

## АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Калиаскарова Нурбола Балтабаевича  
«Разработка распределенной автономной беспроводной Wi-Fi системы  
мониторинга технического состояния мостовых сооружений и зданий»,  
представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD)  
по специальности: 6D071900 - «Радиотехника, электроника и  
телекоммуникации»

**Актуальность работы.** С развитием коммуникационных и интеллектуальных систем автоматизации и телекоммуникации и совершенствованием аналоговой и цифровой электроники и измерительных систем появляются дополнительные условия и возможности для разработки систем непрерывного удаленного мониторинга таких объектов, как мосты или здания. Совершенствование автономных систем технического мониторинга несущих конструкций строительных объектов или мостовых сооружений связано с необходимостью применения новых измерительных датчиков и устройств беспроводной передачи информации. В связи с тем, что важной основой для благополучия современного общества уже сегодня является широко распространенная, безопасная, высококачественная и доступная широкополосная сеть, а развитие информационно-коммуникационной инфраструктуры – одно из важнейших направлений экономического развития Республики Казахстан, данные датчики и устройства системы должны обладать повышенной точностью, помехозащищенностью и совместимостью, а передача данных должна осуществляться на большом радиусе с высокой скоростью.

Важным элементом любой системы технической диагностики строительных объектов или мостовых сооружений является их непрерывный мониторинг, основу которого составляет измерение напряженно-деформационных параметров несущих конструкций, а также определение уровня их основных параметров. Составной частью систем технической диагностики является подсистема сбора данных, т. е. подсистема передачи измеренных данных в единый информационный центр. Необходимым условием эффективности функционирования распределенных систем технической диагностики с большим количеством датчиков является возможность беспроводной передачи полученных данных.

Оценивая результаты исследований и разработок многих отечественных и зарубежных производителей и ученых, можно отметить, что существующие системы мониторинга не в полной мере отвечают современным требованиям, предъявляемым к подсистемам передачи информации, например, таким как: отказ от проводных линий связи интерфейсов "Измерительная система - пользователь", оптимизация потребления электроэнергии беспроводных систем передачи информации, наличие алгоритмов дискретной передачи потоковых данных, обеспечивающих, с одной стороны, требование к качеству передаваемой информации, и, с другой – минимизацию размеров пакетных данных. В связи с этим одной из основных задач при создании эффективной

распределенной системы мониторинга является выбор способа и разработка устройства беспроводной передачи информации от измерительных датчиков до компьютерного центра (сервера) сбора данных.

При выборе средств передачи данных необходимо учитывать то обстоятельство, что главным отличием систем непрерывного мониторинга мостовых сооружений и строительных зданий является большая линейная протяженность объекта измерения, что ограничивает применение кабелей, присоединяющих датчики, как по соображениям экономичности, так и по техническим характеристикам. Кроме того, измерительные системы непрерывного мониторинга мостового сооружения и строительных зданий должны работать на открытом воздухе, в условиях больших перепадов температур, высокой влажности, атмосферных осадков.

Использование распределенной беспроводной системы позволит уменьшить финансовые затраты для проведения различных мероприятий по исправлению недостатков, путем корректного определения местоположения, угла наклона, показателей вибрации, влияния температуры и вида необходимых ремонтных мероприятий. В большинстве случаев измерительными устройствами в данных распределительных системах являются различные датчики, которые измеряют параметры в строгом соответствии с технологиями идентификации и отслеживания данных.

Отправка данных по беспроводному способу предоставит пользователю возможность проводить удаленный мониторинг исследуемого объекта. В данном случае обеспечивается высокая скорость, целостность передачи данных и большой радиус охвата для передачи результатов измерения. В результате достигается увеличение срока эксплуатации устройства и повышение точности, информативности и качества прогноза о состоянии мостовых сооружений и зданий. Низкая себестоимость подключаемых устройств и их доступность программирования не ухудшает надежность всей системы, что увеличивает преимущества разрабатываемой беспроводной системы. Практическая реализация такой распределительной системы позволит в будущем использовать ее не только в строительстве, но и в других системах связи, в мостовых конструкциях железной дороги и автомагистралях, «умных» технологиях и других сферах (например: сельское хозяйство, экология, энергетика, здравоохранение, метеорология).

**Целью настоящей диссертационной работы** является разработка распределенной автономной беспроводной Wi-Fi системы для удаленного мониторинга технического состояния мостовых сооружений и зданий с обеспечением высокой скорости передачи данных, большого радиуса действия и поддержкой множественного доступа с прослушиванием несущей и избеганием столкновений.

**Задачи исследования:**

- проведение анализа исследований и технических решений в области мониторинга состояния строительных зданий и мостовых сооружений;
- обоснованный подбор стандарта беспроводной технологий;

- выбор устройств для распределенной беспроводной Wi-Fi системы, их программирование и настройка;
- использование технологии планирования экспериментов, для исследования процессов приема-передачи Wi-Fi-сигналов в исследуемой системе;
- обеспечение целостности и достоверности информации передаваемых данных и адаптация системы для проведения мониторинга в других сферах;
- разработка структурной, функциональной схемы системы, алгоритма работы и математической модели распределенной беспроводной системы;
- разработка компьютерной модели системы для определения оптимальной скорости передачи данных в беспроводной системе;
- математическая обработка результатов исследования.

**Объект исследования** – мостовые сооружения и строительные здания.

**Предмет исследования** – процессы контроля, диагностики и удаленного мониторинга технического состояния; процессы сбора, обработки и отображения информации.

**Методы исследования.**

В процессе проведения диссертационных исследований использовались апробированные методы по обработке и анализу измерительной информации, методы удаленной идентификации измерений, методы создания программно-аппаратных систем на основе микроконтроллеров и методы компьютерного моделирования. Кроме того, проводились лабораторные испытания по мониторингу технического состояния строительных конструкций в процессе их эксплуатации.

**Научная новизна** заключается в следующих положениях и результатах:

- предложен новый подход на основе разработанного алгоритма передачи данных по удаленному мониторингу технического состояния строительных зданий и мостовых сооружений;
- разработана новая распределенная беспроводная система мониторинга для высокоскоростной передачи данных на больших расстояниях при удаленном техническом контроле аварийных конструкций;
- получены новые результаты экспериментов и подобраны необходимые параметры для получения оптимальных данных;
- предложены оригинальные схмотехнические и программные решения, обеспечивающие минимальное энергопотребление автономной передающей части систем;
- предложена оригинальная компьютерная модель беспроводного канала, описывающая скорость передачи данных в разработанной распределенной системе.

**Практическая значимость.**

Внедрение новых дополнительных блоков с целью увеличения срока эксплуатации устройства и повышения точности, информативности и качества прогноза технического состояния.

Несложное программирование устройств и их совместимость всех передающих и приемных элементов.

Относительно невысокая цена в сравнении с существующими аналогичными системами.

Трехэтапная безопасность доступа к результатам исследования.

Широкий выбор методов обработки полученных результатов.

**Положения диссертации, выносимые на защиту:**

– метод планирования экспериментов на основе положений теории математической и статистической обработки данных;

– качественные характеристики беспроводного Wi-Fi канала для обеспечения надежности передаваемых результатов мониторинга;

– алгоритм распределенной автономной беспроводной Wi-Fi системы на основе положений теории идентификационных измерений и статистической обработки данных;

– новый подход на основе разработанного алгоритма передачи данных по удаленному мониторингу технического состояния строительных зданий и мостовых сооружений.

– структура распределенной автономной беспроводной системы мониторинга технического состояния (РАБСМ ТС) мостовых сооружений и зданий.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на: международной научно-практической конференции «Козыбаевские чтения-2018: Евразийский потенциал и новые возможности развития регионов Казахстана и России в условиях глобальных вызовов» (Петропавловск, 2018); Международной научно-практической конференций «Scientific research – 2018» (Карловы Вары - Москва, 2018); Международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Караганда, 2019); VIII международной научной конференций «Технические науки в России и за рубежом» (Краснодар, 2019).

**Публикации.** Основные результаты исследования нашли отражение в ряде научных работ, в том числе, в 3 статьях, опубликованных в изданиях рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, в 1 статье – в международном научном журнале, имеющего ненулевой импакт-фактор (индексированный в базе данных Scopus), в 4 работах, отраженных в трудах международных научных конференций, в том числе 2 в зарубежных, а также в 1 патенте.

**Личный вклад автора.**

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований получены автором самостоятельно. В печатных работах, которые написаны в соавторстве, соискателю принадлежит ведущая роль при обобщении и анализе полученных результатов.

**Структура диссертации.**

Диссертация имеет классическую структуру: вводная часть, основная часть (четыре главы), заключение, список использованных источников. Работа изложена на 103 страницах компьютерного текста, включает 69 рисунка, 9 таблиц и 73 наименований библиографических источников.

## **Результаты исследования.**

Объектом исследования являются мостовые сооружения и строительные здания. По результатам обзора и анализа систем мониторинга выявлены их недостатки, обусловленные сложностями реализации или трудностями в разработке, настройке и внедрения в Республике Казахстан. С целью устранения выявленных недостатков, разработан новый подход по разработке РАБСМ ТС, основанный на алгоритме и структурной схеме. Произведено сравнение существующих беспроводных технологий и обоснован выбор стандарта 802.11 – Wi-Fi в качестве основной технологии передачи данных в РАБСМ ТС мостовых сооружений и строительных зданий. Проанализированы ключевые характеристики технологии Wi-Fi для обеспечения безопасности и целостности передаваемых результатов измерений.

На основе созданной математической модели выбрана программная среда для компьютерного моделирования, создана компьютерная модель, необходимая для установления оптимальных параметров беспроводного канала, обеспечивающая высокую скорость передачи данных с минимальной потерей пакетов.

Настройка и программирование всех элементов структурной схемы РАБСМ ТС мостовых сооружений и строительных зданий осуществлялись в программной среде Arduino Ide, при необходимости расширения дополнительных функций есть возможность смены языка программирования. Выбранные датчики, приемные и передающие модули обладают рядом достоинств, таких как легкость в программировании, получение точных значений, занимаемая малая площадь, простота в замене датчиков, удаленная настройка и так далее.

Практическая реализация и апробация системы проводилась в несколько этапов, в начальном измерений произведена проверка беспроводного канала, совместимость подключаемых датчиков с Wi-Fi модулями и их соединение, настроен сервер, подобранный для диссертационного исследования и проверены передаваемые значения в начальном этапе испытаний. Далее проведен расчет необходимого числа экспериментов, для проверки надежности системы. После проведенных 50 экспериментов произведен экспорт результатов с сервера в программу Microsoft Excel и рассчитаны такие параметры, как: математическое ожидание, дисперсия, доверительный интервал. По результатам расчетов определены наблюдаемые значения для сравнения их с критическими значениями по распределению Фишера. Результаты расчетов доказали надежность системы и ее передаваемых данных на 98%.

Подводя итоги проведенных исследований, можно выделить следующие положения:

- получены и систематизированы результаты исследований, режимов работ и технических решений по удаленному мониторингу технического состояния строительных зданий и мостовых сооружений;
- выбраны, запрограммированы и настроены совместимые устройства при разработке распределенной беспроводной Wi-Fi системы;

- выбран метод планирования экспериментов и проведено моделирование исследуемого процесса;
- обеспечена целостность и достоверность информации передаваемых данных и созданы условия адаптации системы для проведения мониторинга в других сферах;
- разработана компьютерная модель системы, в которой определена оптимальная скорость передачи данных в беспроводной системе;
- разработаны структурная и функциональная схема системы, алгоритм работы и математическая модель распределенной беспроводной системы.

#### **Работы, опубликованные по теме диссертации.**

1. Ивель В.П., Герасимова Ю.В., Калиаскаров Н.Б. Обзор распределенной беспроводной системы сбора и передачи аналоговых данных // Материалы международной научно-практической конференции «Козыбаевские чтения-2018: Евразийский потенциал и новые возможности развития регионов Казахстана и России в условиях глобальных вызовов», – Казахстан: Петропавловск, 2018.– С.243-248..
2. Ивель В.П., Герасимова Ю.В., Калиаскаров Н.Б., Мехтиев А.Д., Югай В.В., Есенжолов У.С. О необходимости разработки распределенной беспроводной системы сбора и передачи данных, предназначенной для мониторинга технического состояния мостов // Материалы IV Международной научно-практической конференций «Scientific research – 2018», – Чехия: Карловы Вары-Россия:Москва, 2018.– С.138-143.
3. Ивель В.П., Разинкин В.П., Герасимова Ю.В., Калиаскаров Н.Б. Көпірлер мен ғимараттардың қиысқан жерлері мен жарықтардың жағдайын бақылау мен мониторингтеудің маңыздылығы // Материалы международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №11), – Казахстан: Караганда, 2019.– С.203-205.
4. Ивель В.П., Разинкин В.П., Герасимова Ю.В., Калиаскаров Н.Б., Несипова С.С. Разработка устройства беспроводной системы для мониторинга состояния трещин и стыков зданий и мостовых сооружений с использованием двухпроцессорных Wi-Fi передатчиков // Материалы VIII международной научной конференций «Технические науки в России и за рубежом», – Россия: Краснодар, 2019.– С.19-21.
5. Пат. 3860 РК, МПК E04G 23/00, G01B 11/00. Беспроводное устройство мониторинга состояния трещин и стыков зданий и сооружений / Калиаскаров Н.Б., Герасимова Ю.В., Ивель В.П., Есенжолов У.С., Югай В.В., Мехтиев А.Д.; опубл.08.04.2019, Бюл.№15. – 4 с.
6. Ивель В.П., Разинкин В.П., Калиаскаров Н.Б. Разработка беспроводного устройства мониторинга состояния трещин и стыков зданий и сооружений, и его преимущества. // Вестник КазАТК, Алматы, 2019. – №2, – С.10-17.
7. Калиаскаров Н.Б., Ивель В.П., Герасимова Ю.В., Петров П.А., Югай В.В. Использование технологии WI-FI для сбора и передачи данных

температуры и влажности. // Вестник ПГУ. Серия Энергетика, Павлодар, 2020. – №4, – С.215-227.

8. Калиаскаров Н.Б., Ивель В.П., Югай В.В., Петров П.А. Измерение температуры и влажности на основе двухпроцессорной Wi-Fi системы. // Вестник АУЭС, Алматы, 2020. – №4 (51), – С.60-69.

9. Kaliaskarov N.B., Ivel V.P., Yugay V.V., Gerasimova Y.V., Moldakhmetov S.S. Development of a distributed wireless Wi-Fi system for monitoring the technical condition of remote objects // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020, Vol.5 №9 (107). – P. 36–48.