

АВТОМАТТАНДЫРУ, ТЕЛЕМЕХАНИКА, БАЙЛАНЫС, КОМПЬЮТЕРЛІК
ҒЫЛЫМДАР
AUTOMATION, TELEMCHANICS, COMMUNICATIONS, COMPUTER SCIENCE
АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТЕЛЕМЕХАНИКА, СВЯЗЬ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

УДК 656.25

DOI 10.52167/1609-1817-2024-132-3-176-184

Л.Т. Тасболатова¹, М.М. Орынбет¹, К.М. Сансызбай²,
А.Т.Тураева³, Д.А. Ақтайлақова⁴

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Казахстан

³Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

⁴Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан

E-mail: k.sansizbay@alt.edu.kz

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ КАНАЛОВ TETRA В СИСТЕМАХ
ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА БАЗЕ
РАДИОКАНАЛА

Аннотация. В статье отмечена важность цифровой трансформации железнодорожной отрасли в вопросах надежности систем управления и обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте. Описана транкинговая связь TETRA в составе СИРДП-Е, приведены формулы расчёта вероятности возникновения ошибки в радиоканале с использованием стандарта TETRA. Сделан сравнительный анализ аналоговых каналов передачи информации с цифровой системой передачи данных на основе оценки характеристик систем АЛСН, АЛС-ЕН и TETRA. С помощью MATLAB разработана простая модель плоского замирания с комплексными гауссовыми случайными переменными для симуляции коммуникационного канала TETRA.

Ключевые слова. Транкинговая система связи TETRA, СИРДП-Е, цифровизация, канальное кодирование, Path Loss, Shadowing, Received Signal after Fading TETRA, моделирование.

Введение.

Современное развитие микропроцессорных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов характеризуется строгими требованиями к надежности, технической безопасности и кибербезопасности этих систем. Эти требования становятся особенно актуальными в условиях цифровой трансформации и стремления к повышению конкурентоспособности железнодорожного транспорта. В связи с этим возникает неотложная необходимость в переходе к новым парадигмам проектирования, тестирования, верификации, валидации и стандартизации. Эти изменения направлены на ускорение процессов разработки и внедрения.

Основная идея заключается в том, что при сохранении высоких уровней надежности и безопасности, как минимум, на текущем уровне, требуется максимальное использование инновационных решений и цифровых инструментов. Они направлены на дополнительную автоматизацию систем управления с целью увеличения пропускной способности железных дорог и производительности систем. Это также помогает минимизировать влияние человеческого фактора и сократить число отказов и простоев в работе систем.

Также существенными элементами являются гарантирование взаимодействия (как технического, так и эксплуатационного) между системами и обеспечение технологической

независимости железнодорожных операторов и владельцев инфраструктуры от поставщика/разработчика устройств и систем для автоматизации железнодорожных процессов.

В строгом смысле, процесс цифровой трансформации для систем управления железнодорожным транспортом предполагает переход к новому методу управления, известному как управление 4.0. С учетом основного принципа регулирования интервалов движения поездов, этот переход представляет собой эволюцию от простого разделения временных интервалов следования поездов к использованию безопасного расстояния (фиксированный блок-участок) и далее к управлению через радиоканал (аналогично системе управления ERTMS в Европейской железнодорожной системе). Это также включает в себя переход к динамически регулируемому интервалу следования, вплоть до сближения поездов на небезопасное расстояние с использованием принципа "виртуальной сцепки", аналогичного тому, что применяется в автомобильном транспорте [1].

В документе "ERTMS/ETCS RAMS requirements specification" (1998) представлены конкретные параметры, приведенные в следующем примере [2]:

- вероятность задержки движения из-за отказов в работе системы сигнализации не должна превышать 0,018, а вероятность возникновения отказов в системе ERTMS/ETCS должна быть ограничена значениями не выше 0,0027;
- средняя задержка для поезда, вызванная отказом системы ERTMS/ETCS в конце поездки с продолжительностью 90 минут, не должна превышать 10 минут;
- эксплуатационная готовность должна поддерживаться на уровне не менее 0,99973 в случае возникновения любых отказов;
- количество отказов, которые приводят к остановке поезда, не должно составлять более 10% от общего числа отказов, оказывающих влияние на надежность системы. В то время как сервисные отказы не должны превышать 90% от общего числа отказов, воздействующих на надежность системы;
- среднее время восстановления для системы, использующей распределенное напольное оборудование, составляет 1,737 часа.

В настоящее время сеть казахстанских железных дорог в основном оперирует аналоговыми системами радиосвязи, обладающими ограниченными возможностями передачи данных. Однако эти аналоговые системы не удовлетворяют растущим потребностям железнодорожных предприятий в высококачественных каналах управления. Поэтому стратегическим направлением реформирования железнодорожной радиосвязи является переход на цифровые стандарты технологической радиосвязи (ЦСТР).

С начала последнего десятилетия осуществляется внедрение стандартов цифровой радиосвязи, таких как TETRA (Terrestrial Trunked Radio) и GSM-R (Group System Mobile Railway). Эти стандарты применяют технологию TDMA (Time Division Multiple Access – множественный доступ с временным разделением каналов), которая обеспечивает возможность создания большего числа радиоканалов в заданном частотном спектре по сравнению с технологией FDMA (Frequency Division Multiple Access – множественный доступ с частотным разделением каналов).

Применение цифровых стандартов технологической радиосвязи не только обеспечит передачу речи, но также возможность передачи данных. Внедрение ЦСТР расширит функционал систем обеспечения безопасности движения поездов и систем интервального регулирования.

В европейских странах, таких как Германия, Швейцария и другие, в 1998 году в рамках проекта ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System/ European Train Control System) был внедрен стандарт GSM-R в качестве основного цифрового стандарта технологической радиосвязи. В нашей стране реализована система СИРДП-Е, использующая радиоканал с поддержкой транкинговой связи TETRA.

Материалы и методы.

Для симуляции коммуникационного канала передачи данных TETRA использовалась программа MATLAB, в рамках которой была разработана компьютерная модель.

Для повышения надежности каналов радиосвязи в системах стандарта TETRA применяется помехоустойчивое канальное кодирование сигнала. Это достигается введением в передаваемый сигнал значительного объема дополнительной (избыточной) информации. В стандарте TETRA канальное кодирование выполняется через четыре процедуры [3]:

- блочное кодирование;
- свёрточное кодирование;
- перемежение;
- скремблирование.

Для определения вероятности возникновения ошибки в радиоканале с применением стандарта TETRA применяется следующее выражение [3]:

$$p_e = 1 - \Phi_{\text{кр}} \left(\sqrt{2 \cdot R_k \cdot \frac{E_s}{N} \cdot \log_2(M) \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi}{M} \right)} \right), \quad (1)$$

где M представляет собой количество позиций (скачков) фазы, применяемых в дифференциальной квадратурной фазовой манипуляции, используемой в стандарте TETRA (для TETRA $M = 4$);

R_k обозначает скорость кода (для (n, k) -кода $R_k = \frac{k}{n}$, где k - количество информационных символов, n - общее число символов; для свёрточного кода в стандарте TETRA $R_k = 2/3$);

$\frac{E_s}{N}$ - это отношение сигнал/шум (для статического режима распространения равно 11,42, в динамическом - 3,6);

$\Phi_{\text{кр}}(x)$ представляет собой функцию Крампа $\left(\Phi_{\text{кр}}(x) = \frac{2}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dt \right)$;

$$p_e = 1 - \Phi_{\text{кр}} \left(\sqrt{2 \cdot 12,42 \cdot \frac{2}{3} \cdot \log_2(4) \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} \right)} \right) \approx 10^{-4}.$$

Блочный код использует CRC-16 код с порождающим полиномом $g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + x$, обладающим минимальным кодовым расстоянием $d_{\text{min}} = 4$, что позволяет обнаруживать ошибки до третьей кратности включительно. Код CRC-16 способен обнаружить до 99,9985% ошибок.

Вероятность возникновения блока из n символов с некорректными ошибками в процессе блочного кодирования:

$$P_{\text{бл}} = \sum_{j=S+1}^n P_j, \quad (2)$$

где S представляет собой кратность обнаруживаемой ошибки.

Учитывая, что наиболее вероятной является ошибка меньшей кратности, а блочный код способен исправлять ошибки 3-й кратности

$$P_{\text{бл}} = P_4 = C_{432}^4 \cdot p_e^4 \cdot (1 - p_e)^{428} = 1,37 \cdot 10^{-7}.$$

Произведем оценку стойкости к помехам при декодировании сверточного кода. Ошибка в выборе пути при декодировании возникнет, если помеха, воздействующая на k символов, превысит кодовое расстояние $d_k = 6$:

$$P_k = 0,5 \left[1 - \Phi_{кр} \left(\sqrt{2 \cdot k \cdot E_6 \cdot \frac{R_k}{N_0}} \right) \right]; \quad (3)$$

$$P_k = 0,5 \Phi_{кр} \left[1 - \left(\sqrt{2 \cdot 6 \cdot 3,6 \cdot \frac{2}{3}} \right) \right] = 3,9 \cdot 10^{-8}.$$

При анализе общей надежности (с учетом блочного и сверточного кодирования) учитывается минимальная вероятность ошибки, обеспечиваемая сверточным кодированием:

$$P_{общ} \approx P_{св} = 3,9 \cdot 10^{-8}.$$

Рассмотрим достоверность передачи информации в системе АЛСН. Система АЛСН применяет числовые коды: КЖ - 11000001100000; 3 - 11101101100000; Ж - 11101110000000.

Каждый код (14 бит) в системе АЛСН передается за 1,6 с. Отсюда скорость передачи информации в системе АЛСН = 8,75 бит/с. Расчёты показывают, что при выбранном способе передачи (АМ - амплитудно-модулированный сигнал) требуемая вероятность трансформации сигнала (не более $10^{-12} \dots 10^{-13}$) обеспечивается при соотношении сигнал/шум ≥ 10 или 20 дБ. При этом обеспечивается вероятность ошибки (BER) $\approx 10^{-4}$ [2]. В таблице 1 приведен сравнительный анализ характеристик радиоканала TETRA с другими каналами передачи информации.

Таблица 1 – Сравнение характеристик радиоканала TETRA с другими каналами передачи информации

Характеристика канала передачи	Канал передачи информации		
	Радиоканал TETRA	Рельсовая цепь + индуктивный канал связи (АЛСН)	Рельсовая цепь + индуктивный канал связи (АЛС-ЕН)
Скорость передачи информации	28,8 кбит/с	8,75 бит/с	10,9 бит/с
Вероятность ошибки на бит переданной информации на перегоне	$3,9 \cdot 10^{-8}$	10^{-4}	$3,6 \cdot 10^{-7}$

Из таблицы 1 следует, что при передаче данных через рельсовые цепи и индуктивный канал связи скорость передачи информации крайне низка. Кроме того, с увеличением скорости движения поездов увеличивается число сбоев при приеме сигналов систем АЛСН и АЛС-ЕН. В то время как радиоканал TETRA обеспечивает высокие характеристики, представленные в таблице 1, даже при очень высоких скоростях подвижного состава, достигающих 350 км/ч.

Результаты и обсуждение.

Несмотря на то, что СИРДП-Е оверлейная и прошла омологацию, при эксплуатации возникают помехи в канале передачи данных между бортовой системой и радиоблок-центром, так как условия эксплуатации железнодорожных систем очень жесткая, начиная наличием электромагнитных помех от линий электропередач, заканчивая атмосферными условиями.

Подробный анализ систем железнодорожной автоматики и телемеханики на сети железных дорог Казахстана приведены в литературах [4-10].

Поэтому для понимания характеристик коммуникационного канала TETRA была разработана простая модель плоского замирания с комплексными гауссовыми случайными переменными для симуляции канала. Ниже приведенные формулы были использованы для построения модели канала TETRA, учитывающие потерю по пути, теневое затухание и плоское замирание.

Формула свободного пространства:

$$PathLoss = \left(\frac{c}{f}\right)^2 \times \left(\frac{4\pi d}{c}\right)^\alpha, \quad (4)$$

где, c - скорость света, $3 \cdot 10^8$ м/с;

f - частота сигнала, Гц;

d - расстояние между передатчиком и приемником, м;

α - экспонента потери пути.

Теневое затухание может быть добавлено к потере по пути:

$$Shadowing \text{ (дБ)} = ShadowingStdDev \times randn(1, numSymbols) \quad (5)$$

где, $ShadowingStdDev$ - стандартное отклонение теневого затухания.

Модель плоского замирания (Flat Fading Model) моделируется с использованием комплексных гауссовых случайных переменных:

$$FadingChannel = \frac{randn(1, numSymbols) + j \times randn(1, numSymbols)}{\sqrt{2}}, \quad (6)$$

где: $randn$ - генератор случайных чисел из стандартного нормального распределения.

Полученная мощность сигнала учитывает передаваемую мощность, потерю по пути и теневое затухание:

$$ReceivedPower = TransmitterPower - PathLoss + Shadowing \quad (7)$$

Полученный сигнал после замирания (Received Signal after Fading):

$$ReceivedSignal = FadingChannel \times 10^{(ReceivedPower/20)} \quad (8)$$

В данном примере несущей частотой TETRA выбрана 400 МГц, мощность передатчика равным 20 дБм (в децибелах милливатт), расстояние между передатчиком и приемником - 500 м. Используется модель свободного пространства с экспонентой потери равной 2.

В итоге были получены графики, представленные на рисунке 1.

На данном рисунке 1 график "Path Loss" показывает изменение потери по пути в зависимости от расстояния между передатчиком и приемником. По мере увеличения расстояния потеря по пути увеличивается, что является ожидаемым результатом в модели свободного пространства.

График "Shadowing" отображает эффект теневого затухания, представленного в виде случайной величины с нормальным распределением.

Значения теневого затухания меняются случайным образом, что моделирует изменение сигнала из-за препятствий и других факторов.

График "Received Signal after Fading" представляет собой полученный сигнал после плоского замирания (комплексные гауссовы переменные) и учета теневого затухания и потери по пути. Полученный сигнал подвержен воздействию случайных факторов (теневого затухания) и изменениям из-за плоского замирания.

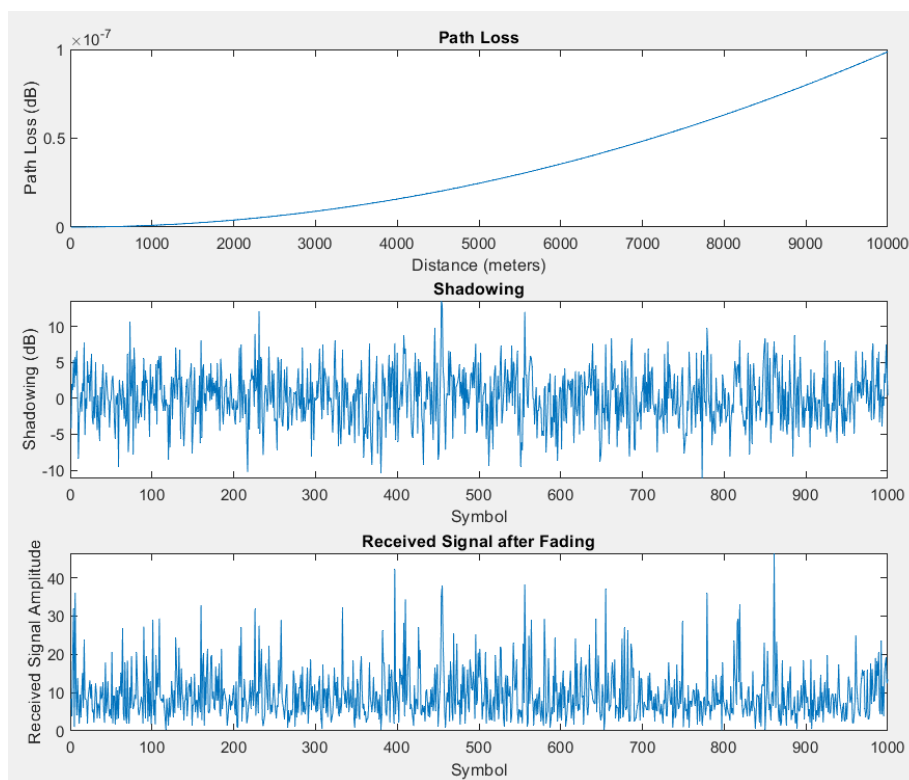


Рисунок 1 – Результаты моделирования канала передачи данных TETRA

Таким образом, графики представляют различные характеристики канала TETRA, такие как потеря по пути, теньное затухание и форма полученного сигнала после плоского замирания.

Заклучение.

При сравнении радиоканала системы TETRA с другими каналами передачи информации (рельсовыми цепями, индуктивным каналом связи) можно отметить такие преимущества радиоканала, как высокая скорость и большой объем передаваемой информации, высокая достоверность (если радиоканал защищён помехоустойчивым кодированием) и непрерывность передаваемой информации. Это позволит в ближайшем будущем заменить (на первом этапе дублировать) существующие системы передачи сигналов АЛС по рельсовым цепям на системы передачи сигналов АЛС по защищённому радиоканалу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Озеров А.В. Вопросы надежности систем управления и обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте в контексте цифровизации // Надежность. 2020. № 2. С. 54-64. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-2-54-64>
- [2] EUG. ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification, 1998.
- [3] Шматченко В. В., Плеханов П. А., Роевков Д. Н., Иванов В. Г., Ерлыков П. Н. расширение функциональной полноты и требований безопасности к поездной радиосвязи при переходе с аналоговых на цифровые технологии, 2015, 61-71.
- [4] Концепция развития транспортно-логистического потенциала Республики Казахстан до 2030 года. – Астана, 2022. – С. 9-18.
- [5] Бахтиярова Е.А., Чигамбаев Т.О., Сансызбай К.М. Обоснование целесообразности модернизации систем железнодорожной автоматики и телемеханики // Научно-технический журнал «Новости науки Казахстана». – Алматы, 2020. – № 3. – С. 132-144.
- [6] Sansyzbay K.M., Kuandykov A.A., Bakhtiyarova Ye.A., Vlasenko S.V., Mamyrbayev O.Zh. Radio communication channel interaction method, maintaining train performance information security // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 31st March 2020. Vol.98. No 06. pp. 957-969.
- [7] Концепции модернизации и производства систем железнодорожной автоматики и телемеханики. – Астана, 2018. – С. 16-31.
- [8] 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>
- [9] Qingmiao Zhang, Hanzhi Dong and Junhui Zhao. Channel Estimation for High-Speed Railway Wireless Communications: A Generative Adversarial Network Approach. Electronics, 2023, 12(7), 1752; <https://doi.org/10.3390/electronics12071752> - 06 Apr 2023
- [10] Penghui Liu, Jingran Feng, Weitao Ge, Hailong Wang, Xin Liu, Dongming Wang, Tiecheng Song and Jianping Chen. A System-Level Performance Evaluation for a 5G System under a Leaky Coaxial Cable MIMO Channel for High-Speed Trains in the Railway Tunnel. Electronics 2022, 11(8), 1185; <https://doi.org/10.3390/electronics11081185> - 08 Apr 2022

REFERENCES*

- [1] Ozerov A.V. Voprosy nadezhnosti sistem upravleniya i obespecheniya bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte v kontekste cifrovizacii // Nadezhnost'. 2020. № 2. S. 54-64. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-2-54-64>
- [2] EUG. ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification, 1998.
- [3] Shmatchenko V. V., Plehanov P. A., Roenkov D. N., Ivanov V. G., Erlykov P. N. rasshirenie funktsional'noj polnoty i trebovanij bezopasnosti k poezdnoj radiosvjazi pri perehode s analogovyh na cifrovye tehnologii, 2015, 61-71.
- [4] Konceptija razvitija transportno-logisticheskogo potenciala Respubliki Kazahstan do 2030 goda. – Astana, 2022. – S. 9-18.
- [5] Bahtiyarova E.A., Chigambaev T.O., Sansyzbay K.M. Obosnovanie celosoobraznosti modernizacii sistem zheleznodorozhnyj avtomatiki i telemehaniki // Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Novosti nauki Kazahstana». – Almaty, 2020. – № 3. – S. 132-144.
- [6] Sansyzbay K.M., Kuandykov A.A., Bakhtiyarova Ye.A., Vlasenko S.V., Mamyrbayev O.Zh. Radio communication channel interaction method, maintaining train performance

information security // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 31st March 2020. Vol.98. No 06. pp. 957-969.

[7] Konceptii modernizacii i proizvodstva sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki. – Astana, 2018. – С. 16-31.

[8] Sansyzбай К.М., Orunbekov M.B., Shukamanov Zh.E., Tasbolatova L.T., Sagmedinov D.B. «Obshhie tendencii razvitija sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki na seti zheleznyh dorog Kazahstana» Vestnik KazATK. – 2022. – № 2 (121). – S. 414-424. DOI: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-121-2-414-424>

[9] Qingmiao Zhang, Hanzhi Dong and Junhui Zhao. Channel Estimation for High-Speed Railway Wireless Communications: A Generative Adversarial Network Approach. Electronics, 2023, 12(7), 1752; <https://doi.org/10.3390/electronics12071752> - 06 Apr 2023

[10] Penghui Liu, Jingran Feng, Weitao Ge, Hailong Wang, Xin Liu, Dongming Wang, Tiecheng Song and Jianping Chen. A System-Level Performance Evaluation for a 5G System under a Leaky Coaxial Cable MIMO Channel for High-Speed Trains in the Railway Tunnel. Electronics 2022, 11(8), 1185; <https://doi.org/10.3390/electronics11081185> - 08 Apr 2022

Лаура Тасболатова, докторант, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, l.tasbolatova@alt.edu.kz

Марат Орынбет, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, orynbet.marat@mail.ru

Қанибек Сансызбай, PhD, қауымдастырылған профессор, Mukhametzhan Tynysbayev ALT University, Алматы, Қазақстан, k.sansizbay@alt.edu.kz

Айгуль Тураева, филол.ғ.к., аға оқытушы, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, ayka.tokbolat@mail.ru.

Дина Ақтайлақова, магистр, лектор, Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, dina_03_06@mail.ru

РАДИОАРНА БАЗАСЫНДА ПОЙЫЗДАР ҚОЗҒАЛЫСЫН АРАЛЫҚ РЕТТЕУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ TETRA КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ АРНАЛАРЫН МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа. Мақалада теміржол көлігіндегі басқару жүйелерінің сенімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселелерінде теміржол саласын цифрлық трансформациялаудың маңыздылығы атап өтілді. СИРДП-Е құрамындағы TETRA транкингік байланысы сипатталған, TETRA стандартын қолдана отырып, радиоарнада қатенің пайда болу ықтималдығын есептеу формулалары келтірілген. АЛСН, АЛС-ЕН және TETRA жүйелерінің сипаттамаларын бағалау негізінде сандық деректер жүйесімен аналогтық ақпарат беру арналарына салыстырмалы талдау жасалды. MATLAB көмегімен TETRA байланыс арнасын модельдеу үшін күрделі гаусс кездейсоқ айнымалылары бар қарапайым моделі жасалды.

Түйінді сөздер. TETRA транкингік байланыс жүйесі, СИРДП-Е, цифрландыру, арналық кодтау, PathLoss, Shadowing, Received signal after Fading TETRA, модельдеу.

Laura Tasbolatova, doctoral student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, l.tasbolatova@alt.edu.kz

Marat Orynbet, candidate of technical sciences, associate professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, orynbet.marat@mail.ru

Kanibek Sansyzbay, PhD, associate professor, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Almaty, Kazakhstan, k.sansizbay@alt.edu.kz

Aigul Turaeva, candidate of philological sciences, senior teacher, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, ayka.tokbolat@mail.ru

Dina Aktailakova, master, lecturer, International University of Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan, dina_03_06@mail.ru

MODELING OF TETRA COMMUNICATION CHANNELS IN INTERVAL TRAIN CONTROL SYSTEMS BASED ON A RADIO CHANNEL

Abstract. The article highlights the importance of digital transformation of the railway industry in matters of reliability of management systems and safety in railway transport. The TETRA trunking link as part of the SIRDP-E is described, formulas for calculating the probability of an error in the radio channel using the TETRA standard are given. A comparative analysis of analog information transmission channels with a digital data transmission system is made based on an assessment of the characteristics of ALSN, ALS-EN and TETRA systems. Using MATLAB, a simple flat fading model with complex Gaussian random variables has been developed to simulate the TETRA communication channel.

Keywords. TETRA trunking communication system, SIRDP-E, digitalization, channel coding, PathLoss, Shadowing, Received Signal after Fading TETRA, modeling.
