

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

На правах рукописи

ИВАНОВ ОЛЕГ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ АВТОНОМНОГО
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СЕНСОРНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ
СЕТЕЙ**

РЕЗЮМЕ ДИССЕРТАЦИИ

на соискание ученой степени кандидата технических наук НИУ ВШЭ

Научный руководитель:
д.т.н., профессор
Увайсов Сайгид Увайсович

Москва - 2018

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

В настоящее время информационные и телекоммуникационные технологии находят все большее применение в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в газотранспортном секторе, который является важнейшей частью топливно-энергетического комплекса России.

Начиная со второй половины 20-го века, в стране создавалась крупнейшая в мире разветвленная сеть для доставки природного газа от места добычи до потребителя. На текущий момент по оценке ПАО «Газпром» общая протяженность линейных участков (ЛУ) магистральных газопроводов (МГП) составляет порядка 170 тыс. км, из которых около 40% ЛУ уже выработали свой номинальный ресурс, составляющий 30 лет. Газовые магистрали проложены, в основном, в крайне неблагоприятной среде, пагубное воздействие которой приводит к их преждевременному износу и старению. А непредвиденные утечки газа, влекут за собой дополнительные расходы на содержание газопроводной сети.

При проектировании новых участков МГП уже изначально учитываются все необходимые средства контроля их состояния. Но касательно эксплуатирующихся участков газотранспортных сетей (ГТС) проведенный в работе анализ показал, что применяемые сегодня средства технического контроля не позволяют создать систему непрерывного и автоматического мониторинга. Поэтому было показано, что в настоящее время для решения задачи обеспечения непрерывного мониторинга состояния ГТС наиболее перспективным является использование распределенной беспроводной сенсорной телекоммуникационной системы с возможностью передачи информации о месте повреждения газопровода до пункта сбора данных. Так как данные сенсорные системы обнаружения утечки метана предполагается размещать в отдаленных труднодоступных местах, то возникает проблема создания бесперебойной и

высоконадежной системы автономного электроснабжения ее беспроводных сенсорных модулей.

Известные на сегодня методы проектирования беспроводных сенсорных телекоммуникационных сетей (БСТС) исходят из принципа организации электроснабжения их модулей от одиночного химического источника тока, что крайне ограничивает условия эксплуатации и продолжительность работы, ввиду сильной зависимости его выходных характеристик от воздействующих факторов окружающей среды. Поэтому актуальной является научная задача проектирования устройств автономного электропитания (УАЭ) БСТС мониторинга состояния газотранспортных сетей при использовании альтернативных источников энергии, а также создания алгоритмов и математических моделей функционирования данных устройств.

Степень проработанности проблемы

Проблеме контроля состояния газотранспортных сетей в последние десятилетия уделялось достаточно много внимания. И новые способы решения возникали параллельно процессу развития вычислительной техники и средств развития компьютерного моделирования и обработки информации. Известны работы в этой области Бубличенко И.А., Бондаренко П.М., Гумерова А.Г., Гурария М.Л., Егурцова С.А., Ионина Д.А., Ключева В.В., Козинцева В.И., Косицына В.Е., Медведева Е.М., Орлова В.М., Плюснина И.И., Солдатова А.Н., Самохвалова И.В., Бушмелева П.Е, Гончарова В.А. и многих других отечественных и зарубежных ученых, чей вклад в создание систем мониторинга газотранспортных сетей неоценим.

Методология проектирования источников питания подробно описана в работах Баса А.А., Кожарского Г.В., Орехова В.И., Ромаша Э.М., Кофанова Ю.Н., Тумковского С.Р., Увайсова С.У., Четти П., Salama A., Vercowitz R. А также создано достаточно количество мощных программных средств компьютерного моделирования электрических, тепловых и механических процессов, таких как SolidWorks, ANSYS, MicroCap, АСОНИКА и другие.

Однако вопросу проектирования устройств электропитания с использованием альтернативных источников энергии, особенно если речь идет о сверхнизком уровне мощности (в сотни милливатт), уделено крайне мало внимания. При этом в известных работах не учитываются вопросы разработки методов повышения энергоэффективности и влияния условий эксплуатации на приемо-передающие модули телекоммуникационных систем. В связи с этим, научная задача создания метода проектирования, основанного на моделях и алгоритмах функционирования УАЭ БСТС мониторинга состояния ГТС, является своевременной и актуальной и имеет все предпосылки для ее решения.

Таким образом, **объектом исследования** является процесс проектирования БСТС мониторинга технического состояния ГТС. **Предмет исследования:** метод, модели, алгоритмы и методика проектирования устройств автономного электропитания модулей сенсорной телекоммуникационной системы мониторинга состояния газотранспортных сетей.

Целью исследования является повышение энергоэффективности БСТС мониторинга технического состояния газотранспортных сетей за счет разработки метода проектирования и алгоритмов функционирования устройств автономного электропитания её беспроводных модулей.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **теоретические и прикладные задачи:**

1. Анализ особенностей УАЭ БСТС и состояния проблемы их проектирования.
2. Разработка метода проектирования УАЭ БСТС мониторинга технического состояния ГТС.
3. Исследования влияния условий окружающей среды на режимы работы автономных источников энергии.
4. Исследование и разработка моделей и алгоритмов функционирования модулей БСТС мониторинга технического состояния ГТС для снижения общего энергопотребления УАЭ.

5. Разработка методики проектирования устройств автономного электропитания модулей беспроводной сенсорной телекоммуникационной сети.

6. Апробация и внедрение результатов работы в практику проектирования УАЭ БСТС.

Методы научного исследования

Работа базируется на методах системного анализа, методах математического и имитационного моделирования, методах численных экспериментов, теории надежности, методах построения телекоммуникационных систем, методах проектирования радиотехнических и телекоммуникационных устройств и систем.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Метод и методика проектирования устройств автономного электропитания беспроводных модулей сенсорной телекоммуникационной системы мониторинга технического состояния газотранспортных сетей, позволяющие повысить их энергоэффективность на 30%.

2. Модель распределения потоков электрической энергии в автономной системе электропитания от источников к нагрузке, позволяющая определить требования к солнечной панели ветрогенератору и АКБ, исходя из чувствительности детектора, местоположения и метеоусловий.

3. Алгоритм обеспечения требований по надежности беспроводной сенсорной телекоммуникационной системы для достижения значения вероятности безотказной работы не ниже 0,95.

4. Комплекс алгоритмов функционирования модуля сенсорной телекоммуникационной системы мониторинга технического состояния газотранспортных сетей, обеспечивающие увеличение времени автономной работы беспроводных модулей на 10% и снижение энергопотребления на 20-30%.

Научная новизна результатов, выносимых на защиту:

1. Предложен метод проектирования УАЭ БСТС технического состояния ГТС, который отличается от известных учетом значений параметров детектора утечки газа, географического положения, метеорологических факторов

и возможностью применения альтернативных источников энергии, позволяющий повысить энергоэффективность беспроводных модулей до 30%.

2. Предложена математическая модель УАЭ БСТС, которая, в отличие от известных, позволяет исследовать распределение потоков электроэнергии от источников к нагрузке и рассчитать интервалы выхода в эфир беспроводного модуля БСТС в зависимости от условий окружающей среды и режима работы устройства.

3. Разработан алгоритм обеспечения требований по надежности, который позволяет в процессе проектирования учесть особенности топологии и алгоритма функционирования БСТС, а также схемотехнических решений ее компонентов и параметров безотказности канала передачи данных.

4. Разработан комплекс алгоритмов функционирования модуля БСТС, в частности:

- алгоритм передачи данных мониторинга состояния ГТС с переменной мощностью передатчика в зависимости от изменений в топологии БСТС «точка-точка», вызванных отказами промежуточных модулей;

- алгоритм управления электропитанием учитывает текущие параметры источников электроэнергии для организации бесперебойного функционирования модуля БСТС, а также отличается от известных введением дополнительных контролируемых параметров.

5. Предложена методика, которая, на основе разработанных метода, моделей и алгоритмов, позволяет проектировать энергоэффективные БСТС за счет разработки АУЭ их беспроводных модулей.

Практическая значимость результатов диссертации

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что предложенные метод, модели и методика проектирования позволяют повысить энергоэффективность и надежность беспроводной сенсорной телекоммуникационной системы для непрерывного мониторинга состояния ГТС, в том числе за счет снижения среднего энергопотребления ее беспроводных

модулей при использовании разработанных моделей и алгоритмов функционирования на 20-30%.

Внедрение результатов работы

Основные результаты данного исследования внедрены в процесс проектирования радиотехнических изделий и устройств электропитания предприятий АО «НИИхиммаш», АО «МРТИ РАН», где для повышения энергоэффективности и надежности данного оборудования применяются положения предложенного инженерно-методического комплекса; а также в учебный процесс подготовки бакалавров и магистров Московского института электроники и математики НИУ ВШЭ при проведении лекционных и практических занятий.

Апробация результатов работы

Работа в целом и ее отдельные результаты докладывались и обсуждались на следующих международных и российских научных конференциях: международная научно-практической конференция «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий» (Сочи) 2010г., 2014г., 2015; международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии, научные и технические достижения, их правовая защита» (Тольятти) 2011г.; международная научно-практическая конференция учащихся и студентов (Москва), 2012г.; всероссийская научно-техническая конференция «Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность» (Томск), 2012г.; международная научно-практическая конференция «Инновационные информационные технологии» (Прага), 2012г., 2013г.; Международная научно-практическая конференция «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии» (Москва), 2016.

Достоверность полученных в работе результатов исследования подтверждается корректным использованием математического аппарата, проведенными численными экспериментами, сопоставлением полученных данных с ранее опубликованными результатами других исследователей, а также

внедрением результатов работы в инженерную практику проектирования устройств электропитания.

Публикации

Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых научно-технических журналах, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки России (3 работы), в материалах международных и отраслевых конференций (11 работ), а также изданиях, индексируемых в международных базах научного цитирования Scopus (3 работы).

Личный вклад автора

Все результаты и положения, составляющие основное содержание диссертации, разработаны и получены лично автором или при его непосредственном участии.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения, списка литературных источников и приложений.

Основные результаты работы

При решении задач, поставленных в диссертационной работе, были получены следующие результаты:

1. Проведен обзор состояния предметной области и, исходя из особенностей функционирования автономных устройств электропитания сенсорной телекоммуникационной системы мониторинга состояния газотранспортных сетей и предъявляемых к ним требованиям, поставлена научная задача исследования.

2. На основании сравнительного анализа существующих решений в области использования автономных источников энергии предложены рекомендации по их использованию для автономных источников энергии устройств электропитания сенсорной телекоммуникационной системы мониторинга состояния газотранспортных сетей.

3. Предложен метод проектирования устройств электропитания элементов беспроводной сенсорной сети с применением альтернативных

источников энергии, позволяющий учесть влияние географического положения и метеорологических факторов.

4. Предложена математическая модель автономной системы электропитания, позволяющая исследовать распределение потоков энергии от источников к нагрузке, и разработан алгоритм обеспечения требований по надежности, который позволяет в процессе проектирования учесть особенности топологии и алгоритма функционирования беспроводной сенсорной телекоммуникационной сети, а также схмотехнических решений ее компонентов и параметров безотказности канала передачи данных.

5. Разработан комплекс алгоритмов функционирования модуля сенсорной телекоммуникационной сети, в частности:

- алгоритм передачи данных мониторинга состояния ГТС, позволяющий управлять мощностью передатчика в зависимости от изменений в топологии беспроводной сенсорной телекоммуникационной сети «точка-точка», вызванных отказами промежуточных модулей;

- алгоритм управления электропитанием, учитывающий текущие параметры источников электроэнергии для организации бесперебойного функционирования модуля;

- алгоритм управления зарядом аккумулятора с введением контроля нескольких дополнительных параметров, что позволяет повысить его эксплуатационные характеристики;

6. Предложена методика, которая на основе разработанных метода, моделей и алгоритмов позволяет проектировать энергоэффективные беспроводные сенсорные телекоммуникационные системы за счет разработки адаптивных устройств автономного электропитания их модулей.

7. Проведена апробация и экспериментальная проверка результатов работы на примере исследования разработанного с использованием предложенного ПК WPM-Design устройства автономного электропитания и беспроводной телекоммуникационной системы.

8. Результаты диссертационной работы внедрены в промышленность и учебный процесс вузов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в российских рецензируемых научных журналах, включенных в перечень, рекомендованный ВАК Минобрнауки России:

1. Шумов Ю.Н., Ермилов Ф.М., Иванов О.А. Электромеханические накопители энергии – состояние в мировой практике и перспективы развития. // Новые технологии, 2012г. С. 29-38.

2. Гольберг О.Д., Увайсов С.У., Иванов И.А., Иванов О.А. Обеспечение качества характеристик источников бесперебойного питания в условиях помех, вызванных нелинейной нагрузкой. // Технологии электромагнитной совместимости, 2013г., С. 55-64.

3. Иванов О.А., Гольдберг О.Д., Хелемская С.П. Автономная система электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии // Энергосбережение и водоподготовка, 2014г. С. 60-64.

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах научного цитирования (Scopus):

4. *Ivanov O., Avdeuk O., Bushmeleva K., Ivanov I., Uvaysov S. Model for Calculating the Reliability of a Wireless Sensor Telecommunication System for Monitoring the Gas Transmission Network State. 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT). Proceedings. – Moscow: National Research University "Higher School of Economics". Russia, Moscow, March 14-16, 2018. IEEE Catalog Number: CFP18N39-CDR. ISBN: 978-1-5386-3497-4.*

5. *Oleg A.Ivanov, Ilya A.Ivanov, SaygidU.Uvaysov, Svetlana S.Uvaysova. The Algorithm for Battery Charge Control of Renewable Energy Sources - Wind Turbine and Solar Panel. 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. National Research University Higher School of Economics. Russia, Moscow, May 12-14, 2016. IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR. ISBN: 978-1-4799-1060-1.*

6. *Uvaysov S.U., Ivanov I.A., Ivanov O.A. Power supply system for wireless sensor network. // Сборник трудов International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 2015г.*

Прочие публикации:

7. Иванов О.А., Коробков С.А. Инновационные подходы в построении источников бесперебойного питания. // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: Материалы международной научно-практической конференции. – М.: МИЭМ, 2010г., С. 390-391.

8. Иванов О.А., Коробков С.А. Инновационный подход к оценке качества в системах бесперебойного питания. // Инновационные технологии, научные и технические достижения, их правовая защита: Сборник статей IV Международной Научно-практической конференции – Тольятти – М.: Издательство «Типография Ника», 2011г., С. 99-103.

9. Иванов О.А., Коробков С.А. Влияние искажений формы напряжения на надежность системы бесперебойного питания. // V Международная Научно-практическая конференция учащихся и студентов: Сборник статей. – М.: МИЭМ, 2012г., С. 517-518.

10. Иванов О.А., Коробков С.А. Основные типы ИБП с двойным преобразованием энергии // Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность: Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции. – Томск: Издательство ООО «СПБ Графикс», 2012г., С. 192-194.

11. Иванов О.А., Голдберг О.Д., Коробков С.А. ИБП с бустером в цепи питания инвертора. // Инновационные информационные технологии: Материалы международной научно-практической конференции. – М.: МИЭМ, 2012г., С. 418-420.

12. Иванов О.А., Коробков С.А. Особенности современных типов источников бесперебойного питания. // Инновационные информационные технологии: Материалы международной научно-практической конференции. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013г., С. 151-153.

13. Увайсов С.У., Иванов И.А., Иванов О.А., Азизов Р.Ф. Принцип размещения датчиков утечки метана из магистральных газопроводов. // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Материалы XI Международной научно-практической конференции. - М.: НИУ ВШЭ, 2014, С. 289-292.

14. Лышов С.М., Королев П.С., Иванов О.А., Панасик Д.С. Структура автоматизированного комплекса диагностирования дефектов конструкции электронных средств. // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Материалы Международной научно-практической конференции. - М.: НИУ ВШЭ, 2015, С. 266-269.

15. Иванов И.А., Иванов О.А. Алгоритм ограничения потребляемой мощности приемо-передающего модуля элемента сенсорной сети. // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Материалы Международной научно-практической конференции. - М.: НИУ ВШЭ, 2015, С. 391-394.

16. Иванов О.А. Ограничение потребляемой мощности приемо-передающего устройства мотов сенсорной сети. // Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского. Материалы конференции. - М.: НИУ ВШЭ, 2016. С. 6.

17. Иванов О.А., Бушмелев П.Е., Увайсов С.У., Бушмелева К.И. Методика проектирования устройств автономного электропитания телекоммуникационной системы мониторинга состояния газотранспортных сетей. // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: Материалы международной научно-практической конференции. – М.: МИЭМ, 2016г., С. 54-57.