

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**доктора технических наук, доцента Кучерявого Евгения Андреевича  
на диссертацию Ларионова Андрея Алексеевича**

«Технология построения и методы исследования систем управления безопасностью дорожного движения на основе широкополосных беспроводных сетей и радиочастотной идентификации»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.15 – «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети»

### **Актуальность диссертационного исследования.**

Информационные системы и компьютерные сети играют ключевую роль в построении современных транспортных систем. Создание высокоэффективной транспортной инфраструктуры невозможно без использования средств автоматического управления трафиком, мониторинга дорожной обстановки, обеспечения безопасности. Важную роль играют системы идентификации автомобилей, которые используются при регистрации нарушений правил дорожного движения, при оплате проезда по платным магистралям и въезде на современные парковки. Для эффективной работы таких систем необходима надежная и быстрая идентификация машин. Работа традиционной оптической идентификации, основанной на автоматическом распознавании номера автомобиля по фото или видео, зависит от погоды, поэтому нужно использовать дополнительные источники идентификации. Перспективным вариантом такого дополнительного источника является радиочастотная идентификация (RFID), когда автомобили оснащаются радиометками, которые считываются при проезде мимо RFID-считывателя. Исследованию и разработке таких систем посвящена диссертация Ларионова А.А.

В диссертации автор формулирует цели исследования: разработка и исследование комплекса аналитических и имитационных моделей для анализа и оптимизации основных характеристик систем радиочастотной идентификации транспортных средств; разработка методики оценки производительности широкополосных беспроводных сетей, использующихся для передачи данных от RFID-считывателей в центры обработки данных; проектирование и разработка архитектуры и реализация распределенной компьютерной системы управления и сбора данных с RFID-считывателей, ее экспериментальное внедрение и проведение испытаний.

Фактически, целью диссертационной работы Ларионова А.А. является создание математического и программного аппарата для решения задачи проектирования и создания распределенных систем радиочастотной идентификации автомобилей. Такая задача актуальна как с практической, так и с теоретической точек зрения, а ее решение будет востребовано в самое ближайшее время.

### **Структура диссертации.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 200 страниц, в том числе 85 рисунков, 8 таблиц. Список литературы включает в себя 210 наименований.

**Во введении** соискатель обосновал актуальность диссертационной работы, были сформулированы цели и задачи, также указана научная новизна и практическая ценность работы и полученных результатов.



**В первой главе** описаны протоколы, стандарты и математические методы, которые используются в диссертации, подчеркнуты особенности, играющие ключевую роль в работе. Приведен обзор современных научных исследований.

**Во второй главе** автор дает описание модели системы радиочастотной идентификации автомобилей. Приводятся формулы для расчетов мощностей сигналов, учитывающие многолучевое распространение, ограниченную чувствительность меток, эффект Доплера. Приводятся результаты расчетов длительностей сообщений, передаваемых между считывателем и меткой, в зависимости от настроек протокола - способа кодирования сообщений, длительностей символов, типов преамбул и прочих. В завершение главы приводятся результаты расчета вероятности идентификации меток, полученные с помощью имитационного моделирования системы радиочастотной идентификации автомобилей.

**В третьей главе** представлена аналитическая модель, позволяющая рассчитывать вероятность идентификации движущейся метки с помощью пары неоднородных марковских процессов. Модель описывает систему с фиксированным значением вероятности битовой ошибки (BER), но позволяет учесть отключения питания считывателя и различные способы выбора множества меток, которые должны передавать ответы считывателю (сценарии опроса). Первый марковский процесс позволяет рассчитать среднее количество меток, участвующих в каждом опросе, а второй процесс используется для расчета вероятности идентификации. В конце главы приведены результаты сравнения аналитической и имитационной моделей, показывающие высокую точность предложенного метода.

**Четвертая глава** посвящена исследованию характеристик многошаговых беспроводных сетей международного стандарта IEEE 802.11 с помощью аппарата сетей массового обслуживания. В главе решаются две задачи: поиск методики построения сети массового обслуживания, адекватно моделирующей работу беспроводной сети с произвольным числом ретрансляторов, и поиск метода быстрого вычисления характеристик сети массового обслуживания с коррелированными потоками (нахождение точного решения затруднено из-за экспоненциального роста размерности задачи при увеличении числа узлов). Для решения первой задачи предлагается находить случайные распределения времени обслуживания и строить сеть массового обслуживания по статистическим данным, полученным с помощью имитационной модели беспроводной сети малого фиксированного размера. Для решения второй задачи автор предлагает использовать метод аппроксимации потоков обслуженных пакетов, используя методы моментов, что позволяет вычислять характеристики сети массового обслуживания с помощью итерационного алгоритма. Приведенные результаты численных экспериментов показывают высокую скорость расчетов и высокую точность предложенных методов.

**В пятой главе** приводится описание разработанной архитектуры и реализации распределенной компьютерной системы радиочастотной идентификации. Автор приводит подробное описание всех ключевых компонентов, протоколов взаимодействия между компонентами, особенности их реализации. В завершение главы приводится описание трех натурных испытаний системы в городе Казань и на ЦКАД в Московской области.

**В заключении** диссертационной работы подводятся окончательные итоги исследования.

**В приложении** приведены акты внедрения полученных результатов.



Название диссертации полно отражает ее содержание. Автореферат соответствует материалу диссертационной работы. Текст в автореферате изложен последовательно, что позволяет сформировать ясное и полное представление о теме диссертации.

### **Научная новизна результатов**

В работе Ларионова А.А. получены новые научные результаты:

1. Впервые предложена и исследована стохастическая модель системы радиочастотной идентификации транспортных средств (ТС), учитывающая скорость движения RFID-меток, расположенных на номерных знаках автомобилей, а также различные сценарии проведения циклического опроса и сбора данных с меток.
2. Разработан комплекс новых аналитических и имитационных моделей для анализа вероятности идентификации ТС, учитывающих особенности логического и физического уровней протокола стандарта EPC Class 1 Gen.2, и особенности распространения радио сигналов между RFID-меткой и считывателем.
3. Предложена новая методика моделирования многошаговых беспроводных сетей с помощью тандемных сетей массового обслуживания, учитывающая особенности трафика и интерференции в каналах связи
4. Разработан оригинальный метод вычисления оценок характеристик многофазных систем массового обслуживания большой размерности с коррелированными входными потоками и распределениями обслуживания фазового типа
5. Разработана архитектура и реализована новая распределенная компьютерная система управления RFID-считывателями, предназначенная для организации сбора данных об идентифицированных транспортных средствах.
6. Проведена обработка экспериментальных данных, полученных при опытных внедрениях разработанной распределенной компьютерной системы радиочастотной идентификации на автодорогах в г. Казань и на ЦКАД в Московской области, показавшая высокое совпадение с теоретическими результатами диссертации.

### **Степень обоснованности и достоверности результатов исследования**

Обоснованность научных положений, выводов и результатов подтверждаются использованием соискателем теоретических положений, опирающихся на известные труды в области RFID, широкополосных беспроводных сетей, теории массового обслуживания.

Полученные в работе результаты теоретических исследований автор подтверждает большим объемом исследований на имитационных моделях, а также результатами натурных экспериментов.

Достоверность также подтверждается публикациями в ведущих международных рецензируемых журналах и докладами на международных профильных конференциях.

### **Замечания по диссертации**

По результатам изучения диссертационной работы Ларионова А.А. можно сформулировать следующие замечания.

1. Для более полного представления об области исследования в первой главе не хватает описания альтернативных технологий идентификации, например технологии DSRC (Dedicated Short-Range Communications), которая используется в транспондерах при оплате проезда на платных дорогах в Московской области.



2. При расчете мощностей сигналов в главе 2 автор использует модель дипольной антенны для считывателя, хотя антенны считывателя имеют более сложные диаграммы направленности.
3. В третьей главе автор использует допущение о постоянном значении битовой ошибки (BER). Для систем с метками, размещенных на автомобиле, BER изменяется значительно (что показывает и автор в главе 2), поэтому было бы желательно привести численный анализ влияния допущения на точность результатов аналитической модели.
4. В четвертой главе недостаточно аргументирован выбор методов восстановления потоков (использование от одного до трех первых моментов и коэффициента корреляции).
5. В четвертой главе есть замечание к представлению данных на рис. 4.18 (с.135): левая колонка не репрезентативна, стоило разбить на два графика с разным масштабом.
6. В пятой главе последний эксперимент, проведенный на ЦКАД, описан слишком кратко, отсутствуют численные данные (так как эксперимент завершился недавно, возможно, они не были доступны).

Также имеют место недочеты оформления, например – использование различных нотаций при записи сценариев работы считывателя в главе 3 (автор использует надстрочный индекс 1 в тексте для указания отключения RFID-считывателя после чтения меток, в то время как на графиках используется строчная буква «х»). В целом выбранная автором нотация в главе 3 выглядит избыточно сложной.

Указанные замечания не снижают ценности работы и не оказывают решающего влияния на положительную оценку диссертационной работы Ларионова А.А. Она представляет собой законченную научную работу, в которой решена актуальная задача разработки автоматизированной системы безопасности на дорогах с использованием RFID-технологий и беспроводных сетей.

### **Публикации автора**

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в открытой печати. Автор опубликовал 20 работ по теме диссертации, из них 4 в изданиях из перечня ВАК и 15 в изданиях, индексируемых в WoS/Scopus.

### **Общая оценка диссертационной работы**

Результаты диссертационной исследовательской работы и выводы по ней, полученные Ларионовым А.А., свидетельствуют о том, что соискатель выполнил актуальное исследование, направленное на решение теоретических и практических задач разработки модельно-методического аппарата проектирования, исследования и построения автоматизированных систем безопасности на автодорогах с использованием RFID-технологий и беспроводных сетей. Проведенные исследования отличаются от ранее выполненных другими авторами тем, что соискатель разработал новые аналитические и имитационные модели систем RFID с мобильными метками, разработал оригинальную методику моделирования многошаговых беспроводных сетей с помощью сетей массового обслуживания с коррелированным трафиком и распределениями фазового типа, разработал архитектуру и реализовал распределенную компьютерную систему управления для получения данных от считывателей.

На основе вышеизложенного можно заключить, что диссертация Ларионова Андрея Алексеевича «Технология построения и методы исследования систем управления

безопасностью дорожного движения на основе широкополосных беспроводных сетей и радиочастотной идентификации» является законченным научным исследованием, полностью удовлетворяющим критериям положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.15 – «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети», а ее автор, Ларионов Андрей Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по этой специальности.

Согласен с включением моих персональных данных в аттестационное дело соискателя Ларионова А.А. и их дальнейшей обработкой.

15.03.2022 г.

Официальный оппонент,  
профессор, главный научный сотрудник Научной лаборатории Интернета вещей и киберфизических систем Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

д.т.н., доцент

Е.А. Кучерявый



Подпись заверяю  
Специалист по персоналу  
Дурихина К.Н.  
Д