

АННОТАЦИЯ
диссертационной работы Тасболатовой Лауры Талгатқызы
на тему: «Исследование вопросов безопасности при передаче данных в
автоматизированных системах управления движением поездов на
транспортных коридорах РК», представленной на соискание степени доктора
философии (PhD) по образовательной программе 8D07101 – Автоматизация и
роботизация

Актуальность работы. В Концепции развития транспортно-логистического потенциала Республики Казахстан до 2030 года и Стратегии развития АО «НК «Қазақстан темір жолы» до 2032 года определены основные задачи, стоящие перед транспортным комплексом, среди них внедрение перспективных средств и технологий железнодорожной автоматики, разработка научных и обоснованных требований к увеличению пропускной способности и скоростных параметров инфраструктуры, а также обоснование создания резервов пропускной способности сети железных дорог по различным направлениям.

Железнодорожный транспорт в Казахстане имеет особое стратегическое значение и является связующим звеном единой экономической системы, обеспечивает стабильную деятельность промышленных предприятий, своевременный подвоз жизненно важных грузов в самые отдаленные уголки страны, а также является самым доступным транспортом для миллионов граждан. Эксплуатационная протяженность сети железных дорог общего пользования составляет 16,0 тыс. км. Доля в грузообороте транспортной системы Казахстана – 65,2 %.

Важнейшим условием эксплуатации железных дорог является безопасность движения поездов при заданной пропускной и провозной способности. Данное условие достигается применением устройств и автоматизированных систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Устройства ЖАТ управляют интервальным регулированием движения поездов и обеспечивают безопасность движения, кроме того, современные автоматизированные системы ЖАТ позволяют повысить производительность и культуру труда.

Важную роль в процессе организации железнодорожных перевозок играют устройства сигнализации, централизации и блокировки – именно они обеспечивают необходимую пропускную способность, скорость и безопасность движения. На современном этапе железнодорожная отрасль стремительно развивается, происходит значительное усиление алгоритмов обеспечения безопасности, повышается сложность электрических схем, возрастает количество микропроцессорных систем. Разработка национальных интеллектуальных систем интервального регулирования движения поездов (СИРДП), способных увеличить пропускную способность магистральной железнодорожной сети железнодорожного транспорта в новых экономических, технологических и организационных условиях становится особенно актуальной.

Актуальность разработки обусловлена отсутствием в РК национальных технических решений с интеллектуальной функцией управления, позволяющих повысить пропускную способность станций и участков с применением цифровых стандартов и микропроцессорных систем.

Целью диссертационной работы является обеспечение безопасности передачи данных при разработке национальной интеллектуальной системы с модульной архитектурой KZ-МППЦ-МА для управления стрелками и светофорами, которая интегрируется в действующую систему СИРДП-Е, внедрённую на

магистральной железнодорожной сети Казахстана (разработанная компанией Bombardier Transportation).

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие **задачи**:

- провести анализ текущего состояния систем железнодорожной автоматики и телемеханики, применяемых в инфраструктуре АО «НК «Қазақстан темір жолы»;
- разработать архитектуру национальной интеллектуальной системы управления стрелками и светофорами KZ-МПЦ-МА с модульной архитектурой;
- разработать алгоритм функционирования и программный код системы МПЦ на основе двухпутной станции;
- провести математическое моделирование задачи планирования размещения базовых станций в сети TETRA;
- разработать методику оценки канала передачи данных по стандарту TETRA для обеспечения информационной и функциональной безопасности движения поездов;
- провести экспериментальные исследования с целью практического применения системы радиоблокировки для обеспечения информационной и функциональной безопасности на магистральной сети;
- обосновать и исследовать модель канала передачи данных по стандарту TETRA;
- построить базовую модель сети TETRA для передачи данных в системе СИРДП-Е.

Научная новизна работы определяется следующими полученными результатами:

1. Впервые разработана национальная интеллектуальная система с модульной архитектурой KZ-МПЦ-МА для централизованного управления стрелками и светофорами.
2. Разработаны алгоритм функционирования и программный код системы KZ-МПЦ-МА.
3. Разработана методика оценки канала передачи данных по стандарту TETRA для обеспечения информационной и функциональной безопасности движения поездов.
4. Разработана модель канала передачи данных по стандарту TETRA.
5. Построена базовая модель сети TETRA для передачи данных в системе СИРДП-Е.

Практическая ценность. Результаты, полученные в диссертационной работе, представляют практическую ценность с точки зрения разработки модели канала передачи данных по стандарту TETRA, а также в контексте выполнения задач в рамках грантового финансирования по проекту AP13068231 «Исследование и разработка алгоритмов работы национальной системы микропроцессорной централизации стрелок и сигналов». Эти результаты актуальны при анализе и подготовке к модернизации устройств централизации, предусматривающей их замену на более современные интеллектуальные решения, с предоставлением необходимых рекомендаций для их дальнейшего развития.

Основные положения, выносимые на защиту. По результатам исследования были решены нижеследующие задачи:

- проведен анализ существующих систем железнодорожной автоматики и телемеханики, эксплуатируемых на магистральной железнодорожной сети Республики Казахстан;

- впервые разработана интеллектуальная национальная микропроцессорная система централизации KZ-МПЦ-МА, направленная на повышение безопасности и надежности железнодорожной автоматики;

- разработаны алгоритм функционирования и программный код системы KZ-МПЦ-МА;

- практическая реализуемость системы радиоблокировки продемонстрирована на основе экспериментальных испытаний на участке Жетыген – Алтынколь Алматинского отделения магистральной сети;

- построена модель канала передачи данных по стандарту TETRA.

Структура диссертации включает введение, 4 раздела, заключение, список использованных источников и приложения.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационного исследования. Сформулированы цель, объект, предмет и задачи научно-исследовательской работы. Представлены основные результаты исследования, раскрыта их научная новизна и практическая значимость. Приведены сведения о достоверности полученных результатов и их апробации.

В первом разделе диссертационной работы проведен анализ и представлен обзор современных тенденций развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики в инфраструктуре магистральной железнодорожной сети РК. Определена научно-техническая обоснованность модернизации автоматизированных систем ЖАТ, а также разработки интеллектуальной системы управления.

Во втором разделе разработана национальная микропроцессорная система централизации с модульной архитектурой KZ-МПЦ-МА, приведены её основные особенности и архитектурные решения. На основе двухпутной станции разработаны алгоритм функционирования и программный код системы KZ-МПЦ-МА. Программный код микропроцессорной централизации, предназначенной для управления стрелками и светофорами, разработан в соответствии с требованиями стандартов CENELEC, и проведены процедуры верификации и валидации без подключения к полевому оборудованию. В рамках оценки безопасности была определена частота отказов $\lambda_{МПЦ}$, на основании которой рассчитан показатель уровня обеспеченности функциональной безопасности системы.

В третьем разделе всесторонне рассмотрены принципы передачи сигналов СИРДП-Е через сеть TETRA, проанализированы модели распространения радиосигналов, обсуждены возможные помехи и шумы, эффект Доплера и процесс хендовера. Одним из ключевых результатов раздела стало формирование подходов к планированию размещения базовых станций, а также подготовка базы данных цифровых моделей рельефа для реализации математического моделирования. Разработана методика оценки канала передачи данных по стандарту TETRA с целью обеспечения информационной безопасности движения поездов, представлены и проанализированы результаты проведённых испытаний. Проведённые эксперименты позволили выявить критическую проблему в действующей системе СИРДП-Е на участке Алтынколь–Жетыген и предложить её решение за счёт корректного планирования модели покрытия базовой станции.

В четвертом разделе рассмотрены основы моделирования системы СИРДП-Е. Основной задачей моделирования системы СИРДП-Е является воспроизведение характера движения пользовательского оборудования TETRA.

В заключении изложены основные результаты и выводы диссертации.

В рамках диссертационного исследования **достоверность и научная обоснованность выносимых на защиту научных положений, выводов и рекомендаций** обеспечивается рядом взаимосвязанных факторов. В частности, это

– корректный выбор и надлежащее применение математического аппарата в соответствии с современными научными требованиями; целенаправленная организация экспериментальных исследований с надлежащим техническим оснащением; установление качественного и количественного соответствия между теоретически полученными результатами и экспериментальными данными. Кроме того, практическое применение полученных научных результатов при решении конкретных инженерных задач подтверждает их прикладную ценность, устойчивость и достоверность научных выводов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- Международная научно-практическая конференция «International Satbayev Conference 2023» (Сатпаевские Чтения – 2023). Наука и Технологии: от идеи до внедрения (Казахстан, Алматы, КазНУ им. К.И.Сатпаева, 12 апреля 2023 г.);

- XI Международной межвузовской научно-практической конференции-конкурса научных докладов студентов и молодых ученых «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРЕДОВЫЕ РЕШЕНИЯ» (Кыргызстан, Бишкек, Международный университет инновационных технологий, 25 - 26 мая 2023 г.);

- выступление с докладом в Railway Systems Colloquium в Technische Universität Dresden (Германия, Дрезден, 24 октября 2024г.), получен сертификат;

- VI Международная студенческая научно-практическая конференция «Молодежный цифровой форум YDF-2025» (Казахстан, Алматы, АО «Международный университет информационных технологий», 27 марта 2025г.);

- Международная научно-практическая конференция «Satbayev International Conference 2025» (Сатпаевские чтения – 2025). «Искусственный интеллект в инженерных и производственных системах: решения для оптимизации и автоматизации процессов» (Казахстан, Алматы, КазНУ им. К.И.Сатпаева, 11 апреля 2025 г.), получен диплом I степени.

Все доклады представлены на семинарах, конференциях различного уровня и круглых столах.

Диссертационная работа выполнена в рамках научного проекта AP13068231 «Исследование и разработка алгоритмов работы национальной системы микропроцессорной централизации стрелок и сигналов» на 2022-2024гг.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 12 научных статей, получен 1 патент на изобретение и 1 патент на полезную модель, в том числе:

- 3 статьи в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science;

- 5 публикаций в изданиях, включённых в перечень Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан;

- 4 публикации в материалах конференций, симпозиумов и семинаров.

Научные публикации:

1. Сансызбай К.М., Орунбеков М.Б., Шукманов Ж.Е., Тасболатова Л.Т., Сагмединов Д.Б. Общие тенденции развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики на сети железных дорог Казахстана // Вестник КазАТК. – 2022. – № 2 (121). – С. 414-424. DOI: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-121-2-414-424>

2. Сансызбай К.М., Ведерников Б.М., Тасболатова Л.Т., Орунбеков М.Б., Шукманов Ж.Е. Влияние асимметрии тягового тока на устойчивость аппаратуры РЦ и АЛС. Вестник КазАТК, 123(4) 2022. С.319–329. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-123-4-319-329>

3. Тасболатова Л.Т., Орынбет М.М. Моделирование и анализ схемы согласования в BTS системы интервального регулирования движения поездов. XI Международной межвузовской научно-практической конференции-конкурса научных докладов студентов и молодых ученых 25 - 26 мая 2023 г. г. Бишкек «Инновационные технологии и передовые решения».

4. Тасболатова Л.Т., Орынбет М.М., Сансызбай К.М. Анализ характеристик электромагнитной связи системы передачи бализа-ВТМ в системах интервального регулирования движения поездов. Международная научно-практическая конференция «International Satbayev Conference 2023 (Сатпаевские Чтения – 2023). Наука и технологии: от идеи до внедрения, Алматы, 12 апреля 2023 г. –С.331-338.

5. Сансызбай Қ., Бахтиярова Е., Батырханов М., Тасболатова Л., Сагмединов Д. Анализ аварийных ситуаций на железнодорожных переездах Казахстана. Вестник КазАТК, 125(2) 2023, 401–411. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2023-125-2-401-411>

6. Патент Республики Казахстан на изобретение (14.06.2024). № 36788 Национальная микропроцессорная система централизации с модульной архитектурой KZ-МППЦ-МА. Авторы: Сансызбай Қ.М., Патокин Г.С., Батырханов М.Ш., Бахтиярова Е.А., Сагмединов Д.Б., Тасболатова Л.Т.

7. Kanibek Sansyzbay, Yelena Bakhtiyarova, Teodor Iliev, Laura Tasbolatova, Daniyar Sagmedinov. Method of Evaluation of the TETRA Standard Data Transmission Channel for Ensuring Information Security of the Railway Transport System. TEM Journal, 13(3), 2512-2521. DOI: 10.18421/TEM133-77 (https://www.temjournal.com/content/133/TEMJournalAugust2024_2512_2521.pdf)

8. Sansyzbay K.M., Bakhtiyarova Y.A., Iliev T., Patokin G.S., Tasbolatova L.T. and Sagmedinov D.B. "Development of an Algorithm for a National Microprocessor-Based Centralization System With a Modular Architecture KZ-MPC-MA Featuring Advanced Intelligent Control Functions," in IEEE Access, vol. 12, pp. 193229-193240, 2024, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3521219

9. Тасболатова Л., Орынбет М., Сансызбай Қ., Тураева А., Ақтайлақова Д. Моделирование коммуникационных каналов TETRA в системах интервального регулирования движения поездов на базе радиоканала. Вестник КазАТК, 132(3), 2024, С/ 176-184. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-132-3-176-184>

10. Л.Т. Тасболатова, М.М. Орынбет, К.М. Сансызбай, Ulrich Mascheck. Разработка алгоритма и написание программного кода микропроцессорной системы KZ-МППЦ-МА. Международная научно-практическая конференция «Satbayev International Conference 2025» (Сатпаевские чтения – 2025). 11 апреля 2025 года.

11. Тасболатова Л., Орынбет М., Сансызбай Қ., Тураева А., Ақтайлақова Д. Анализ оценивания радиоканала TETRA в СИРДП-Е при наличии потерь связи. Вестник КазАТК, 137(2), 2025, С. 393–402. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2025-137-2-393-402>

12. Тасболатова, Л. Разработка модели канала передачи данных в железнодорожных системах автоматики. VI международная студенческая научно-практическая конференция «Молодежный цифровой форум» - «Youth Digital Forum» (YDF-2025), АО «Международный Университет информационных технологий», 27 марта 2025.

13. L. Tasbolatova, K. Sansyzbay, M. Orynbet, U. Maschek, Ye. Bakhtiyarova, A. Turayeva. Development of a Radio Data Transmission Channel Model to Ensure Train Safety // Journal of Internet Services and Information Security (JISIS), volume: 15, number: 2 (May), pp. 622-640. DOI: 10.58346/JISIS.2025.I2.043