

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-319
УДК 625.1



Научная статья | Логистические транспортные системы

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОДОВО-ЛОКАЦИОННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ВОСТОЧНОМ НАПРАВЛЕНИИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

**О.В. Шугаев, О.Д. Покровская,
В.В. Почетуха, С.В. Лемихов**

Представленная исследовательская работа с научным уклоном посвящена анализу применения системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава на разветвлённых рельсовых цепях Восточного направления Западно-Сибирской железной дороги. Текущая работа описывает предмет и объект исследований с включённой строгой последовательностью проведения отдельных этапов изыскания с указанием специфики получения и обработки данных. Публикация условно разделена на 2 основные части, первая посвящена методологии проведения изысканий, описания исследовательского процесса, входных данных и структурному описанию работы отдельных элементов используемой системы интервального регулирования. Математический аппарат предусматривает использование статистических методов обработки данных, скорректированных для текущих условий проведения аналитической обработки данных. Определение пропускной и перерабатывающей способности систем интервального регулирования выполнено нестандартным способом с привлечением зарубежных приёмов и авторской методологии определения эффективности работы линии при текущей системе интервального регулирования. Заключение первого раздела работы предусматривает повествование необходимости использования представленного математического сопровождения. Вторая часть настоящей публикации отража-

ет результаты исследовательской деятельности с поэтапными промежуточными выводами. Уникальность процесса проведения изысканий состоит в разделении исследовательской части на несколько отдельных этапов и их реализации в течении нескольких месяцев на действующем перегоне магистрального сообщения. Первый этап исследований посвящён выявлению точности фиксации местоположения подвижного состава при использовании системы кодово-локационного позиционирования. Второй включает оценку динамики изменения пропускной и провозной способности на отдельном нагруженном перегоне Восточного направления Западно-Сибирской железной дороги. Заключительный этап исследовательской части содержит оценку степени безопасности эксплуатации локационного принципа организации движения через скорость отклика используемой системы. Результаты проведения изысканий и подведение итогов по всей работе сосредоточены в заключительной части публикации, включающей аналитическое представление и анализ текущего процесса исследований. В итоговом разделе сосредоточены рекомендации по улучшению условий эксплуатации согласно полученным данным и выходная субъективная оценка эффективности работы системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава на отдельном перегоне участка магистрального сообщения Восточного направления Западно-Сибирской железной дороги.

Ключевые слова: *Восточное направление; Западно-Сибирская железная дорога; время отклика; система интервального регулирования; эффективность работы; движение; система кодово-локационного позиционирования; подвижной состав; точность позиционирования; объекты движения; провозная способность*

Для цитирования. *Шугаев О.В., Покровская О.Д., Почетуха В.В., Лемихов С.В. Анализ применения кодово-локационного позиционирования на восточном направлении Западно-Сибирской железной дороги // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 3. С. 135-173. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-319*

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF CODE-LOCATION POSITIONING IN THE EASTERN DIRECTION OF THE WEST SIBERIAN RAILWAY

***O.V. Shugaev, O.D. Pokrovskaya,
V.V. Pochetukha, S.V. Lemikhov***

The presented research paper with a scientific bias is devoted to the analysis of the application of the system of code-location positioning of rolling stock on the stretch of the Eastern direction of the West Siberian Railway. The article describes the subject and object of research, includes the sequence of individual stages of research with justification and data processing. The publication is conditionally divided into 2 parts, the first is devoted to the methodology of research, the description of the research process, input data and a structural description of individual elements of the interval control system. The mathematical apparatus includes statistical methods for processing data adjusted for the current conditions of the experiment. The determination of throughput and processing capacity was carried out using a foreign method and the author's methodology for evaluating the efficiency of the distillation. The conclusion of the first section of the article indicates the need to use the presented mathematical apparatus. The second part of this publication contains the results of research with conclusions. The uniqueness of the experiment consists in dividing the research part into several separate stages and conducting them for several months on the current stretch of the main line. The first stage of research is devoted to the accuracy of determining the location of rolling stock using a code-location positioning system. The second stage contains an assessment of changes in throughput and carrying capacity on a separate loaded stretch of the Eastern direction of the West Siberian Railway. The final stage of the experiment contains an assessment of the study

of the response rate of the proposed motion control system. The results of the research and the summary of the entire work are located in the final part of the publication, which includes analysis and analysis of the experiment. The final section describes recommendations for improving operating conditions using the data obtained and the author's assessment of the effectiveness of the rolling stock code-location positioning system on a separate stretch of the main line section of the Eastern direction of the West Siberian Railway.

Keywords: *Eastern direction; West Siberian Railroad; response time; interval control system; work efficiency; traffic; code-location positioning system; rolling stock; positioning accuracy; traffic objects; carrying capacity*

For citation. *Shugaev O.V., Pokrovskaya O.D., Pochetukha V.V., Lemikhov S.V. Analysis of the Application of Code-Location Positioning in the Eastern Direction of the West Siberian Railway. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 135-173. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-319*

Введение

Ключевые события страны, связанные с 24 февраля 2022 года, позволили переориентировать транспортные потоки железнодорожного сообщения в дальневосточном направлении. В настоящее время восточный полигон обеспечивает функционирование нескольких транспортных коридоров Евразийского экономического союза. Текущее распределение грузо-пассажиропотоков и отгрузка осадочных пород в дальневосточные порты из Канско-Ачинского, Кузнецкого и Минусинского угольных бассейнов, повышает привлекательность использования Южно-Сибирской магистрали. Южный ход Транссиба, связывающий территории Южно-Кузбасской агломерации и Дальневосточного транспортного узла, включает часть перегонов с низкой пропускной способностью. Реконструктивные мероприятия по ликвидации узких мест на участке Артышта – Междуреченск – Тайшет про-

должаются с 2013 года по сегодняшний день [1] с внушительными результатами. На текущий момент времени мероприятия по модернизации инфраструктуры позволили увеличить провозную способность в 1,5 раза [2]. При полноценном функционировании Южного хода Транссибирской магистрали объемы перевозимого груза на текущем участке возрастут в несколько раз относительно до реконструктивных мероприятий [3].

Участок движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта в настоящее время является достаточно нагруженным звеном в обеспечении перевозочных потребностей Южно-Кузбасской агломерации на местном уровне. При увеличении потребной пропускной способности указанной железнодорожной линии с учётом запланированного технологического времени возникает риск перенасыщения пути сообщения, а при дальнейшей его эксплуатации потребуются и модернизация участка. В противном случае соотношение предельного количества подвижных систем за единицу времени через участок будет ограничено путевым развитием и системой интервального регулирования. Модернизация путевой инфраструктуры подразумевает значительные капитальные вложения, окупаемые в течении длительного промежутка времени. Другой вариант подразумевает повышение эффективности использования действующего путевого развития при сокращении межпоездных интервалов. Участок движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта оборудован двухсторонней автоблокировкой с 3-х значной индикацией, включающей смешанное сообщение грузовых и пассажирских составов с резервными перемещениями. Движение одиночных локомотивов и пассажирских поездов снижает коэффициент полезного действия использования средств регулирования движения на перегоне из-за низкой протяжённости относительно длинны блок - участка.

В качестве корректирующих действий относительно указанной ранее проблематики для развивающихся участков предлагается использование устройств интервального регулирования без фик-

сированных межпоездных интервалов. Наиболее предпочтительной, согласно проведённым экспериментам в [4], является система кодово-локационного позиционирования подвижного состава (СКЛППС). Основываясь на указанное утверждение, требуется определить эффективность работы системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава на отдельном перегоне участка движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта.

Указанная цель текущей публикации достигается решением следующих задач:

- провести исследование по выявлению точности фиксации местоположения подвижного состава;
- оценить динамику изменения пропускной и провозной способности на текущем перегоне;
- оценить степень безопасности эксплуатации СКЛППС через скорость отклика системы.

Объектом исследования в текущей публикации выступает двухпутный перегон участка движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта оборудованный СКЛППС. Предметом исследования является эффективность применения системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава на действующий участок движения. Научная новизна текущей работы состоит в оценке эффективности эксплуатации СКЛППС на действующем перегоне структурно развивающегося участка.

Материалы и методы

С целью апробирования функциональности применения системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава выбран достаточно загруженный перегон Спиченково – Новокузнецк Сортировочный. Предпочтительность выбора обуславливается мягким профилем пути с незначительными уклонами, высокой протяжённостью и наличием смешанного сообщения. Перегон оборудован числовой кодовой автоблокировкой протяжённостью 15,879 км. Исследуемый объект условно разбит на 52

дискретных участка с изменяющимся уклоном и кривизной пути относительно траектории движения, профиль указанного пути сообщения представлен на рисунке 1.

Текущий участок движения является двухпутным с разрешённой средней скоростью движения, не превышающей значения от 60 до 80 км/ч. На участке курсируют грузовые и пассажирские составы включая тяговые подвижные единицы ВЛ10у, 2ЭС6, 3ЭС6, ЭП2Д, ЭП2ДМ, ЭП4М. Сложность реализации размещения аппаратуры СКЛППС обуславливается наличием 8 отдельных изолированных блок участков со средней протяжённостью 2,5 км. В качестве исследовательской реализации модернизированы 2 пути чётного и нечётного направления движения. Вследствие конструктивных особенностей перегона и системы связи перегон оборудован 3 стандартными приёмно-передающими блоками (ППБ).

Использование текущего значения стационарных устройств обуславливается рельефом местности и требованиями надёжности. Зона покрытия участка обеспечивается 2 ППБ, при этом дополнительный блок вводится для получения более точных значений позиционирования и в целях дублирования информации других смежных элементов СКЛППС. Изолированные блок-участки препятствуют распространению сигнальных сообщений по текущему участку движения. Оптимальное решение, принимаемое без конструктивных изменений путевой инфраструктуры, предполагает исключительное использование цифрового канала связи для передачи пакетов информации и позиционирующих сигналов. В качестве обмена данными между ППБ выступает цифровой радиоканал, позволяющий непрерывно собирать информацию от всех стационарных устройств. Используемые блоки принимают и передают информационные сообщения, включая опрашивающий сигнал, без использования рельсового полотна, последнее используется для контроля целостности железнодорожных нитей. Разновидность применяемой интервальной кодово-локационной системы регулирования является: ра-

дио-цифровая система позиционирования подвижного состава» (ЦРСКЛППС) [5].

Структурная схема позиционирования железнодорожных участников движения при использовании СКЛППС представлена на рисунке 2.

Использование текущей реализации контроля движения подвижного состава не зависит от дублирующей системы, изначально располагаемой на участке, ввиду цифровой радиопередачи без использования рельсового полотна. Текущий вид системы кодово-локационного позиционирования исключает вмешательство в путевое развитие и текущую работу аппаратуры, располагаемой на участке. Использование ЦРСКЛППС позволяет взаимодействовать с 2 линиями движения одновременно без механического вмешательства. Реализация текущей системы интервального регулирования для конкретного перегона направлена на тестирование работоспособности системы, получения детальной статистической оценки параметров хода подвижного состава и местного уплотнения графика движения при съёме и смешенном сообщении, включая следование резервом.

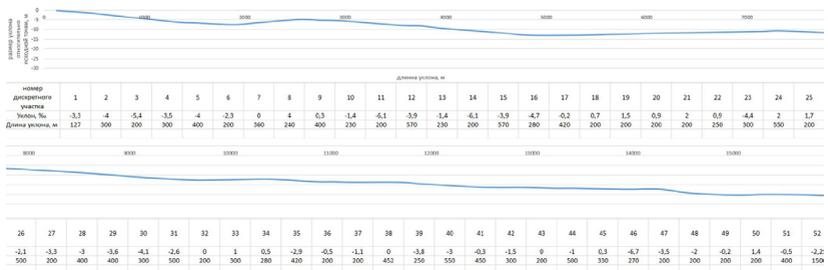


Рис. 1. Профиль исследуемого перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный

Интеграция аппаратуры ЦРСКЛППС произведена в непосредственной близости железнодорожного полотна на границе 370/371 и в центральной области 360, 364 километров. На подвижных единицах задействовано 10 устройств ОЛМ с упро-

щённым функционалом несущим информативный характер. Топология текущих локомотивных модулей позволяет при необходимости устанавливаться на любой локомотив с последующей его сменой. Аппаратура ЦРСКЛППС удалённо связана с ДНЦ через цифровой радиоканал. В основном локомотивном модуле отсутствует интеграция с внутренними системами локомотива. При движении по ОЛМ машинист локомотива руководствуется рекомендуемой скоростью движения и допустимым интервалом сближения со смежным подвижным составом. Безопасность реализации движения с учётом СКЛППС обеспечивается особой последовательностью формирования выпуска категорий поездов на текущий участок. Движение по ОЛМ разрешено для пассажирского или грузового поезда при следовании за резервным локомотивом, либо для одиночного подвижного состава, сопровождающего любую представленную категорию. Допускается движение нескольких пассажирских составов, либо грузовых единиц с низкой весовой нормой, руководствуясь показаниями основного локомотивного модуля. Локомотивные бригады, задействованные для движения по ОЛМ, прошли соответствующую подготовку по эксплуатации текущего оборудования.

В соответствии с текущими настройками в целях безопасности эксплуатации путевой инфраструктуры и участников перевозочного процесса интервальная дистанция при движении по основному локомотивному модулю увеличена до значения двойного служебного торможения.

Исследовательский процесс по выявлению точности позиционирования подвижного состава привязывается к границам блок-участков. Формирование фактических данных произведено через фиксацию времени прохождения изолирующих стыков поезда. По статистической информации установлена зависимость изменения местоположения поезда от времени. Реализация эмпирических данных с целью удобства восприятия информации представлена в графическом формате.

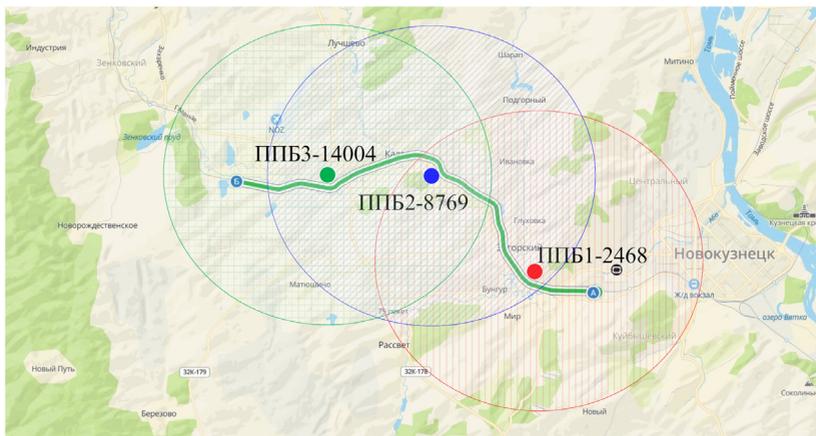


Рис. 2. Структурная схема позиционирования железнодорожных участников движения при использовании СКЛППС

Оценка точности фиксации местоположения подвижного состава достигается при использовании корреляционного анализа кривых движения по перегону. Для получения объективной информации использованы данные движения для рассматриваемого пути сообщения в течении нескольких месяцев. Степень линейной зависимости фактического местоположения поезда относительно данных, получаемых от СКЛППС, определяется классическим способом [6] на основании формулы:

$$r_{f-sklpps} = \frac{M(L_f \cdot L_{sklpps}) - M(L_{sklpps}) \cdot M(L_f)}{\sqrt{M(L_{sklpps}^2) - (M(L_{sklpps}))^2} \cdot \sqrt{M(L_f^2) - (M(L_f))^2}}, \quad (1)$$

где L_f – фактическое значение местоположения поезда, м;

L_{sklpps} – значение местоположения поезда, полученное через СКЛППС, м;

Достоверность полученных данных верифицируется численным значением коэффициента Стьюдента:

$$t_r = |r_{f-sklpps}| \cdot \sqrt{\frac{k}{1 - r_{f-sklpps}^2}} = |r_{f-sklpps}| \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1 - r_{f-sklpps}^2}}, \quad (2)$$

где k – наименьшее численное значение независимых параметров, требуемых для целостного описания состояния достоверно-

сти верификации, степени линейной зависимости анализируемых показателей местоположения;

n – общее численное значение путевых точек движения подвижного состава, участвующих в позиционировании.

Структурная оценка параметров отклонения фактического местоположения относительно данных, получаемых от приёмно-передающего блока СКЛППС, достигается при использовании вычислительно-статистического анализа [7]. Текущий метод исследования позволит выявить закономерности отклонений производимого вычисления данных. Итоговые графические паттерны распределения вероятностной кривой относительно частоты реализации отклонения исследуемых параметров местоположения позволят установить структурные зависимости протекающих явлений в процессе работы СКЛППС. Реализация текущей методологии описанной в [7], осуществляется через определение характеристик разброса значений позиционирования 3-ого порядка. Среднеквадратическое отклонение для текущих изысканий вычисляется с учётом формулы (3).

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (S_{\phi j} - M[S_{\text{склппс}j}])^2}, \quad (3)$$

где n – количество исследуемых участков;

S_{ϕ} – фактическое местоположение поезда для j -го участка, м;

$S_{\text{склппс}j}$ – расчётное значение местоположение поезда, определяемого через СКЛППС для j -го участка, м.

График интенсивности и границ аберирования значений позиционирования относительно фактического местоположения осуществляется через относительную частоту реализации, определяемой при использовании выражения (4).

$$\omega_s = \frac{L_s}{n}, \quad (4)$$

где L_s – количество позиционируемых точек входящих в интервал отклонения оценки местоположения.

Оценка динамики изменения пропускной и провозной способности на текущем перегоне основана на сравнительном анализе

входных данных текущих показателей эксплуатации перегона до предстоящих конструктивных преобразований и выходной статистической информации, отражающей количественные характеристики объемов перевозок с использованием движения по ОЛМ. Статистическая информация, полученная ввиду суточных наблюдений в течении нескольких месяцев, обрабатывается при использовании метода МПС [8, 9] для определения наличной пропускной способности согласно выражению (5).

$$N_n = \frac{(1440 - t_{\text{тех}}) \cdot \alpha_n}{I + \Delta I}, \quad (5)$$

где $t_{\text{тех}}$ – усреднённое значение временного интервала, ограничивающего движение на пути сообщения при выполнении технологических операций ремонтно-монтажного характера, мин.;

α_n – параметр надёжности технических устройств;

I – максимальное среднее значения интервала движения подвижных систем, мин.;

ΔI – временной интервал, описывающий среднее расхождение значений минимального и максимального интервалов движения подвижных систем, мин.

С целью определения эффективности использования текущей путевой инфраструктуры и систем интервального разграничения попутного следования в рамках текущего исследовательского этапа анализа применения СКЛППС реализуется показатель полезного действия использования линии сообщения, определяемый по формуле (6).

$$\mu_n = \frac{(1440 - t_{\text{тех}}) \cdot \alpha_n \cdot I_{\text{мин}}}{(I + \Delta I) \cdot 1440} \cdot 100, \quad (6)$$

где $I_{\text{мин}}$ – минимальное проектное значение интервала движения подвижных систем, мин.

Объективная оценка результативности от внедряемых объектов в путевую инфраструктуру и область управления движением требует разностороннего обзора с применением отечественного опыта и зарубежных методологий. В качестве альтернативы показателя полезного действия использования линии сообщения выступает

традиционная интерпретация метода UIC406 [8]. Текущий параметр реализует оценку результативности использования элементов участка движения через сжатие ниток графика движения. Эксплуатационная пропускная способность при сжатии поездных пакетов методом UIC406 реализуется при использовании формулы (7).

$$N_{\text{эс}} = \frac{(T_{\text{и}} + T_3 + T_{\text{т}}) \cdot 100}{1440}, \quad (7)$$

где $T_{\text{и}}$ – общее время использования линии сообщения поездами в момент движения, мин.;

T_3 – буферное время, отводимое на снижения задержки в движении, мин.;

$T_{\text{т}}$ – общее значение временного интервала, ограничивающего движение на пути сообщения при выполнении технологических операций ремонтно-монтажного характера, мин.

В качестве дополнительной оценки результативности использования инфраструктуры при различных методах организации перевозочного процесса целесообразно произвести оценку провозной способности перегона. Текущий показатель рассчитывается для фактических данных до внедрения СКЛППС и после в течение 1 года на основании получаемой информации в течении нескольких месяцев. Мониторинг комплексной провозной способности осуществляется при использовании представленной формулы:

$$\Gamma_{\text{к}} = \frac{365 \cdot \sum_{j=1}^n N_{\text{нг}j} \cdot Q_{\text{бр}} \cdot \varphi}{10^6} + \Gamma_{\text{ус}} + \Gamma_{\text{сб}}, \quad (8)$$

где $Q_{\text{бр}}$ – среднее значение массы грузового сообщения приходящееся на 1 подвижной состав, зависящее от особенностей грузо-вагонопотока, плана формирования и допустимых весовых норм эксплуатации текущего участка движения, т;

φ – коэффициент расхождения тары к общему весу вагона, зависящий от особенностей грузо-вагонопотока и характеристик подвижного состава;

$N_{\text{нг}j}$ – наличная пропускная способность грузового сообщения для j -го дня исследования, поездов/сут.;

$\Gamma_{ус}$ – годовой объем перевозимого груза при использовании ускоренных поездов, млн. т в год;

$\Gamma_{сб}$ – годовой объем перевозимого груза при использовании сборных поездов, млн. т в год.

Оценка степени безопасности эксплуатации СКЛППС в текущей работе производилось через скорость отклика системы интервального регулирования. Информирование текущего подвижного состава производится через 2 вида связи.

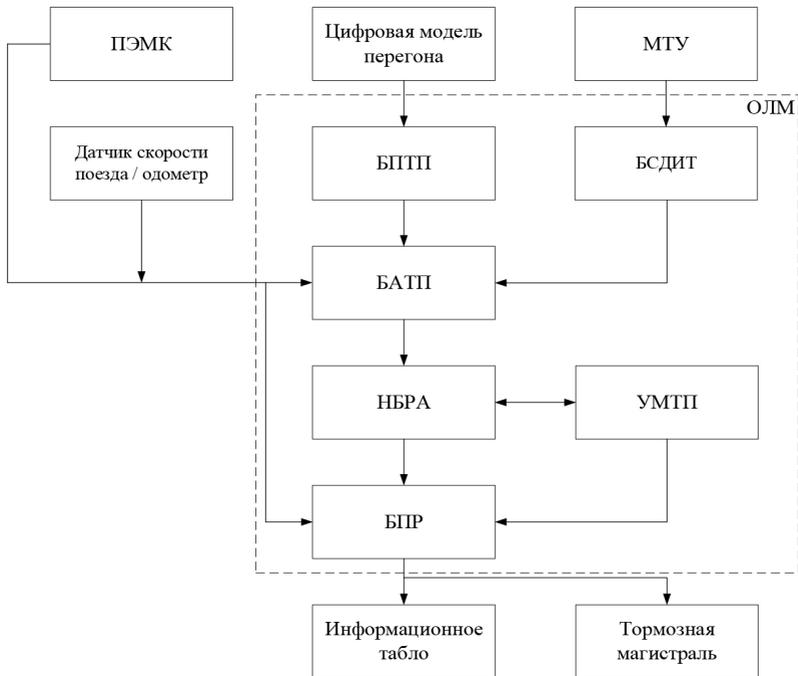


Рис. 3. Структурная схема управления подвижного состава при движении по ОЛМ с применением ППБ СКЛППС

Первый основан на передаче данных через рельсовую нить от ППБ к ОЛМ через приёмные электромагнитные катушки (ОЛМ ПЭМК) в блоки анализа тормозных признаков (БАТП) и принятия решения (БПР) согласно представленной структуре на рисун-

ке 3. Основная структура локомотивного модуля включает: блок прогнозирования тормозных признаков (БПТП), модуль тормозного учёта (МТУ), блок сбора данных об информационном торможении (БСДИТ), нейроблок регрессивного анализа (НБРА), узел моделирования тормозного пути (УМТП). Текущий метод передачи информации используется в РРСКЛППС. Второй вид связи основан на использовании радиоканала для передачи данных от ППБ к ОЛМ через цифровой радиоблок (ЦРБ). Реализация используемого метода обмена ключевой информации местоположения подвижного состава и сопутствующих данных применяется в ОРЦСКЛППС, ЦРСКЛППС, РЦСКЛППС.

В рамках проводимого исследования применения СКЛППС на перегоне ввиду особенностей путевого развития использовано исключительно цифровое вещание между ОЛМ и ППБ в двух направлениях. Расчётное значение отклика системы СКЛППС при использовании рельсовых нитей для обмена информации определяется при использовании формулы (9), оценка времени следования сигнала для цифрового радиоканала производится на основании уравнения (10). Сбор информации по скорости отклика СКЛППС реализован через базу данных ППБ и ОЛМ с последующей их систематизацией через график зависимости скорости отклика от удалённости объекта движения. Статистические зависимости в рамках проводимого исследования будут оцениваться относительно идеализированных условий, рассчитанных согласно представленным уравнениям:

$$t_{\text{откл}}^{\text{ЦР}} = 3 * t_{\text{ппб-олм}} + T_{\text{олм}} + T_{\text{ппб}} + T_{\text{фи}}, \quad (9)$$

$$t_{\text{откл}}^{\text{РР}} = 3 * t_{\text{рцс}} + T_{\text{олм}} + T_{\text{пцм}} + T_{\text{фи}}, \quad (10)$$

где $t_{\text{ппб-олм}}$ – время следования сигнала через рельсовую нить между ОЛМ и ППБ от момента отправки до его получения, сек.;

$T_{\text{ппб}}$ – время обработки информации ППБ, полученной от ОЛМ с вычислением текущего местоположения поезда, сек.;

$T_{\text{олм}}$ – время обработки информации ОЛМ, полученной от ППБ относительно текущего местоположения, сек.;

$T_{\text{фи}}$ – время, включающее интервал от фиксации информации БАТП до вывода данных БПР через информационное табло ОЛМ, сек.;

$t_{\text{рпс}}$ – время распространения цифрового радиосигнала между объектами движения и стационарным устройством, сек.;

$T_{\text{пцм}}$ – время построение цифровой модели движения подвижных единиц на перегоне при использовании цифрового обмена данных через радиоканал ППБ, сек.

Анализ полученного графика зависимости скорости отклика от удалённости объекта движения производился с использованием корреляционного анализа, рассчитываемого согласно выражению (11).

$$r_{\text{откл}} = \frac{M(t_{\text{откл}} \cdot t_{\text{откл}}^{\text{P}}) - M(t_{\text{откл}}^{\text{P}}) \cdot M(t_{\text{откл}})}{\sqrt{M(t_{\text{откл}}^{\text{P}^2}) - (M(t_{\text{откл}}^{\text{P}}))^2} \cdot \sqrt{M(t_{\text{откл}}^2) - (M(t_{\text{откл}}))^2}}, \quad (11)$$

где $t_{\text{откл}}^{\text{P}}$ – расчётное значение отклика системы СКЛППС, сек.;

$t_{\text{откл}}$ – фактическое значение отклика системы СКЛППС, полученное эмпирическим путём, сек.

В момент отклика системы поезд проходит без контроля местоположения и смежных объектов попутного следования. Показатель проходимого расстояния подвижным составом при отклике системы должен входить в безопасную дополнительную дистанцию в момент сближения нескольких участников перевозочного процесса. Оценка безопасности использования СКЛППС производилась по нескольким параметрам: максимального значения расстояния, проходимого поездом в момент обновления получаемой информации, и точности фиксации позиционирования поезда.

Результаты исследования

Задача по выявлению точности позиционирования подвижного состава сводится к систематизации эмпирических данных, полученных в результате эксплуатации перегона оснащённого СКЛППС. Оборудование ЦРСКЛППС расположено в непосредственной близости к оси путевого развития на участках №5, 27, 49.

Полученные данные в течение нескольких месяцев систематизированы и усреднены. Фактический контроль прохождения поезда выполнялся на участках №5,12,22,26,31,40,47,52. С целью визуализации текущих условий проводимого эксперимента случайным образом сформирована выборка усреднённых суточных значений фиксации местоположения для поездов разных категорий в размере 20 дней и реализована в форме таблиц 1,2. Ранжирование данных представлено с учётом направления движения поездов от начального участка к конечному. Текущие таблицы реализованы в усечённом формате для упрощения восприятия. Измерение местоположения объектов движения физически происходило непрерывно.

Графическое отображение результатов проводимого эксперимента зафиксировано в форме изменения величины пройденного пути относительно интервалов движения через фактическое восприятие прохождения поезда через блок - участки и сбора данных системой СКЛППС для 20 случайных дней представлено на рисунке 4.

Архитектура представленного изображения включает пояснение текущего рисунка и отражает упорядоченный набор цифр, включающий порядковый номер случайной суточной выборки с успешным проведением экспериментальной части работы с фиксацией результатов исследования. Аббревиатура «факт» отражает фактическое расположение поезда относительно перегона.

Анализ результатов текущего графика указывает на минимальный разброс относительно проводимых измерений, все линии графика сливаются в одну ввиду низкой детализации. Фактическое местоположение поезда флуктуирует в нескольких местах относительно измерений СКЛППС, обуславливаемое дискретными измерениями для нескольких элементов перегона. Текущая графическая реализация недостаточно информативна для предоставления заключений по рассматриваемому исследовательскому этапу. В интересах масштабирования эффекта проводимого эксперимента реализовано центрирование полученных данных относительно фактической величины проходимых интервалов перегона.

Итоговые результаты проводимых манипуляций представлены в виде графика отклонения фактического местоположения поезда относительно данных, получаемых от системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава, представленных на рисунке 5. Топология графической реализации эмпирических данных включает несколько осей построения, основные из которых характеризуют зависимость отклонения измерения местоположения от порядкового номера участка, при этом второстепенная ось отражает день проводимого опыта. В качестве центрирующего значения, от которого вычисляется флуктуирование измеряемых параметров, выступает фактическое местоположение поезда относительно перегона. Пояснение текущего рисунка отражает упорядоченный набор цифр, включающий порядковый номер случайной суточной выборки с успешным проведением экспериментальной части работы с фиксацией результатов исследования.

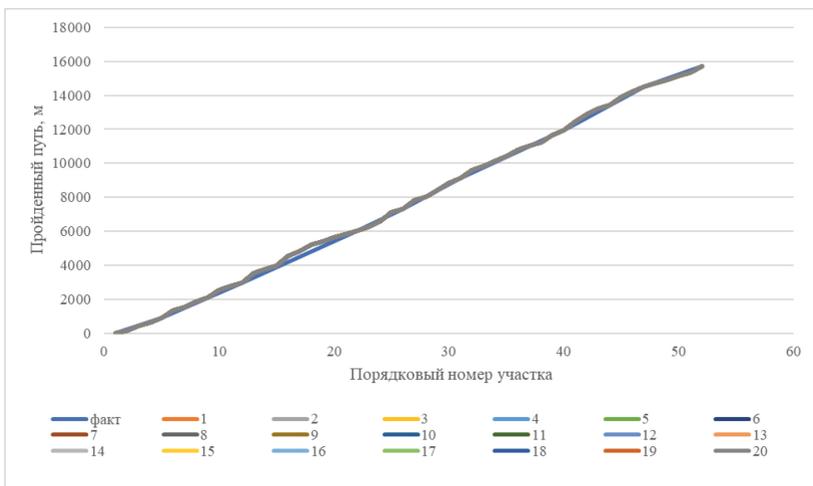


Рис. 4. График изменения величины пройденного пути относительно интервалов движения, определяемый через фактическое восприятие прохождения поезда через блок-участки и сбора данных системой СКЛППС: «1, 2, ..., 20» – порядковый номер случайной суточной выборки с успешным проведением экспериментальной части работы с фиксацией результатов исследования; «факт» – фактическое расположение поезда относительно перегона

Поверхностный анализ данных, представленных в таблицах 1, 2 указывает на незначительный разброс измеряемых параметров позиционирования через СКЛППС относительно фактического местонахождения поезда. Итоговое заключение относительно выборки данных возможно вывести при использовании корреляционного анализа согласно указанной ранее методологии.

Результаты проводимого анализа указали на очень высокое значение коэффициента корреляции в среднем составляющее 0,9999999981, а достоверность полученных данных верифицируется коэффициентом Стьюдента с численным значением 0,999881773. Корреляционный анализ выборки усреднённых суточных значений фиксации местоположения для поездов разных категорий случайных 20 дней из нескольких месяцев указывает на высокое значение точности позиционирования подвижного состава при использовании СКЛППС, подтверждаемое низким значением возможной ошибки измерения 0,0118 %. Согласно указанным данным в таблицах 1,2 достоверность определяемой поездной информации при движении по ОЛМ допускает погрешность измерения 0,00138 % относительно проходимого перегона протяжённостью 15,879 км.

Таблица 1.

Выборка усреднённых суточных значений фиксации местоположения для поездов разных категорий первых случайных 10 дней

Номер элемента пути	Начальная точка элемента пути, м	Порядковый номер дня проводимого эксперимента									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	927	927,27	928,06	928,04	927,94	926,65	927,16	927,96	926,68	927,53	926,74
12	2957	2956,33	2958,40	2956,58	2957,56	2957,02	2957,85	2957,11	2958,49	2957,33	2957,18
22	6027	6026,99	6027,09	6027,11	6026,93	6027,11	6027,04	6027,05	6027,00	6027,04	6026,93
26	7327	7327,73	7327,46	7327,73	7326,96	7327,44	7326,84	7326,87	7326,72	7327,67	7327,05
31	9127	9127,87	9127,74	9126,84	9127,83	9127,01	9127,81	9127,47	9127,08	9126,64	9127,85

40	11929	11929,40	11929,48	11929,87	11928,74	11928,74	11929,69	11929,02	11929,23	11928,88	11928,77
47	14529	14529,28	14528,99	14529,10	14528,93	14529,27	14529,47	14529,43	14528,97	14528,92	14529,41
52	15729	15729,12	15728,94	15729,11	15729,16	15729,21	15728,97	15728,92	15729,08	15729,14	15728,91

Таблица 2.

**Выборка усреднённых суточных значений фиксации местоположения
для поездов разных категорий вторых случайных 10 дней**

Номер элемента пути	Начальная точка элемента пути, м	Порядковый номер дня проводимого эксперимента									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	927	927,69	926,73	927,43	927,06	927,75	926,78	927,67	926,66	927,30	927,64
12	2957	2956,62	2958,29	2957,89	2956,36	2956,47	2958,56	2957,36	2958,38	2956,69	2958,07
22	6027	6027,13	6027,05	6027,01	6026,98	6027,12	6026,96	6027,10	6027,01	6027,15	6027,15
26	7327	7327,64	7327,15	7326,76	7327,43	7327,54	7327,27	7327,48	7326,98	7327,53	7326,75
31	9127	9127,77	9127,38	9127,14	9126,83	9126,64	9127,49	9127,53	9126,94	9126,90	9127,13
40	11929	11929,59	11929,54	11929,25	11929,36	11930,01	11929,00	11928,55	11929,71	11928,74	11929,40
47	14529	14529,20	14529,19	14529,33	14529,09	14528,84	14529,20	14529,28	14529,48	14529,24	14529,28
52	15729	15729,12	15729,19	15729,19	15729,12	15729,12	15729,03	15728,91	15728,91	15729,10	15728,92

Анализ графика отклонения фактического местоположения поезда относительно данных, получаемых от системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава для периода 20 случайных дней, указывает в большей степени на стохастический характер распределения измеряемых параметров. Прослеживается средний уровень корреляции, составляющий 0,570942467 при оценке линейной зависимости между считываемыми характеристиками и уклоном профиля пути, свидетельствующий о весомом искажении поездной информации при проследовании поездом отдельных элементов, включающих значительные показатели крутизны проходимого участка. Плотность разброса исследуемых

параметров местоположения сосредоточена в области 0,5 метра, максимальное отклонение оценки позиционирования не превышает значения 1,5. Флуктуирование данных оценки местоположения подвижного состава с большой вероятностью сосредоточена в положительной области, свидетельствующее о дополнительной корректировке измеряемых характеристик относительно уклона профиля, иначе потребуются увеличение размеров безопасной вставки при движении по ОЛМ.

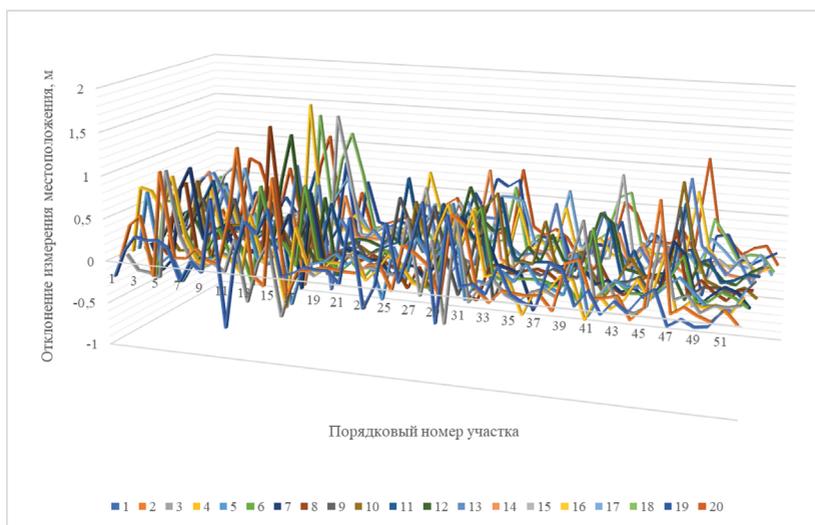


Рис. 5. График отклонения фактического местоположения поезда относительно данных, получаемых от системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава для 20 случайных дней: «1,2, ..., 20» – порядковый номер случайной суточной выборки с успешным проведением экспериментальной части работы с фиксацией результатов исследования

Структурная оценка параметров отклонения фактического местоположения относительно данных, получаемых от приёмно-передающего блока СКЛППС, достигнута при использовании вычислительно-статистического анализа, представленного на рисунке 6.

Аналитическое патернизационное сопоставление графических интерпретаций разброса случайной величины с областью

концентрации относительной частоты выборки свидетельствует о наличии схожих структур с не симметричным экспоненциальным распределением. Среднеквадратическое отклонение исследуемых параметров местоположения в большей степени распределено в интервале от -3σ до 6σ .

Текущие результаты исследования по выявлению точности фиксации местоположения подвижного состава позволяют произвести подстройку оборудования СКЛППС для получения более высокой точности определения местоположения подвижного состава относительно участка движения.

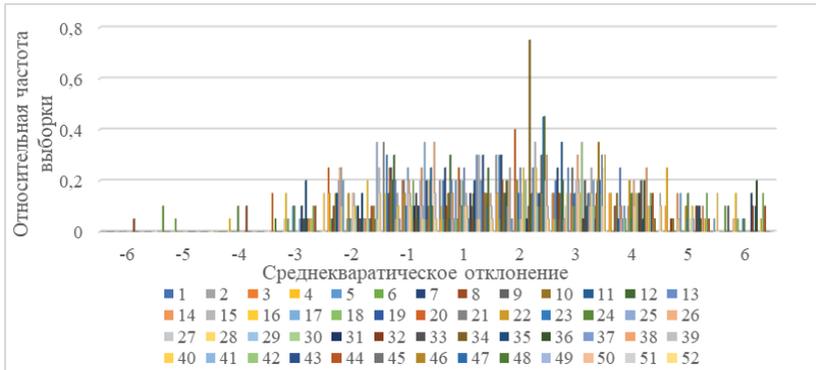


Рис. 6. Диаграммы вычислительно-статистического анализа оценки зависимости распределения параметров отклонения фактического местоположения поезда относительно данных, получаемых от системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава: «1,2, ..., 52» – порядковый номер элемента перегона.

Оценка динамики изменения пропускной и провозной способности на перегоне Спиченково – Новокузнецк Сортировочный производилась с учётом расшифровки данных, используемых в графиках движения поездов. Систематизация исследовательских данных реализована в табличной форме (таблица 3).

Эмпирические данные в текущей работе ранжированы в возрастающей последовательности относительно суточного порядкового номера сбора информации. Топология таблицы 3 предусматрива-

ет использование среднего значения межпоездных интервалов за сутки для систем интервального регулирования АБ-3 и СКЛППС. Неравномерность проведения исследований для разных устройств регулирования движением обусловлена продолжительным промежутком времени, отводимым на введение в действие локационного позиционирования объектов движения.

На основании текущих параметров перегона и размеров движения представлены и рассчитаны значения пропускной способности перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный, в том числе при условии использования СКЛППС. Показатель полезного действия использования пропускной способности в текущей работе указывает на эффективность использования линии сообщения в предельно сжатых ниток графика движения без учёта отводимого времени на перебои в работе и другие технологические операции. Расчётная часть предусматривает использование значение межпоездного интервала, равного 8 минутам [10], СКЛППС согласно исследованиям, представленным в [7], позволяет снизить текущий параметр до 1,5 минут. Эксплуатационная пропускная способность оценивает полноту использования пути сообщения с учётом времени, отводимого на технологическое ограничение движения и снижение задержек в попутном направлении для 2 систем регулирования перевозочного процесса.

Управление поездом по ОЛМ позволило снизить среднее значение интервала попутного следования в условии эксплуатации СКЛППС, вызвавшее рост наличной пропускной способности. Общее время использования систем регулирования движения указывает на полную занятость линии сообщения с учётом сжатия ниток графика до предельно допустимых эксплуатационных значений. В качестве отдельной графы рассчитано суточное отклонение данных между текущей и наличной пропускной способности перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный за сутки.

В целях систематизации, упрощения аналитической деятельности и определения сторонних параметров, указанных в методе-

логии исследования текущих процессов, информация центрирована в нижней части таблицы.

Визуализация и детализация динамики флуктуирования наличной, текущей и эксплуатационной пропускной способности для систем интервального регулирования АБ-3 и СКЛПС реализована на рисунках 7, 8.

Архитектура построения графиков отражает зависимость исследуемых показателей движения за временной промежуток от величины порядкового номера дня проведения изысканий.

Таблица 3.

Мониторинг эмпирических данных пропускной способности перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный в условии использования СКЛПС

Порядковый номер дня проведения исследования	Среднее значения интервала движения подвижных систем, мин.	Среднее значения интервала движения СКЛПС, мин.	Текущая пропускная способность, поездов/сут.	Наличная пропускная способность СКЛПС, поездов/сут.	Прирост пропускной способности, поездов/сут.	Показатель полезного действия АБ3, %	Показатель полезного действия СКЛПС, %	Эксплуатационная пропускная способность, %	Эксплуатационная пропускная способность СКЛПС, %	Общее время использования линии СКЛПС, мин.	Общее время использования линии АБ-3, мин.
1	20,05	13,11	62	94	32	34	10	52,5	27,8	141	496,00
2	19,99	12,20	62	101	39	34	10	52,5	28,6	151,5	496,00
3	19,77	12,42	63	99	36	34	10	53,2	28,5	148,5	504,00
4	19,91	12,22	62	101	39	34	10	52,5	28,6	151,5	496,00
5	19,83	12,39	62	100	38	34	10	52,5	28,5	150	496,00
6	20,28	13,59	61	91	30	34	9	51,8	27,4	136,5	488,00
7	20,23	14,12	61	87	26	34	9	51,8	27,0	130,5	488,00
8	19,61	12,09	63	102	39	35	11	53,2	28,8	153	504,00
...
91	19,97	11,61	62	106	44	34	11	52,5	29,1	159	496,00
92	18,52	13,16	67	94	27	37	10	56,0	28,6	141	536,00
93	19,27	12,25	64	101	37	35	10	53,9	28,9	151,5	512,00

94	20,20	12,64	61	98	37	34	10	51,8	28,1	147	488,00
95	20,21	11,18	61	110	49	34	11	51,8	29,4	165	488,00
Среднее значение	19,70	12,67	62,83	97,72	34,88	35	10	53,1	28,4	146,6	502,7

Предварительный результат оценки динамики изменения пропускной и провозной способности на текущем перегоне при движении по ОЛМ позволил снизить средние значения интервала движения при смешанном формировании отправок на линию. Наличная пропускная способность пути сообщения, оборудованного СКЛППС, относительно текущих размеров движения при действующей системе АБ-3 возросла при учёте низкого коэффициента совмещения грузовых, пассажирских и резервных отправок на 34,6%. Показатель полезного действия при сравнении устройств интервального регулирования указывает на менее эффективное использование линии, оборудованной системой кодово-локационного позиционирования, позволяющей при правильном формировании отправок и полной загрузки линии без учёта буферного времени увеличить в 10 раз общее количество пропускаемых подвижных единиц. Низкое значение межпоездного интервала позволяет сжать общее время использования пути сообщения на 70,8 %. Расчёт провозной способности исследуемого перегона для систем АБ-3 составляет 23,07 млн. т в год, а при использовании СКЛППС и текущего вида формирования отправок, описанного методологией исследовательской деятельности, при движении по ОЛМ позволяет увеличить рассмотренный показатель на 40,2 %.

Анализ графиков динамики изменения пропускной способности для систем интервального регулирования АБ-3 и СКЛППС перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный в течение нескольких месяцев позволил выделить стабильное функционирование СКЛППС при позиционировании подвижных объектов движения. На протяжении расчётного периода прослеживаются случайные aberrации, вызванные нормальными обыденными изменениями грузового сообщения в виду дестабильности по-

ступления заявок на перевозку. Линейное распространение централизованных значений указывает на объективную работу без существенных перебоев. Эксплуатационная пропускная способность при текущих параметрах движения указывает на ограниченную насыщенность АБ-3, увеличение объема перевозки в 2 раза позволит эксплуатировать перегон на пределе возможного и в случае нештатных ситуаций или введения технологических интервалов линия сообщения будет не способна воспринять нагрузку. СКЛППС обладает более высокими возможностями уплотнения попутного или смешанного следования. При увеличенной наличной пропускной способности на 34,6 % система кодово-локационного позиционирования способна стабильно эксплуатироваться при 3-х кратном увеличении текущих объемов перевозок.

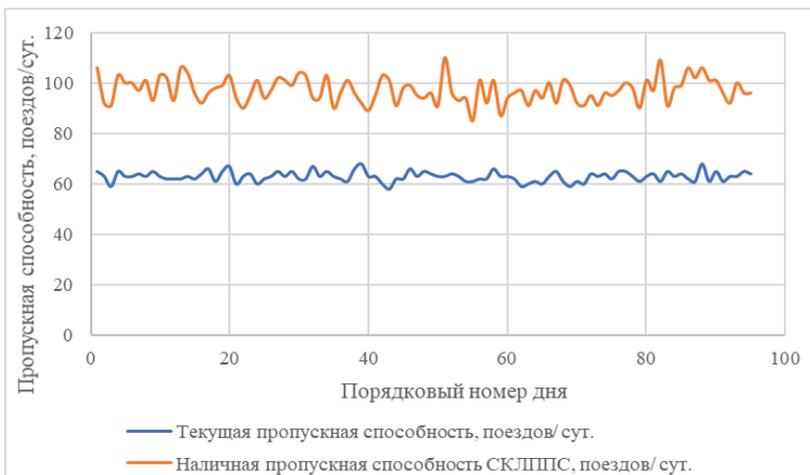


Рис. 7. График динамики флуктуирования наличной и текущей пропускной способности для систем интервального регулирования АБ-3 и СКЛППС перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный в течении нескольких месяцев

Оценка скорости отклика системы интервального регулирования достаточно важна в управлении подвижными единицами. В момент отсутствия информации о поездной ситуации поезд едет

вслепую, в то время, когда он должен оценивать безопасную дистанцию. В случае внезапной аварии с впереди идущим подвижным составом, последующий выполнит торможение в момент получения данных от ППБ СКЛППС. Допустимое значение времени реакции системы, полученное от статистической обработки, должно преобразовываться ОЛМ в путевой интервал отклика (ПАО), зависящий от текущей скорости движения, и входить в состав дополнительной безопасной вставки.

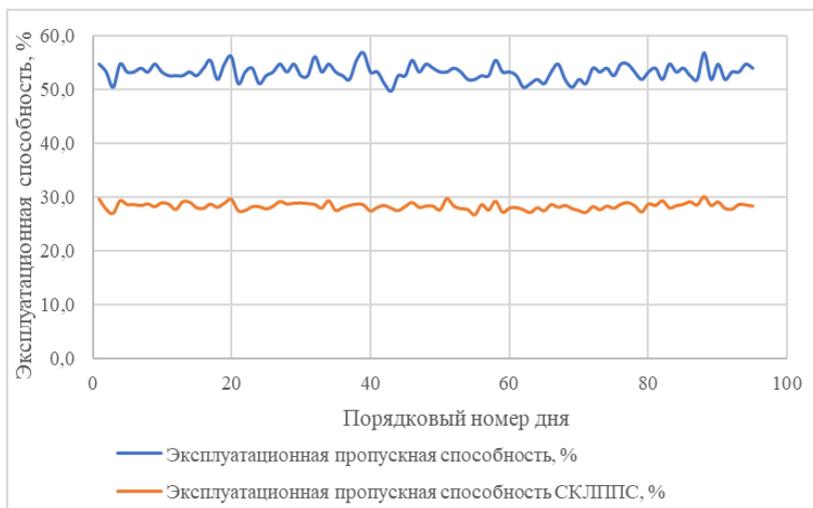


Рис. 8. График динамики флуктуирования эксплуатационной пропускной способности для систем интервального регулирования АБ-3 и СКЛППС перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный в течении нескольких месяцев

Результаты эмпирического исследования скорости отклика СКЛППС и величины ПАО представлены в таблице 4. Архитектура реализации табличных данных включает основные временные и статистические параметры для определения общего расчётного времени отклика системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава. Средняя скорость подвижного состава по перегону указана на основании глубокого анализа графиков

движения с выделением усреднённых значений в общий список согласно порядковому номеру проходимого интервала. Время на приём и передачу данных между ОЛМ и ППБ рассчитано с учётом трёх кратного расстояния между подвижным составом и стационарными устройствами приёмно-передающего назначения СКЛППС. Протяжённость обработки данных рассчитывалась на основании производительности, рабочих характеристик используемых блоков и количества производимых операций с учётом алгоритма работы. Интервал отклика при средней скорости отражает проходимое расстояние поезда в момент задержки получения данных и их расшифровки. С целью укрупнения значений, представленных параметров в таблице 4, для них рассчитаны среднее и максимальное значения. В структурном исполнении табличных данных выделены среди общего списка путевых интервалов перегона номера 8, 25 и 44, ввиду их непосредственной близости к объектам ППБ СКЛППС.

Развёрнутая графическая реализация результатов анализа сопоставления значений общего, относительно среднего фактического времени отклика СКЛППС и отклонения расчётного ПИО от эмпирического путевого интервала для перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный представлена на рисунках 9, 10. Текущие графики позволяют структурно оценить параметры аберрирования расчётных и опытных данных, полученных при расшифровке баз данных ППБ и ОЛМ. Результаты анализа текущих графических интерпретаций результатов исследования позволят оценить степень разброса и стабильности получения информации, указывая на величину дополнительного безопасного интервала, снижающего вероятность образования коллизии.

Предварительная оценка результатов исследования указала на достаточный вид исполнения фактических параметров относительно расчётных, послужившая причиной дополнительного анализа особенностей разброса эмпирических показателей. Характер флуктуирования данных, участвующих в текущем эксперименте, обработан

согласно представленной ранее методологии и систематизирован в виде диаграммы на рисунке 11. Указанная графическая реализация представляет значение относительной частоты аберрирования временных параметров отклика СКЛППС расчётных и фактических значений от среднеквадратического их отклонения. Упорядоченная последовательность значений от 1 до 52 отражает порядковый номер элемента перегона. Анализ текущей диаграммы предусматривает использование графического сопоставления с идеализированными паттернами распределения случайных величин при эксплуатации железнодорожного подвижного состава указанных в [11].

Таблица 4.

Результат эмпирического исследования скорости отклика системы СКЛППС, участвующей в регулировании движения перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный

Порядковый номер интервала движения	Средняя скорость движения, км/ч	Расстояние до ПШБ, м	Время на приём и передачу данных, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Расчётная время обработки данных ПШБ, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Расчётная время обработки данных ОЛМ, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Расчётная время обработки данных БПР, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Общее время отклика СКЛППС, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Расчётный интервал отклика при средней скорости, м	Среднее эмпирическое время отклика СКЛППС, $1 \cdot 10^{-3}$ с	Эмпирический интервал отклика при средней скорости, м
1	15,1	2007	20,07	37,4	24,9	29,3	111,67	0,47	120,06	0,50
2	37,2	1880	18,80	37,4	24,9	29,3	110,40	1,14	115,3	1,19
3	44,6	1580	15,80	37,4	24,9	29,3	107,40	1,33	111,29	1,38
...
8	74,1	120	1,20	37,4	24,9	29,3	92,80	1,91	101,53	2,09
...
25	71,6	100	1,00	37,4	24,9	29,3	92,60	1,84	107,32	2,13
...
44	51,2	250	2,50	37,4	24,9	29,3	94,10	1,34	105,69	1,50
...
51	31,6	2050	20,50	37,4	24,9	29,3	112,10	0,98	115,7	1,02
52	29,4	2200	22,00	37,4	24,9	29,3	113,60	0,93	115,72	0,95
Среднее значение	64,70	1537,98	15,38	37,4	24,9	29,3	106,98	1,93	115,44	2,09
Максимальное значение	78,40	3272,0	32,7	37,4	24,9	29,3	124,3	2,69	133,21	2,84

Анализ текущих результатов эмпирического исследования скорости отклика системы СКЛППС, участвующей в регулировании движения перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный, указывает на достаточный вид исполнения фактических параметров относительно расчётных. Среднее время отклика СКЛППС для текущего пути сообщения не превышает расхождения между общим значением на 20,57 мсек. Коэффициент корреляции заявленных характеристик составляет 0,7562, указывающий на высокую степень линейной зависимости исследуемых показателей. Отклонение значений путевого интервала отклика ввиду незначительного расхождения времени задержки информационного потока минимальны и не превышают величины 0,44 м. Взаимосвязь текущих исследуемых параметров работы СКЛППС на участке движения Спиченково – Новокузнецк Сортировочный более высока и составляет 0,9782, указывая на близкое к идентичному значению степени линейной зависимости фактического ПИО. Несмотря на низкий разброс данных ввиду безопасности движения и исключения коллизионных ситуаций, требуется учитывать результаты исследования в формировании величины безопасной межпоездной вставки (БМВ).



Рис. 9. График динамики флуктуирования общего относительно среднего эмпирического времени отклика СКЛППС для перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный



Рис. 10. График отклонения расчётного ПИО от эмпирического путевого интервала перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный

Представленные графики отклонения фактических значений от расчётных параметров времени отклика системы СКЛППС для перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный указывают на стабильный информационный обмен и отсутствие появления ложных данных в течении нескольких месяцев.

В структурном исполнении графических показателей наблюдаются незначительные флуктуации ввиду повседневной работы системы кодово-локационного позиционирования, нормальное функционирования электронных компонентов предусматривает несущественные aberrации выходных данных. В общей структуре прослеживается идентичная форма реализации фактической информации относительно кривой с расчётными данными, свидетельствующая о корректном выполнении алгоритмов работы ППБ и ОЛМ.

Отклонение эмпирических данных в формировании ПИО для БМВ для перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный не превышает значения 16,54% от наиболее протяжённого расчётного интервала отклика.

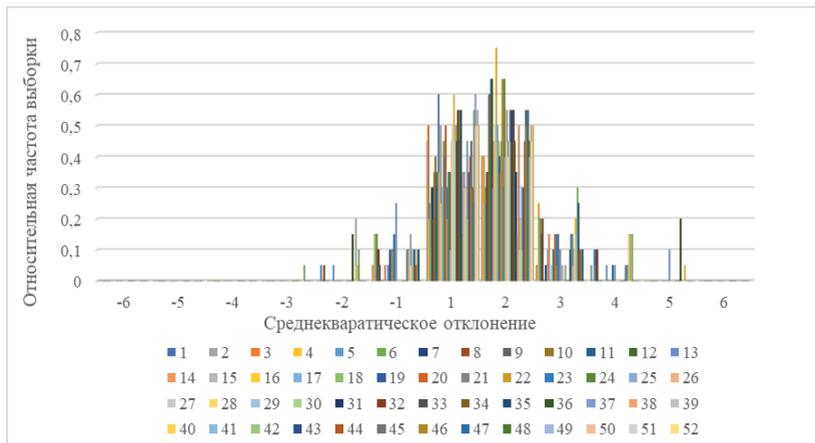


Рис. 11. Диаграммы вычислительно-статистического анализа оценки зависимости распределения параметров отклонения фактического относительно расчётного времени отклика СКЛППС в течении нескольких месяцев: «1,2, ..., 52» – порядковый номер элемента перегона.

Вычислительно-статистическая оценка закономерности разброса параметров фактического времени отклика СКЛППС относительно расчётного за период проведения изысканий в 95 дней на перегоне Спиченково – Новокузнецк Сортировочный указывает на стандартный характер распределения Гаусса для исследовательских значений. Текущая диаграмма не симметрична и имеет сдвиг в положительную область, свидетельствующая о более вероятном увеличении временных показателей и как следствие возрастание БМВ, чем их снижение. Смещение разброса данных в среднем составляет $+1\sigma$. Наиболее вероятное отклонение времени отклика системы от расчётного значения сосредоточено в области $0 - 2\sigma$, менее вероятный разброс наблюдается за границами области $-3\sigma - 6\sigma$. Исходя из результатов текущего исследования, значение БМВ для обеспечения безопасного допустимого интервала движения поездов при следовании по ОЛМ должно включить ПИО, скорректированный на значение 6σ для перегона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный.

Заключение

Представленная публикация включает успешное решение всех заявленных задач.

В основной исследовательской части произведена комплексная оценка интегрирования системы кодово-локационного позиционирования в восточное направление Западно-Сибирской железной дороги.

Результатом производимых изысканий представляется комплексная оценка эффективности внедрения СКЛППС, включающая данные по снижению значения межпоездного интервала с учётом безопасных условий эксплуатации. Оценка вычислительной способности местоположения локационным методом допускает незначительные отклонения от идеальных условий не более 1,5 м для участка протяжённостью 16 км. Характер флуктуирования данных распределён согласно экспоненциальному закону в положительную область. Появление искажений в фиксации местоположения подвижного состава сосредоточена при движении на спуск по уклону. Пропускная способность действующей системы интервального регулирования на перегоне участка движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта значительно ограничена и не способна воспринять двукратного увеличения размеров движения. Переход на полноценное движение по ОЛМ с учётом максимально допустимого сокращения межпоездного расстояния, включающего использование тормозного интервала, беспрепятственно позволяет увеличивать объёмы перевозок в 3 и более раза без нарушения безопасности движения.

Использование СКЛППС при ограниченных возможностях и движении по ОЛМ на отдельном перегоне участка движения Новокузнецк Сортировочный – Артышта позволило увеличить пропускную способность на 34,6%, а провозную на 40,2%.

В процессе проведения изысканий СКЛППС показала с наилучшей стороны, отражая достаточно стабильное и безопасное управление подвижным составом, в процессе эксплуатации пере-

гона Спиченково – Новокузнецк Сортировочный. Время отклика системы кодово-локационного позиционирования не статично и характер разброса значений подчинён нормальному распределению Гаусса, смещённого в положительную область. Наиболее вероятные значения отклонения задержки получения информации колеблются в диапазоне от 0 до 2σ . Путевой интервал отклика СКЛППС ввиду незначительной нестабильности времени обработки информации для обеспечения безопасности движения должен быть смещён на 16,54% для текущего перегона. Скорость информационного обмена между ОЛМ и ППБ достаточно стабильна для дальнейшей эксплуатации.

В целях повышения эффективности и безопасности эксплуатации перегонов, оборудованных СКЛППС, должны учитываться результаты изысканий, представленных в текущей работе.

Список литературы

1. Васильева Ю. В. Комплексное развитие участка Междуреченск-Тайшет / Ю. В. Васильева // Молодежная наука: Труды XXV Международной научно-практической конференции, Красноярск, 22–24 апреля 2021 года. Том 2. Красноярск: Красноярский институт железнодорожного транспорта - филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения, 2021. С. 36-40.
2. Куренков П. В. Мероприятия по развитию железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона и участка Междуреченск - Тайшет / П. В. Куренков, О. Н. Мадяр, А. В. Астафьев // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2022. № 7. С. 11-15. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-07-2>
3. Транссибу дали Южный ход // Новости Кузбасс. URL: <https://vesti42.ru/news/v-gornolyzhnom-sezone-2022-2023-sheregesh-posetili-bolee-dvuh-millionov-turistov/?ysclid=lssxq67yuz353608136/> (дата обращения: 20.09.2024).

4. Изыскание ключевых аспектов внедрения системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава / О. В. Шугаев, О. Д. Покровская, В. В. Почетуха, Д. А. Шурыгин // Транспортное дело России. 2024. № 4. С. 140-146.
5. Определение надёжности работы системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава / О. В. Шугаев, О. Д. Покровская, В. В. Почетуха, Д. А. Шурыгин // Транспортное дело России. 2024. № 4. С. 121-127.
6. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королук, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1985. 640 с.
7. Шугаев О. В. Определение закономерности распределения отклонений величины установленного темпа движения поездов на участке пути с автоматической системой интервального регулирования при воздействии окружающей среды и характера ведения поезда // Известия Транссиба. 2023. № 3 (55). С. 54-66.
8. Браништов С. А. Методы оценки пропускной способности железных дорог Часть 1. Аналитические методы оценки и анализа использования / С. А. Браништов, А. М. Ширванян, Д. А. Тумченко // Информационно-управляющие системы. 2014. № 5(72). С. 51-57.
9. Абрамов А.А. Управление эксплуатационной работой: Ч. II. График движения поездов и пропускная способность: Учебное пособие. М.: РГОТУПС, 2002. 171 с.
10. Кондратьева Л. А., Ромашкова О. Н. Системы регулирования движения на железнодорожном транспорте: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2003. 432 с.
11. Шугаев О. В. Систематизация методов экстраполирования случайных флуктуаций в процессах регулирования движения / О. В. Шугаев, В. А. Гришунин // Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление: сборник трудов Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 18 мая 2023 года. Выпуск 7 (255). Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2023. С. 162-171.

12. Балдин К.В. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник / К.В. Балдин, В.Н. Башлыков. М.: Дашков и К, 2016. 472 с.
13. Изыскание ключевых аспектов внедрения системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава / О. В. Шугаев, О. Д. Покровская, В. В. Почетуха, Д. А. Шурьгин // Транспортное дело России. 2024. № 4. С. 140-146.
14. Shugaev O. V., Knyazkina O. V., Fomin E. V. The effect of external factors on the deviation of train velocity from the expected value // AIP Conf. Proc. 2023. Vol. 2624, 030015. <https://doi.org/10.1063/5.0132809>
15. Покровская О. Д. Совершенствование систем управления перевозочным процессом на полигоне Северной железной дороги / О. Д. Покровская, Е. С. Роднева // Техник транспорта: образование и практика. 2021. Т. 2, № 1. С. 87-96. <https://doi.org/10.46684/10.46684/2687-1033.2021.1.87-96>

References

1. Vasilieva, Yu. V. Integrated development of the Mezhdurechensk-Taishet section / Yu. V. Vasilieva. *Youth Science: Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, April 22-24, 2021*. Volume 2. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, 2021, pp. 36-40.
2. Kurenkov P. V. Measures for the development of the railway infrastructure of the Eastern polygon and the section Mezhdurechensk - Taishet / P. V. Kurenkov, O. N. Madyar, A. V. Astafiev. *Transport: Science, Technology, Management. Scientific information collection*, 2022, no. 7, pp. 11-15. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-07-2>
3. Transsib was given the Southern way. *News Kuzbass*. URL: <https://vesti42.ru/news/v-gornolyzhnom-sezone-2022-2023-sheregesh-positili-boleev-dvuh-millionov-turistov/?ysclid=lssxq67yyz353608136/>
4. Search of the key aspects of the rolling stock coded positioning system implementation / O. V. Shugaev, O. D. Pokrovskaya, V. V. Pochetukha, D. A. Shurygin. *Transport business of Russia*, 2024, no. 4, pp. 140-146.

5. Determination of reliability of the rolling stock code-location positioning system operation / O. V. Shugaev, O. D. Pokrovskaya, V. V. Pochetukha, D. A. Shurygin. *Transport business of Russia*, 2024, no. 4, pp. 121-127.
6. Reference book on probability theory and mathematical statistics / V.S. Korolyuk, N.I. Portenko, A.V. Skorokhod, A.F. Turbin. M.: Nauka, 1985, 640 p.
7. Shugaev O.V. Determination of the regularity of the deviation distribution of the set train speed value deviation on the track section with the automatic system of the interval regulation under the influence of the environment and the train running character. *Izvestiya Transsib*, 2023, no. 3 (55), pp. 54-66.
8. Branishtov S. A. Methods of estimating the capacity of railroads Part 1. Analytical methods of estimation and utilization analysis / S. A. Branishtov, A. M. Shirvanyan, D. A. Tumchenok. *Information and Control Systems*, 2014, no. 5(72), pp. 51-57.
9. Abramov A.A. *Operational work management: Part II. Train schedule and throughput capacity*: Textbook. M.: RGOTUPS, 2002, 171 p.
10. Kondratyeva L. A., Romashkova O. N. *Systems of traffic regulation on railroads. N. Systems of traffic regulation on the railway transport*: Textbook for technical schools and colleges of railway transport. Moscow: Marshrut, 2003, 432 p.
11. Shugaev O. V. Systematization of methods for extrapolation of random fluctuations in the processes of traffic control / O. V. Shugaev, V. A. Grishunin. *Transport: logistics, construction, operation, management: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Ekaterinburg, May 18, 2023*. Issue 7 (255). Yekaterinburg: Ural State University of Railway Transport, 2023, pp. 162-171.
12. Baldin, K.V. *Probability theory and mathematical statistics*: Textbook / K.V. Baldin, V.N. Bashlykov. Moscow: Dashkov and K, 2016, 472 p.
13. Prospecting of the key aspects of implementing the system of code-based positioning of rolling stock / O. V. Shugaev, O. D. Pokrovskaya, V. V. Pochetukha, D. A. Shurygin. *Transportnoe delo Rossii*, 2024, no. 4, pp. 140-146.

14. Shugaev O. V., Knyazkina O. V., Fomin E. V. The effect of external factors on the deviation of train velocity from the expected value. *AIP Conf. Proc.*, 2023, vol. 2624, 030015. <https://doi.org/10.1063/5.0132809>
15. Pokrovskaya O. D. Improvement of transportation process management systems on the Northern Railway polygon / O. D. Pokrovskaya, E. S. Rodneva. *Transport Technician: Education and Practice*, 2021, vol. 2, no. 1, pp. 87-96. <https://doi.org/10.46684/10.46684/2687-1033.2021.1.87-96>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шугаев Олег Владимирович, старший преподаватель кафедры «Транспорт и логистика»
Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ)
ул. Кирова, 42, г. Новокузнецк, 654007, Российская Федерация
o_shugaev@mail.ru

Покровская Оксана Дмитриевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой», профессор кафедры «Логистика и коммерческая работа»
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)
пр. Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация
insight1986@inbox.ru

Почетуха Василий Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспорт и логистика»
Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ)
ул. Кирова, 42, г. Новокузнецк, 654007, Российская Федерация

Лемихов Сергей Викторович, заместитель начальника

*Новокузнецкий центр организации работы железнодорожных станций, Западно-Сибирская дирекция управления движением – филиал ОАО «РЖД»
пр. Курако, 19, г. Новокузнецк, 654079, Российская Федерация*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oleg V. Shugaev, Senior Lecturer of the Department of Transport and Logistics

*Siberian State Industrial University
42, Kirov Str., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation
o_shugaev@mail.ru*

Oksana D. Pokrovskaya, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Operational Work Management, Professor of the Department of Logistics and Commercial Work
*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation
insight1986@inbox.ru*

Vasily V. Pochetukha, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Siberian State Industrial University
42, Kirov Str., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

Sergey V. Lemikhov, Acting Head

*Novokuznetsk Center for the Organization of Work of Railway Stations, West Siberian Directorate of Traffic Management
Central Directorate of Traffic Management – branch of JSC «Russian Railways»
19, Kurako Ave., Novokuznetsk, 654079, Russian Federation*

Поступила 14.09.2024

После рецензирования 10.10.2024

Принята 15.10.2024

Received 14.09.2024

Revised 10.10.2024

Accepted 15.10.2024