

## **Сведения о результатах выполнения НИОКР (22.12.2016г.-21.07.2018г.)**

Сведения о результатах выполнения НИОКР на тему: «Разработка программно-технического комплекса мониторинга инфраструктуры энергетических систем на основе технологий «интернета вещей»

В ходе выполнения НИОКР проведен комплекс работ, направленных на развитие технологий беспроводной передачи данных «интернета вещей», их адаптацию для решения задач мониторинга инфраструктуры линейных объектов энергетических систем, а также разработку новых технических решений в области реагирования на нештатные ситуации.

При выполнении НИОКР получены следующие основные научные и научно-технические результаты:

1) Разработана спецификация модифицированного протокола беспроводной сенсорной сети, позволяющего передавать и принимать данные от датчиков мониторинга линейно протяженных энергетических объектов. Спецификация описывает структуру пакетов данных, алгоритмы информационного обмена, временные характеристики и правила радиообмена устройств в сети, а также инфраструктуру сети. Разработанный протокол основан на технологии Bluetooth 5.0 и назван BLEREN – Bluetooth Low Energy Relay Extended Network (Релейная расширенная сеть Bluetooth с низким энергопотреблением). Протокол является по отношению к стеку протоколов Bluetooth прикладным – реализация поддержки протокола BLEREN является службой Bluetooth.

2) Разработаны алгоритмы функционирования распределенных узлов сети мониторинга для достижения заданных характеристик по протяженности контролируемого участка с поддержкой приоритизации сообщений. Алгоритмы определяют такие принципы и схемы взаимодействия узлов в сети, как установление соединения между узлами сети, реакция узлов на разрыв соединения, расчет таймаутов получения подтверждений доставки сообщений и статуса сети, и позволяют обеспечить работоспособность сети в различных режимах при различных варьируемых характеристиках: количество датчиков, количество узлов, протяженность участка и пр. Разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять имитационное моделирование функционирования сети мониторинга по протоколу BLEREN в соответствии с предложенными алгоритмами.

3) Разработано программное обеспечение узла сети, реализующее разрабатываемый протокол передачи данных. Программное обеспечение предназначено для организации мониторинга инфраструктуры линейных объектов энергетических систем путем приема и передачи данных от датчиков в шине данных с линейной избыточной топологией с

поддержкой приоритизации посредством разработанного протокола беспроводной передачи данных BLEREN технологии Bluetooth 5.0 и реализует функциональность трех типов узлов сети: Мост, Трансивер и Устройство. Аппаратной платформой для программного обеспечения узла сети является система на кристалле nRF52840 производителя Nordic Semiconductor. На программу для ЭВМ «Программное обеспечение узла беспроводной сенсорной сети на основе протокола BLEREN» получено свидетельство о регистрации № 2018610166 от 9 января 2018 г., РФ.

4) Разработано программное обеспечение диспетчерского центра, позволяющее выполнять сбор, обработку, интерпретацию, визуализацию принимаемых данных от устройств мониторинга, а также заданные алгоритмы и сценарии реагирования на возникающие нештатные ситуации. Проектирование и разработка программного обеспечения диспетчерского центра были проведены на базе модульной сервис-ориентированной архитектуры, объединяющей в себе различные технологии обработки и представления данных и позволяющей выполнять дальнейшее расширение функционала диспетчерского центра, а также масштабирование системы при подключении дополнительных устройств и объектов мониторинга. Программное обеспечение диспетчерского центра является универсальным решением, способным выполнять сбор сенсорных данных с различных типов устройств, поддерживающих как разработанный протокол BLEREN, так и в дальнейшем ряд других широко применяемых протоколов, например, Modbus, MQTT, SNMP и др. На программу для ЭВМ «Программное обеспечение диспетчерского мониторингового центра «Darvis Monitoring» получено свидетельство о регистрации № 2018614595 от 10 апреля 2018 г., РФ.

При выполнении заключительного этапа НИОКР получены следующие научные и научно-технические результаты:

1) Разработана программная документация, программа и методика испытаний, проведено комплексное тестирование, позволившие подготовить опытный образец программно-технического комплекса к предварительным испытаниям. Проведение комплексного тестирования позволило подтвердить работоспособность сети мониторинга в различных режимах для достижения заданных характеристик по протяженности контролируемого участка, оценить характеристики производительности сети мониторинга в зависимости от количества датчиков, узлов, протяженности участка, а также оценить характеристики надежности сети мониторинга при работе в различных режимах с учетом приоритизации сообщений в условиях возникновения разрывов соединений. Результаты комплексного тестирования показали, что разработанный программно-технический

комплекс соответствует требованиям технического задания и может быть использован в целях удаленного мониторинга линейных объектов энергетических систем.

2) Разработан и изготовлен опытный образец программно-технического комплекса, позволивший провести предварительные испытания, подтверждающих выполнение функций в соответствии с требованиями технического задания в части назначения научно-технического продукта. Разработанный программно-технический комплекс использует научно-технический задел, полученный на втором этапе НИОКР: программное обеспечения узла сети, реализующее протокол передачи данных BLEREN, а также программное обеспечение диспетчерского центра. Серверная часть программно-технического комплекса была развернута на базе инфраструктуры компании ООО «Инфоком-С». При этом разработанные на базе системы на кристалле nRF52840 тестовые абонентские модули являются мобильными устройствами, позволяющие проводить испытания, в условиях, максимально приближенных к промышленной эксплуатации.

3) Разработан и изготовлен испытательный стенд, который необходим для проведения комплексного тестирования в рамках экспериментальной проверки и подтверждения результатов, полученных в ходе выполнения предыдущих этапов НИОКР. Стенд создан на базе аппаратной платформы – отладочной платы Nordic Semiconductor nRF52840 Development Kit, на которую записана микропрограмма – разработанное программное обеспечение узла сети. Стенд содержит 5 отладочных плат, обмен данными между которыми осуществляется посредством технологии Bluetooth 5.0. Отладочные платы подключены через последовательный порт к автоматизированному рабочему месту испытательного стенда, который выполняет формирование сетевой нагрузки на отладочные платы путем имитации сетевого трафика от датчиков и Устройств и осуществляет комплексную оценку характеристик сети отладочных плат при релейной беспроводной передаче данных.

4) Проведены предварительные испытания опытного образца программно-технического комплекса, показавшие, что программное изделие и аппаратные модули, в частности тестовые абонентские модули на базе системы на кристалле nRF52840, входящие в состав программно-технического комплекса, выполняют основные функции в соответствии с техническим заданием. При этом ошибки в работе не обнаружены. По результатам испытаний программно-технический комплекс рекомендован для проведения отраслевых испытаний и к использованию в процессе промышленного тиражируемого изделия.

5) Разработаны предложения и методические рекомендации по применению программно-технического комплекса мониторинга инфраструктуры энергетических систем

для потенциальных потребителей. В предложениях сформулированы рекомендации, согласно которым возможно существенно повысить эффективность передачи мощности через линию электропередачи за счет ее динамического регулирования при осуществлении мониторинга состояния воздушных линий, а также повысить общую надежность функционирования энергетических систем и снизить потери передачи энергии. Методические рекомендации по применению программно-технического комплекса разработаны в отношении абонентского модуля сети мониторинга и программного обеспечения диспетчерского центра и предназначены для информирования энергетических предприятий в целях совместной реализации проектов.

Задачи НИОКР выполнены в полном объеме, поставленная цель НИОКР достигнута.

Полученные научные и научно-технические результаты обладают элементами научной новизны, заключающимися в системном подходе к анализу технологий, установлении основных закономерностей в развитии технологий беспроводной передачи данных, разработке новых технических решений мониторинга линейных объектов энергетических систем в соответствии с существующими рыночными тенденциями.

В результате выполнения работ по проекту разработан программно-технический комплекс, в состав которого входят:

- модифицированный протокол беспроводной сенсорной сети BLEREN;
- алгоритмы функционирования распределенных узлов сети мониторинга с оптимизацией маршрута в линейной избыточной топологии;
- программное обеспечение узла сети, реализующее разработанный протокол передачи данных и установленное на абонентском модуле системы мониторинга;
- программное обеспечение диспетчерского (мониторингового) центра.

Разработанный программно-технический комплекс мониторинга инфраструктуры энергетических систем позволяет:

- сократить расходы на организацию и обслуживание сети мониторинга линейно протяженного объекта за счет увеличения длины контролируемого участка до 300 км при текущем ограничении в 10-15 км благодаря использованию технологий «интернета вещей» и беспроводной связи в энергетике;
- оптимизировать стоимость владения энергетическими объектами за счет оперативного управления их функционированием и управления рисками выхода из строя энергетических систем в режиме реального времени.

Разработанный программно-технический комплекс обладает следующими конкурентными преимуществами:

— возможность управления элементами инфраструктуры энергетической системы в едином интерфейсе;

— независимость от производителей и поставщиков оборудования;

— повышение осведомленности о текущей ситуации как в штатном, так и нештатном режимах функционирования;

— значительное снижение эксплуатационных расходов.

Полученные результаты по проекту успешно проходят апробацию с участием таких компаний как ООО «АРМ СБ», ООО «НПО НИС», ООО «СРП Энерго», ООО «ПМЦ Старт-7», ООО «Система», НИЦ «ФОРС».

Разрабатываемый программно-технический комплекс имеет широкие перспективы коммерциализации и может быть использован в совместной реализации проектов по внедрению систем мониторинга и контроля для энергетических предприятий и объектов энергетики на территории Российской Федерации, включая ПАО «Россети», ПАО «Мосэнерго», ПАО «Ленэнерго», АО «Концерн Росэнергоатом», ГК «Астерос», ГУП «Топливо-энергетический комплекс Санкт-Петербурга».