особенностями системы газораспределения и газопотребления являются асимметрия динамических характеристик и зависимость параметров объекта от величины расхода газа;
- в канале управления имеется запаздывание;
- в качестве динамических моделей удобно использовать модели первого и второго порядка с запаздыванием.

$$W(p) = k_0 e^{-tp} / (T_0 s + 1),$$

где k_0 , T_0 , t - соответственно статический коэффициент передачи, постоянная времени и запаздывание объекта, определенные в окрестности номинального режима работы.

Для данной модели разработан метод коррекции коэффициентов передачи, постоянных времени и запаздывания в модели прогнозирования параметров в территориально-распределенной газораспределительной сети при изменении режимов работы объектов газопотребления, в аварийных ситуациях с нарушением целостности газопроводов.

Пересчет параметров участков газораспределительной сети и коррекция вышеуказанных переменных при изменении расходов осуществляется

приведенным алгоритмом работы ИИУС (Рис.3).

Блок пересчета параметров объекта для коррекции коэффициента передачи, постоянной времени и запаздывания реализует программный комплекс АСПО-ПРИС. На ниже приведенных диаграммах приведен пример расчетных данных в определенный момент времени для участка газопровода среднего давления (Рис.4) и показан пересчет данных для коррекции значений постоянных времени, коэффициента передачи и запаздывания при отключении нагрузки на узле №3 второго потребителя (Рис.5).

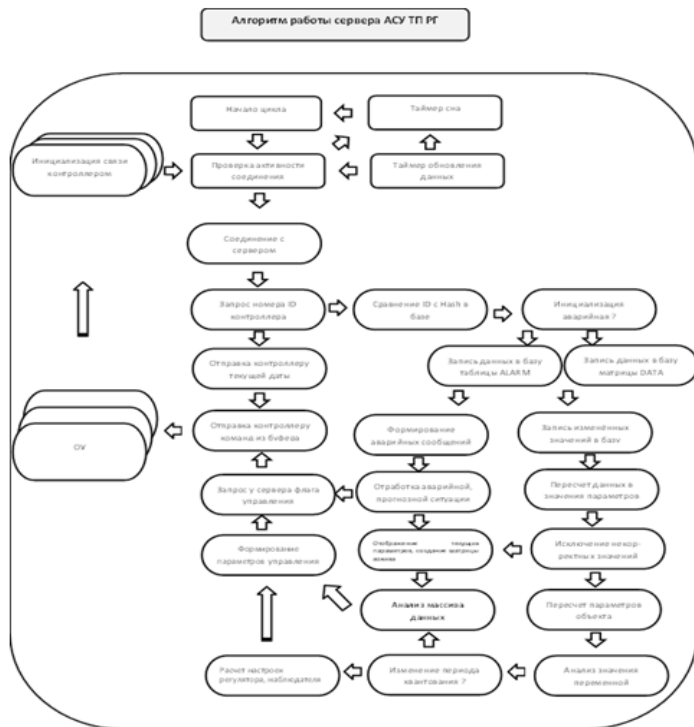


Рис. 3. Алгоритм работы ИИУС с корректировкой параметров объекта.

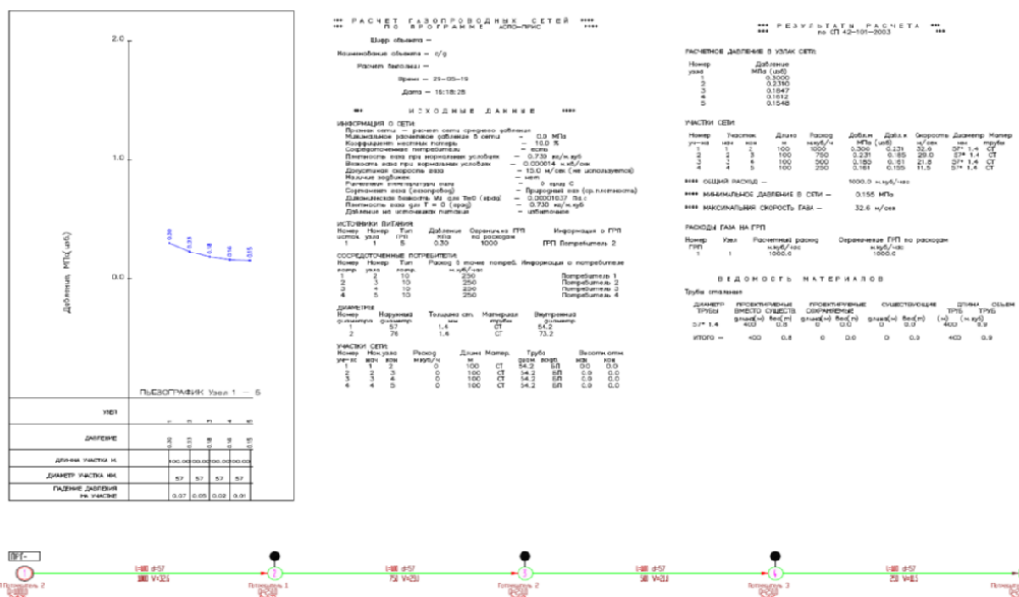
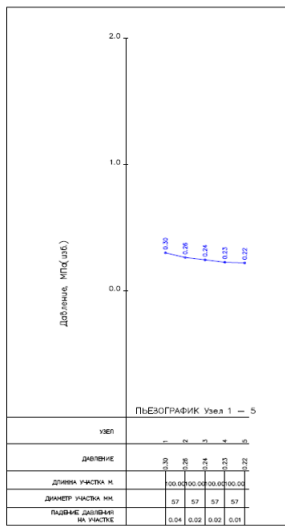


Рис. 4. Параметры участка газопровода среднего давления при нагрузках всех узлов ответвлений потребителей.



*** РАСЧЕТ ГАЗОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ***
 П Р О Г Р А М М А И С Т О - П Л О С
 Штук объекта - /г
 Расчет выполнен -
 Время - 23-05-19
 Дата - 16.10.20

*** И С Х О Д Я Щ И Е Д А Н Н Ы Е ***

Исходные данные:
 Расчетная скорость газа - 15,0 м/сек
 Максимальное расчетное давление в сети - 0,30 МПа
 Коэффициент потерь по трубе - 0,0014 м/м.сек
 Максимальное давление при отключении узла - 0,700 м/м.сек
 Максимальное давление при нормальном режиме - 0,20014 м/м.сек
 Диаметр участка газа - 150 мм
 Расчетная температура газа - 15,0 м/сек
 Сравнительная вязкость (коэффициент) - 0,000137 Па.с
 Динамическая вязкость для газа (средн) - 0,730 м/м.сек
 Максимальное давление при T = 0 (средн) - 0,730 м/м.сек
 Давление на входе в узел - 0,30 МПа

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ:
 Номер узла 1 2 3 4 5
 Номер ГПС 1 2 3 4 5
 Давление МПа 0,30 0,28 0,24 0,22 0,20
 Организация ГПС 1 2 3 4 5
 Тип ГПС 1 2 3 4 5
 Расход газа м³/сут 250 250 250 250 250

СОСРЕДОТОЧЕННЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ:
 Номер узла 1 2 3 4 5
 Номер ГПС 1 2 3 4 5
 Тип ГПС 1 2 3 4 5
 Расход газа м³/сут 250 250 250 250 250

ДАТАМЕТРЫ:
 Диаметр 57 мм
 Наружный диаметр 76 мм
 Толщина ст. 1,4 мм
 Материал Ст
 Внутренний диаметр 54,2 мм
 Вес трубы 73,2 кг

УЧАСТКИ СЕТИ:
 Номер участка 1 2 3 4 5
 Номер узла 1 2 3 4 5
 Диаметр участка мм 150 150 150 150 150
 Длина участка м 100 100 100 100 100
 Труба Ст 54,2 Ст 54,2 Ст 54,2 Ст 54,2 Ст 54,2
 Вес трубы кг 73,2 73,2 73,2 73,2 73,2
 Весомый сегмент 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0

*** РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ***
 ГО СБ КИ-01-0303

РАСЧЕТНОЕ ДАВЛЕНИЕ В УЗЛАХ СЕТИ:
 Номер узла 1 2 3 4 5
 Давление МПа (сб) 0,3000 0,2800 0,2400 0,2200 0,2001

УЧАСТКИ СЕТИ:
 Номер участка 1 2 3 4 5
 Узел 1 2 3 4 5
 Диаметр мм 150 150 150 150 150
 Расход м³/сут 250 250 250 250 250
 Давление МПа (сб) 0,300 0,280 0,240 0,220 0,200
 Диаметр мм 150 150 150 150 150
 Вес трубы кг 73,2 73,2 73,2 73,2 73,2

ОБЩИЙ РАСХОД - 750,0 м³/сут
 МИНИМАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ В СЕТИ - 0,200 МПа
 МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ГАЗА - 23,5 м/сек

РАСХОДЫ ГАЗА НА ГПС:
 Номер ГПС 1 2 3 4 5
 Тип ГПС 1 2 3 4 5
 Расход газа м³/сут 250 250 250 250 250
 Организация ГПС 1 2 3 4 5

УЧАСТКИ СЕТИ С СКОРОСТЬЮ ГАЗА БОЛЬШЕ ДОПУСТИМОГО ЗНАЧЕНИЯ:
 Номер участка 1 2 3 4 5
 Узел 1 2 3 4 5
 Диаметр мм 150 150 150 150 150
 Расход м³/сут 250 250 250 250 250
 Скорость м/сек 23,5 23,5 23,5 23,5 23,5

ВЕДОМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ:
 Трубы стальные
 Диаметр 57 мм
 Наружный диаметр 76 мм
 Толщина ст. 1,4 мм
 Материал Ст
 Внутренний диаметр 54,2 мм
 Вес трубы 73,2 кг



Рис. 5. Параметры участка газопровода среднего давления при отключении потребителя 2 в третьем узле.

Разработан метод цифрового управления потоком в трубопроводе при транспортировке газа по линейному участку для отдаленных потребителей.

Используя идею построения модального регулятора с наблюдателем, обеспечивающим максимальное приближение промежуточных переменных модели с движением объекта, решена задача управления объектом таким образом, чтобы при выведении его на заданный режим перерегулирование практически отсутствовало.

Представлена процедура синтеза цифрового регулятора для модели объекта первого порядка с запаздыванием в координатах “вход – выход” (Рис.6).

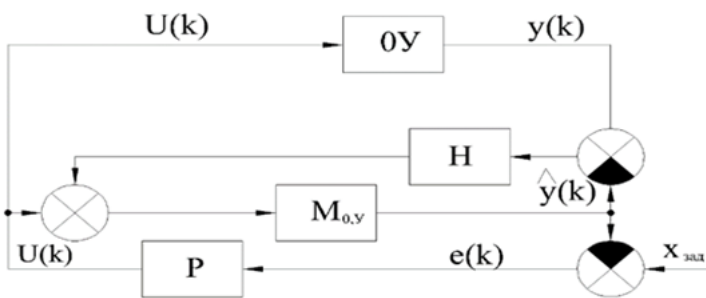


Рис. 6. Структура построения цифровой системы управления.

где ОУ – объект управления; Н – наблюдатель; $M_{0,y}$ – модель объекта управления; Р – регулятор; $\hat{y}(k)$ – выход модели объекта; $e(k)$ – ошибка рассогласования.

Полная структурная схема цифровой системы управления показана на рис. 7., где $\hat{w}(k)$ – является оценкой возмущающего воздействия.

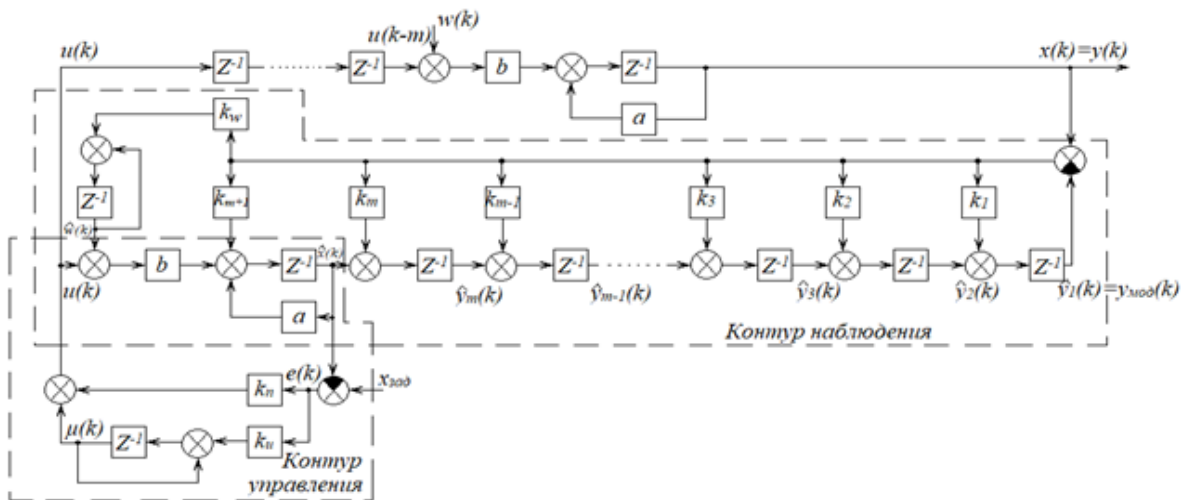


Рис. 7. Цифровой регулятор с наблюдателем для системы управления.

Дискретное описание данной системы управления при заданном периоде квантования T_k будет определяться уравнением:

$$x(k+1) = ax(k) + fu(k-m) = bw(k), \quad (1)$$

где $x(k)$, $u(k)$, $w(k)$ — соответственно дискретные значения выхода, входа и возмущающего воздействия; $a = e^{-\frac{T_k}{T_0}}$; $f = b = K_0(1 - e^{-\frac{T_k}{T_0}})$; m — целое число, $m = \frac{\tau}{T_k}$.

С целью упрощения методики синтеза параметров регулятора, предложено перенести запаздывание с входа дискретной модели объекта на ее выход. При этом динамические характеристики по каналу вход-выход объекта и модели будут идентичны.

Синтез регулятора проведен методом пространства состояний, используя теорию модального управления. Для обеспечения устойчивости замкнутой системы предложена методика нахождения параметров регулятора и наблюдателя по заданному расположению корней характеристического уравнения контуров регулирования и наблюдения на комплексной плоскости.

Исходя из структурной схемы цифрового регулятора, определено уравнение состояния контура управления:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}(k+1) \\ \mu(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a - bk_n & b \\ -k_u & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}(k) \\ \mu(k) \end{bmatrix} \quad (2)$$

и контура наблюдения:

$$\begin{bmatrix} \hat{y}_1(k+1) \\ \hat{y}_2(k+1) \\ \hat{y}_3(k+1) \\ \dots \\ \hat{y}_{m-1}(k+1) \\ \hat{y}_m(k+1) \\ \hat{x}(k+1) \\ \hat{w}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -k_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -k_{m-1} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -k_m & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -k_{m+1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B \\ -k_w & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{y}_1(k) \\ \hat{y}_2(k) \\ \hat{y}_3(k) \\ \dots \\ \hat{y}_{m-1}(k) \\ \hat{y}_m(k) \\ \hat{x}(k) \\ \hat{w}(k) \end{bmatrix} \quad (3)$$

откуда представлены характеристические уравнения данных контуров:

а) по контуру управления:

$$\det[A - Iz] = [b_p - z]^n, \quad (4)$$

где A — матрица состояния контура регулирования; I — единичная матрица; b_p — заданное положение корней замкнутой системы регулирования на комплексной плоскости; n — порядок замкнутой системы модели объекта с регулятором;

б) по контуру наблюдения:

$$\det[H - Iz] = [b_H - z]^c, \quad (5)$$

где H — матрица состояния контура наблюдения; I — единичная матрица; b_H — заданное положение корней замкнутой системы наблюдения на комплексной плоскости; C — порядок замкнутой системы модели объекта с наблюдателем.

Решая уравнение (3), получена система двух уравнений с двумя неизвестными, из которой найдены требуемые коэффициенты регулятора:

$$bK_n - a - 1 = -2b_p; \quad (6)$$

$$b(K_u - K_n) + a = b_p^2. \quad (7)$$

Аналогично, решая уравнение (4), определены требуемые коэффициенты наблюдателя.

При решении данной задачи получены формулы для нахождения коэффициентов наблюдателя для любого количества тактов задержки, число которых определяется временем запаздывания и периодом квантования системы ($m = \tau/T_k$):

$$K_{w,m} = \frac{(1 - B_H)^{m+2}}{B} \quad (8)$$

$$K_{n,m} = \sum_{i=1}^n (-1)^i C_{m+2}^i B_H^i \sum_{R=i}^n a^{(n-1)} + \sum_{j=0}^n a^j \quad (9)$$

где $K_{w,m}$ — интегральный коэффициент наблюдателя при m тактах задержки; $K_{n,m}$ — n -й коэффициент наблюдателя при m тактах задержки;



Рис. 8. Отклик системы на управление, вырабатываемое синтезированным регулятором

На рис. 8. приведен отклик системы на управление, вырабатываемое синтезированным регулятором.

Приведенная структура распределительных сетей газоснабжения определяет задачу построения информационно измерительной и управляющей системы, как сложного алгоритма, учитывающего не только его удаленность и разветвленность объектов, но и переменные параметры самих объектов, как объектов управления.

Для объектов предложена математическая модель прогнозирования потоков в территориально-распределенной газовой сети при изменении режимов газопотребления, аварийных ситуаций с нарушением целостности газопроводов и обосновано применение аппроксимации описания сети, как объекта с переменными характеристиками и запаздыванием.

Разработан метод коррекции постоянных времени, коэффициента передачи и запаздывания в модели прогнозирования потоков в территориально-распределенной газораспределительной сети.

Разработана цифровая система управления с регулятором и наблюдателем для информационно-измерительной и управляющей системы транспортировкой природного газа по линейному участку для отдаленных потребителей.

Полученные формулы вычисления коэффициентов регулятора и наблюдателя позволяют перестраивать настройки параметров управления в системе для различных режимов течения газа в распределительных сетях и вписываются в метод построения информационной системы, что дает возможность минимизировать периоды опроса объектов без потери информации.

В третьей главе представлена разработанная обобщенная структура информационно-измерительной и управляющей системы для объектов газораспределения территориально-распределенных газовых сетей. Передача информации от информационно-управляющих блоков в системе проводится по схеме выделенных каналов и схеме с шинной организацией сбора информации. Запросы на обслуживание поступают непосредственно в центр сбора информации или через блок сбора шинной информации. В систему введено устройство управления, информационно связанное с верхним уровнем и каждым информационно-управляющим блоком.

Проведена классификация запросов в информационно-измерительной и управляющей системе для объектов газораспределения территориально-распределенных газовых сетей и алгоритм выбора режимов работы. Разработаны структура системы автоматической коррекции работы станций катодной защиты, структура адаптивного устройства катодной защиты от коррозии группы подземных металлических сооружений. Предложена структура устройства дистанционного мониторинга шкафных газораспределительных пунктов. Разработана структура системы мониторинга и управления территориально-распределенной запорно-регулирующей арматурой газораспределительной сети.

Структура системы автоматической коррекции работы станций катодной защиты относится к области защиты от коррозии и может быть использована для контроля процесса коррозионной защиты и автоматической коррекции величины защитного потенциала по длине трубопровода для его эффективной защиты.

В результате обеспечивается симметричная нагрузка станций катодной защиты и требуемый уровень защиты от коррозии.

В наиболее удаленной от станций катодной защиты точке измерения величина защитного потенциала может снижаться до недопустимого уровня. Для предотвращения этого на блоке сравнения потенциала удаленной точки производится сравнения потенциала в наиболее удаленной точке с величиной, установленной задатчиком потенциала удаленной точки. В случае, если потенциал в удаленной точке ниже заданного значения, на выходе блока сравнения потенциала удаленной точки формируется сигнал на увеличение потенциала, который подается через линию связи, блоки коррекции потенциала на две управляемые станции катодной защиты, синхронно увеличивая защитный потенциал.

Данная система автоматической коррекции защитных потенциалов станций катодной защиты обеспечивает повышение эффективности защиты газопровода от коррозии посредством устранения автоколебаний защитного потенциала путем контроля нижнего и верхнего предельных значений защитного потенциала на удаленных ведомых станциях катодной защиты и удаленных точках измерения защитных потенциалов и формирования управляющих воздействий с включением линии связи лишь на период времени фиксации выхода защитного потенциала за установленные предельные значения и времени коррекции защитного потенциала по длине газопровода.

Предложенная структура адаптивного устройства катодной защиты от коррозии группы подземных металлических сооружений может быть использовано для защиты газопроводов, нефтепроводов и других подземных металлических сооружений.

В случае появления внешних электрических полей посредством датчиков распределения потенциалов по грунту, операционных усилителей, корректоров потенциала и корректирующего сумматора происходит увеличение защитного потенциала. Учитывая, что воздействие внешних электрических полей в грунте от различных источников, как правило, кратковременно (прохождение трамвая, электропоезда), адаптивное устройство катодной защиты работает в режиме минимального значения защитного потенциала, повышая его лишь в случае необходимости. Этим обеспечивается режим энергосбережения адаптивного устройства катодной защиты от коррозии группы подземных металлических сооружений.

Данное устройство повышает эффективность катодной защиты группы подземных металлических сооружений путем компенсации воздействия внешних электрических полей в грунте от различных источников посредством коррекции защитных потенциалов группы металлических подземных сооружений и снижения энергозатрат за счет поддержания минимального значения защитного потенциала, адаптивно повышая его в случае проявления воздействия внешних электрических полей.

Структура устройства дистанционного мониторинга шкафных газораспределительных пунктов относится к технике распределения и транспортирования природного газа, а именно, к шкафным газораспределительным пунктам и может быть использовано для дистанционного мониторинга параметров работы, отслеживания превышения допустимых пределов и возможности возникновения аварийных ситуаций.

Величины допускаемых превышений технологических параметров относительно заданных устанавливаются диспетчером через контроллер сотовой связи посредством блока установки превышения технологических пределов

Через контроллер сотовой связи диспетчер имеет возможность в случае возникновения аварийных ситуаций прекращать подачу газа с помощью дистанционного управления клапаном отключения подачи газа.

При срабатывании датчика загазованности или датчика открытия дверей формируются сигналы, которые также через контроллер сотовой связи поступают на диспетчерский

пункт. В результате диспетчер имеет возможность дистанционно отслеживать загазованность и несанкционированный доступ к шкафному газораспределительному пункту.

Питание всех элементов шкафного газораспределительного пункта производится от солнечной батареи через адаптер и аккумулятор. Величина разряда аккумулятора и эффективность работы солнечной батареи отслеживается диспетчером через контроллер соевой связи с набором информационных входов и выходов.

Устройство дистанционного мониторинга шкафных газораспределительных пунктов обеспечивает постоянный мониторинг технологических параметров работы устройства, контролирует превышение допустимых пределов с возможностью дистанционного прекращения подачи газа в аварийных режимах, что повышает надежность и безопасность эксплуатации газораспределительных пунктов. При номинальных параметрах работы период передачи данных минимизируется контроллером.

Предложенная структура системы мониторинга и управления территориально-распределенной запорно-регулирующей арматурой газораспределительной сети и относящаяся к технике распределения природного газа, а именно, к автоматизированным системам управления процессом газораспределения объектами, может быть использована для дистанционного мониторинга и управления запорно-регулирующей арматурой газораспределительной сети.

Для управления запорно-регулирующей арматурой посредством пневмоприводов используются клапаны открытия и закрытия. В результате от аккумуляторов не требуется большой емкости для непосредственного управления запорно-регулирующей арматурой, а необходимо обеспечить работу компрессоров поддержки давления в пневмоаккумуляторах. Это обеспечивается работой источников питания на солнечных батареях. Мониторинг текущего положения заслонок запорно-регулирующей арматуры осуществляется с помощью датчиков положения заслонки и блоков регистрации положения заслонок запорно-регулирующей арматуры.

Система мониторинга и управления территориально-распределенной запорно-регулирующей арматурой газораспределительной сети обеспечивает высокий уровень надежности управления запорно-регулирующей арматурой, минимизирует периоды передачи данных при нестабильной работе источников питания на солнечных батареях, особенно в зимнее время при недостаточной величине емкости аккумуляторов для непосредственного управления мощными приводами запорно-регулирующей арматуры.

Таким образом, на основе теоретических исследований разработана серия структур информационно-измерительных и управляющих систем для объектов газораспределения территориально распределенных газовых сетей.

В четвертой главе отражена техническая реализация информационно-измерительных и управляющих систем для объектов газораспределения территориально распределенных газовых сетей осуществлена в газовой отрасли.

Проведена техническая реализация информационно-измерительных и управляющих систем для объектов газораспределения территориально распределенных газовых сетей.

Информационно-измерительная и управляющая система пунктов редуцирования природного газа обеспечивают следующие функции:

- автоматическая передача данных с датчиков в режиме реального времени (расход газа, давление газа, температура газа, температура в помещении, счетчик электроэнергии, потенциала на входном/выходном газопроводе, разность давления газа на фильтре, загазованность и др.);

- охранная сигнализация технологического и служебного помещения ГРП;

- контроль температурного режима технологического и служебного помещения ГРП;

- возможность работы на автономном питании, на базе солнечных батарей;

- автоматическая система архивирования данных при отключении питания с указанием даты и времени события;

- гибкая система отчетов с возможностью конвертации в MS Excel, MS Word и др.;

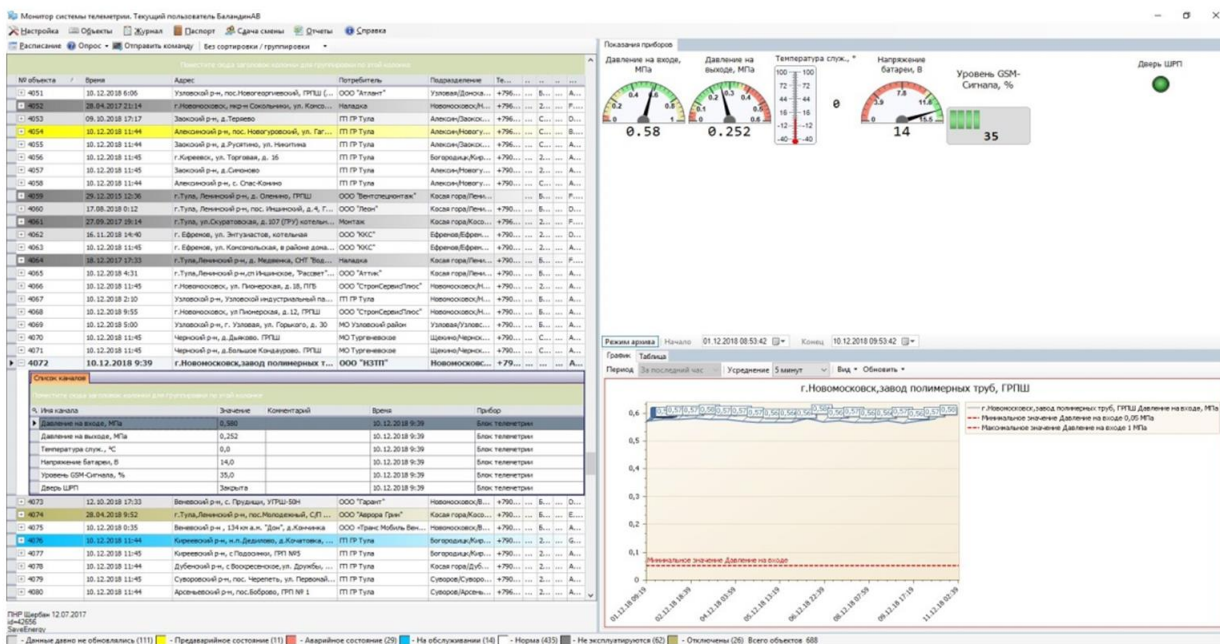


Рис. 9. Отображение параметров объекта в реальном времени.

-графическое отображение данных в режиме реального времени с возможностью дальнейшего анализа данных, приведенное на рис.9.

- подключение широкого спектра датчиков;

- работа диспетчерского центра по клиент-серверной архитектуре в локальной сети на нескольких компьютерах и по сети Интернет.

Реализация данных функций обеспечивается посредством многофункционального блока, устанавливаемого на объекте мониторинга и работающего в информационно-измерительной и управляющей системе под управлением специально разработанного программного обеспечения для диспетчерских пунктов. Пример блока системы приведен на рис.10.

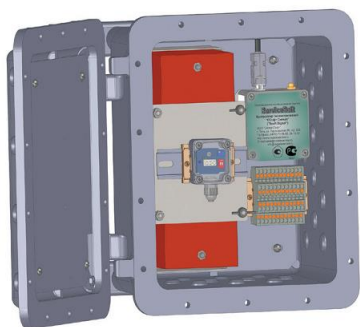


Рис. 10. Многофункциональный блок системы телеметрии.

Управление параметрами технологических объектов. Управление и передача данных осуществляются по беспроводным каналам сотовой связи стандарта GSM 900/1800. Система является полностью автономной, имеет вариант питания от солнечных батарей и устанавливается на взрывоопасных объектах, где отсутствует внешнее электроснабжение.

Управление объектами на газораспределительных сетях имеет значительные риски, так как сети являются опасным производственным объектом. Для минимизации рисков информационно-управляющая система построена с использованием дополнительного, резервного спутникового канала

Проведена реализация информационно-измерительной и управляющей системы запорной арматуры на сетях АО «Газпром газораспределение Тула» (Рис. 11), обеспечивающая повышение оперативности обслуживания и безопасности объектов.

Автоматизированная система управления запорной арматурой на базе многофункционального комплекса телеметрии предназначена для дистанционного аварийного закрытия/открытия запорной арматуры и ограничения подачи газа по команде оператора с удаленного пульта управления, осуществляет контроль и



Рис. 11. Управление запорной арматурой в ШРП.

связи «Гонец», который прошел успешную апробацию на объектах газового хозяйства АО «Газпром газораспределение Тула» в 2015 году.

На базе полученных результатов диссертационной работы проводились настройки встроенного блока телеметрии на преобразователях катодной защиты АСКГ-ТМ, АСКЗ-ТМ предприятиями изготовителями ОАО НЭМЗ, НПП ГК «СервисСофт».

Результаты работ защищены патентами на изобретения, патентами на полезную модель, свидетельствами о госрегистрации программ для ЭВМ, указанных в публикациях по теме диссертации.

Серийные образцы систем сертифицированы в системе сертификации ГОСТ Р, сертификаты № РОСС RU.МЕ67.В06222, № РОСС RU.МЕ67.Н00647 и утверждены в качестве типов средств измерений Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии, свидетельство RU.C.34.004.A № 49475.

Результаты внедрения показали высокую эффективность применения предложенных в диссертации научных исследований для информационно-измерительных и управляющих систем для объектов газораспределения территориально распределенных газовых сетей, относительная пропускная способность ИИУС в зависимости от режимов работы повышается от 0,30 до 0,99.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты, полученные в диссертационной работе.

В приложении приведены акты внедрения результатов диссертации в промышленности и использования в учебном процессе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой поставлена и решена задача построения информационно-измерительных и управляющих систем для территориально распределенных объектов газораспределения, разработки математических моделей и методов прогнозирования потоков в газораспределительных сетях при изменении режимов газоснабжения, нарушениях целостности газопроводов и обосновано применение аппроксимации описания газовой сети объектами с переменным запаздыванием для повышения эффективности работы газораспределительного оборудования.

В работе проведены исследования и получены результаты.

1. Проведен аналитический обзор и классификация структур и математических моделей информационно – измерительных и управляющих систем для объектов газораспределения территориально распределенных газораспределительных сетей.

2. Для объектов информационно-измерительной и управляющей системы предложена математическая модель и обосновано применение аппроксимации описания элементов сети, как объектов с переменными характеристиками и запаздыванием для прогнозирования потоков в территориально-распределенных газовых сетях в аварийных ситуациях с нарушением целостности газопроводов и изменении режимов газопотребления в информационно-измерительных и управляющих системах для объектов газораспределения.

3. Предложена структура информационно-измерительной и управляющей системы территориально распределенной газораспределительной сети, учитывающая не только его удаленность и разветвленность объектов, но и переменные параметры самих объектов, как объектов управления.

4. Разработан метод коррекции постоянных времени, коэффициента передачи и запаздывания в модели прогнозирования параметров территориально-распределенной газораспределительной сети.

5. Проведена идентификация и оценка управляемости объектами газораспределения на основе математических моделей прогнозирования параметров территориально распределенных газораспределительных сетей.

6. Разработан метод переключений с переменными периодами квантования информационно – измерительной и управляющей системы для объектов газораспределения территориально распределенных газораспределительных сетей.

7. Получены математические выражения для вычисления коэффициентов регулятора и наблюдателя системы идентификации элементов газовой сети для переменных значений периодов квантования, что позволяет эффективно использовать данную модель независимо от выставленных приоритетов событий и минимизировать периоды между соседними опросами.

8. Предложена серия оригинальных инженерных технических решений реализации структур информационно-измерительных и управляющих систем для объектов газораспределения территориально распределенных газовых сетей, станций катодной защиты для обеспечения защиты от коррозии как одиночных металлических сооружений, так и группы подземных металлических сооружений, в первую очередь разветвленных территориально-распределенных газотранспортных трубопроводов, структур информационно-измерительных систем дистанционного мониторинга шкафных газораспределительных пунктов и систем мониторинга и управления территориально-распределенной запорно-регулирующей арматурой газораспределительной сети.

9. Результаты работы внедрены в информационно-измерительные и управляющие системы на объектах в АО «Газпром газораспределение Тула», Московском филиале АО «Газпром газораспределение», АО «Газпром газораспределение Воронеж», АО «Газпром газораспределение Ленинградская область», АО «Газпром газораспределение Курск», АО «Газпром газораспределение Ярославль», АО «Газпром газораспределение Волгоград», АО «Газпром газораспределение Ижевск», ООО «Техсистема УМР» при производстве работ по врезке в газопроводы под давлением, НПП ГК «СервисСофт.

Ряд теоретических положений внедрен в учебный процесс на кафедре охраны труда и окружающей среды Института горного дела и строительства Тульского государственного университета.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Царьков Г.Ю. Цифровое управление линейно-асимметричными объектами с переменными параметрами/ Г.Ю. Царьков, В.М. Мазуров, В.С. Карпов // Автоматическое управление объектами с переменными характеристиками. Межвузовский сборник научных трудов. – Новосибирск. – 1990. – С. 44-52.
2. Царьков Г.Ю. Применение GSM технологий станций электрохимической защиты от коррозии / Г.Ю. Царьков, Н.К. Попов, Н.Н. Вебер, В.М. Панарин // Тезисы к докладу 4-ой специализированной выставки «Антикор и гальваносервис». – Москва, ВВЦ. – Издательство.- 2006. – С.14-15.
3. Царьков Г.Ю. Применение GSM технологий в системах телеметрии для станций катодной защиты газопроводов / Г.Ю. Царьков, В.М. Панарин, М.В. Панарин // Тезисы к докладу международного научно-практического симпозиума «Современные наукоемкие технологии: теория, эксперимент и практические результаты», 14-20 апреля 2007г. Под общ. Ред. Чл.-корр. РАН В.П. Мешалкина. – М.; 2007. – С. 161-163.
4. Царьков Г.Ю. Системы телеметрии и диспетчеризации для станций катодной защиты газопроводов/ Г.Ю. Царьков, В.М. Панарин // Тезисы к докладу 3-ей международной специализированной научно-технической конференции «Discom-2007», Москва, Издательство.- 2007г. – С....нужны стр.
5. Царьков Г.Ю. Системы телемеханики газовой отрасли/ Г.Ю. Царьков, Н.К. Попов, М.В. Панарин // Журнал «Газовая промышленность». – Ноябрь. – 2007. – С. 36-37.
6. Царьков Г.Ю. Системы телемеханики для мониторинга за удаленными объектами в газовой отрасли / Г.Ю. Царьков, Н.К. Попов, Н.Н. Вебер, М.В. Панарин // Промышленное оборудование. – Июнь. - 2010. – С.22-23.

7. Царьков Г.Ю. Автоматизированная информационно-измерительная система непрерывного контроля крановых узлов газопроводов / Г.Ю. Царьков, В.С. Карпов, В.М. Панарин, М.В. Панарин [и др.]// Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2. Тула: Изд-во ТулГУ. – 2012. – С.11-15.
8. Царьков Г.Ю. Автоматизированная информационно-измерительная и управляющая система для территориально распределенных станций катодной защиты (СКЗ) с использованием сети GSM / Г.Ю. Царьков, А.Л. Чеботарев, В.М. Панарин, М.В. Панарин // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2. Тула: Изд-во ТулГУ. – 2012. – С.15-20.
9. Царьков Г.Ю. Информационно-измерительная и управляющая система территориально удаленными объектами / Г.Ю. Царьков, В.С. Карпов, М.В. Панарин, Е.Н. Ивановская // Известия ТулГУ. Вып.4. Тула: Изд-во ТулГУ. – 2012. - С.190-195.
10. Царьков Г.Ю. Информационно-измерительная и управляющая система территориально распределенными крановыми узлами магистральных газопроводов / Г.Ю. Царьков, В.С. Карпов, М.В. Панарин, Е.Н. Ивановская // Известия ТулГУ. Вып.4. Тула: Изд-во ТулГУ. – 2012. - С.158-162.
11. Царьков Г.Ю. Особенности профилактики аварий на объектах газораспределительного комплекса / Г.Ю. Царьков, В.М. Панарин, Н.А. Рыбка, А.А. Маслова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2018. - № 5. - С. 58-62.
12. Царьков Г.Ю. Информационно измерительная система территориально распределенной газораспределительной сети / Г.Ю. Царьков, В.М. Панарин, Н.А. Рыбка, А.А. Маслова / Промышленные АСУ и контроллеры – 2018. - №7. - С. 27-33.
13. Царьков Г.Ю. Способы регистрации метеопараметров, расчета и отображения метеопоказателей в информационно-измерительной и управляющей системе районирования территорий промышленного региона по загрязнению атмосферы/ В.М. Панарин, А.А. Маслова, Н.А. Рыбка, Г.Ю. Царьков // Промышленные АСУ и контроллеры.- 2018. -№ 11.- С. 26-31
14. Пат. 85553 Рос. Федерация: МПК C02F 1/463, G05D 27/00 Устройство дистанционного контроля параметров газораспределительных пунктов / Авторы: Царьков Г.Ю., Драчен В.И., Попов Н.К. и др.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество по газификации и эксплуатации газового хозяйства Тульской области "Тулаоблгаз" (RU). - № 2009111121/22; заявл. 26.03.2009; опубл. 10.08.2009. Бюл. № 22.
15. Пат. 98526. Рос. Федерация: МПК C02F 1/463, G05D 27/00 Устройство дистанционного контроля и коррекции параметров работы газораспределительных станций/ Авторы: Царьков Г.Ю., Драчен В.И., Попов Н.К. и др.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество по газификации и эксплуатации газового хозяйства Тульской области "Тулаоблгаз" (RU). - № 2010122021/06; заявл. 01.06.2010; опубл. 20.10.2010. Бюл. № 29.
16. Пат. 2440442. Рос. Федерация: МПК C23F 13/02 Адаптивное устройство катодной защиты от коррозии группы подземных металлических сооружений / Авторы: Царьков Г.Ю., Драчен В.И., Попов Н.К. и др.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество по газификации и эксплуатации газового хозяйства Тульской области "Тулаоблгаз" (RU). - № 2010126234/02; заявл. 29.06.2010; опубл. 20.01.2012. Бюл. № 2.
17. Пат. 116199. Рос. Федерация: МПК C23F 13/02 Устройство дистанционного мониторинга шкафных газораспределительных пунктов / Авторы: Царьков Г.Ю., Воробьев Н.Ю., Попов Н.К. и др.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество по газификации и эксплуатации газового хозяйства Тульской области "Тулаоблгаз" (RU). - № 2011123473/06; заявл. 10.06.2011; опубл. 20.05.2012. Бюл. № 12.
18. Пат. 2456375. Рос. Федерация: МПК C23F 13/02 Автоматическая станция катодной защиты металлических сооружений от коррозии / Авторы: Царьков Г.Ю., Мешалкин В.П., Попов Н.К. и др.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное обще-

- ство по газификации и эксплуатации газового хозяйства Тульской области "Тулаоблгаз" (RU). - № 2011120680/02; заявл. 24.05.2011; опубл. 20.07.2012. Бюл. № 20.
19. Пат. 2613772. Рос. Федерация: МПК F17D 1/05 Автоматический газоредуцирующий пункт / Авторы: Воробьев Н.Ю., Пахомов С.Н., Царьков Г.Ю., Панарин М.В.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Газпром газораспределение Тула" (RU). - № 2014153444; заявл. 29.12.2014; опубл. 21.03.2017. Бюл. № 9.
 20. Пат. 2660539. Рос. Федерация: МПК C23F 13/04 Система автоматической коррекции защитных потенциалов станций катодной защиты / Авторы: Воробьев Н.Ю., Пахомов С.Н., Царьков Г.Ю., Панарин М.В.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Газпром газораспределение Тула" (RU). - № 2017139663; заявл. 14.11.2017; опубл. 06.07.2018. Бюл. № 19.
 21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009610464 Программа сбора и передачи информации газораспределительных пунктов «Тулаоблгаз ГРП GSM» / Авторы: Царьков Г.Ю., Драчев В.И., Попов И.К. и др. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 02.01.2009 г.
 22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010615551 Программа контроля технологических параметров работы газораспределительных станций в распределенных газовых сетях / Авторы: Царьков Г.Ю., Драчев В.И., Попов И.К. и др. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27.08.2010 г.
 23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011615715 Программа автоматизированной системы дистанционного управления объектами газораспределения / Авторы: Царьков Г.Ю., Воробьев Н.Ю., Густов С.В. и др. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21.07.2011 г.
 24. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015615521 Программа дистанционного мониторинга территориально распределенных газораспределительных пунктов / Авторы: Царьков Г.Ю., Воробьев Н.Ю., Пахомов С.Н., Панарин М.В. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20.05.2015 г.
 25. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016614384 Программа мониторинга и оптимизации газорегулирующего оборудования давления и расхода природного газа / Авторы: Царьков Г.Ю., Воробьев Н.Ю., Пахомов С.Н., Панарин М.В. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21.04.2016 г.
 26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017661451 Программа автоматизированного контроля, обработки данных и аварийного оповещения объектов сетей газораспределения / Авторы: Царьков Г.Ю., Воробьев Н.Ю., Пахомов С.Н., Панарин М.В. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.10.2017 г.
 27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018616609 Программа дистанционного мониторинга шкафных распределительных пунктов газотранспортной сети / Авторы: Царьков Г.Ю., Воробьев Н.Ю., Пахомов С.Н., Панарин М.В. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.06.2018 г.