

- 3) обучение нейронной сети на исторических данных;
- 4) применение обученной сети для прогнозирования рисков на конкретных станциях.

Математическая модель представляет собой двухслойную нейронную сеть, где входные переменные соответствуют факторам риска, а выходные переменные – прогнозируемым видам нарушений безопасности движения.

Преимущества новой методики:

- 1) возможность работы с неполными данными;
- 2) учет взаимосвязей между различными факторами риска;
- 3) повышенная точность прогнозирования для конкретных станций;
- 4) возможность раннего выявления потенциальных рисков.

Проведенный анализ современных методик расчета рисков нарушений безопасности движения на железных дорогах России позволяет сделать следующие выводы.

1 Существующая методика оценки рисков, основанная на ГОСТ 33433-2015, требует дополнения современными методами анализа данных, особенно в условиях цифровой трансформации железнодорожного транспорта.

2 Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования рисков безопасности движения позволяет повысить точность прогнозов на 20–25 % по сравнению с традиционными методами, что особенно важно для станций с малой статистикой происшествий.

3 Выявленные факторы риска могут быть систематизированы на кадровые, технологические и инфраструктурные группы, что позволяет разрабатывать целевые меры по снижению рисков для конкретных станций.

#### Список литературы

1 ГОСТ 33433-2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127759> (дата обращения 10.09.2025).

2 Об утверждении стандарта ОАО «РЖД» «Классификация инцидентов, вызывающих нарушения графика движения поездов»: распоряжение ОАО «РЖД» от 19 мая 2014 г. N 1223р. – URL: <https://base.garant.ru/70697466> (дата обращения 10.09.2025).

3 **Иванов, Д. А.** Риск-менеджмент на железнодорожном транспорте / Д. А. Иванов, И. В. Охотников, И. В. Сибирко. – М. : Макс-пресс, 2022. – 120 с.

4 **Кудрина, А. А.** Риски в области функциональной безопасности движения поездов / А. А. Кудрина, О. И. Коровкина, К. А. Чернышев // ПОЛИТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ : материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 24–25 окт. 2024.

5 **Максимова, Е. С.** Вопросы экономической оценки рисков производственной деятельности / Е. С. Максимова // Экономика железных дорог. – 2022. – № 2. – С. 35–43.

УДК 656.212.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ НА УЧАСТКОВОЙ СТАНЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ

*В. Г. КУЗНЕЦОВ, И. М. ЛИТВИНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основными объектами железнодорожной транспортной системы, участвующими в организации вагонопотоков и распределении сортировочной работы, являются технические станции, которые можно представить как сложные транспортные технологические подсистемы, имеющие ресурсы для преобразования поездо- и вагонопотоков в соответствии с планом формирования грузовых поездов.

Технологическая роль участковых станций в системе распределения сортировочной работы на железнодорожной сети зависит от структуры транзитного вагонопотока и функциональной значимости при формировании местных поездов в районе местной работы. В этом случае участковая станция выступает как опорная и имеет региональное значение в системе организации вагонопотоков. Особенностью участковой станции регионального значения является формирование всех кате-

горий местных поездов в железнодорожных узлах и на прилегающих участках. Для обеспечения своевременной реализации процесса расформирования-формирования местных поездов, участковая станция регионального значения должна обладать достаточными технико-эксплуатационными ресурсами, мощность которых характеризует пропускную и перерабатывающую способность станции.

В зависимости от варианта плана формирования грузовых поездов изменяется уровень использования перерабатывающей способности участковой станции, и соответственно простои в парках станции, а также дополнительные простои в ожидании выполнения процессов. Например, реализация процесса «расформирование составов на сортировочной горке» характеризуется интервалами в обслуживании, от которых зависят момент перехода к следующему процессу, своевременность выполнения реализации технологической линии «Пропуск и переработка вагонопотока на станции» в целом, а также ключевые показатели работы станции – простой вагонов на станции [1].

Процесс расформирования установлен в технологическом процессе работы участковой станции через нормы времени, необходимые на выполнение горочных операций для расчетных характеристик вагонопотока, поступающего на станцию в переработку.

Нормативы времени в технологическом процессе установлены расчетным путем с использованием статистических методов на основании обработки данных требуемого множества составов различных категорий грузовых поездов. К параметрам, установленным в технологическом процессе, относятся:

- средний состав грузового поезда ( $\overline{m}$ ), ваг.;
- удельный вес количества поездов, в составе которых имеются вагоны, запрещенные к спуску с сортировочной горки ( $\beta_{зсг}$ );
- среднее количество групп ( $\overline{x}$ ) в составе;
- среднее количество групп с вагонами ЗСГ ( $\overline{x_{зсг}}$ ) в составе;
- среднее количество отцепов с вагонами ЗСГ ( $\overline{g_{зсг}}$ ) в составе;
- среднее количество вагонов ЗСГ ( $\overline{m_{зсг}}$ ) в составе.

Существующая методика расчета продолжительности выполнения операций по расформированию состава позволяет учесть данные параметры составов грузовых поездов, поступающих в расформирование. В то же время структура вагонопотока, поступающего в переработку, неоднородна, что существенно влияет на выполнение операций, связанных с управлением процессом, и вызывает неопределенность в затратах времени. Наличие механизма формализации структурных характеристик вагонопотока позволит более достоверно моделировать время реализации процесса, а также моменты перехода из одного процесса в другой.

Для анализа времени нахождения вагонов при выполнении операций расформирования определены элементарные операции, между которыми установлены взаимосвязи, существующие в реальном процессе расформирования на станции. На основе пооперационного сравнительного анализа нормативов технологического процесса работы участковой станции установлено, что для реализации процесса «расформирование составов на сортировочной горке» выделены нормативы времени на операции: закрепление состава, снятие закрепления, заезд горочного локомотива под состав, вытягивание, надвиг, роспуск, осаживание состава.

Для параметрической оценки процесса расформирования составов на сортировочной горке участковой станции проведен анализ статистической выборки поступающего в переработку вагонопотока на станцию. По данным статистической выборки установлено, что в среднем за сутки на участковой станции расформировывается 13 составов, из них 3 состава – это участковые и сквозные поезда с предельной минимальной нормой состава, которая устанавливается в ГДП, а остальные 10 составов – это составы местных поездов (вывозных, передаточных) с произвольной величиной составов, которая определяется исходя из реального процесса поездообразования. По данным установлен вариационный размах числа вагонов в составах поездов, так для большинства передаточных и вывозных поездов состав поезда находится в диапазоне от 20 до 30 вагонов, для участковых и сквозных – 55–63 вагона. Установлен значительный диапазон затрат времени на расформирование состава – от 30 до 90 минут, а также высокая неопределенность продолжительности расформирования, например, расформирование состава 58 вагонов составляет 80 минут, а состава из 63 вагонов –

30 минут. Кроме того, в расчете на один вагон время расформирования составов составляет 1,6 минуты, что значительно выше времени, установленного в технологическом процессе работы участковой станции.

Результаты статистической выборки продолжительности расформирования состава на сортировочной горке участковой станции в зависимости от количества вагонов в составе представлены на рисунке 1.

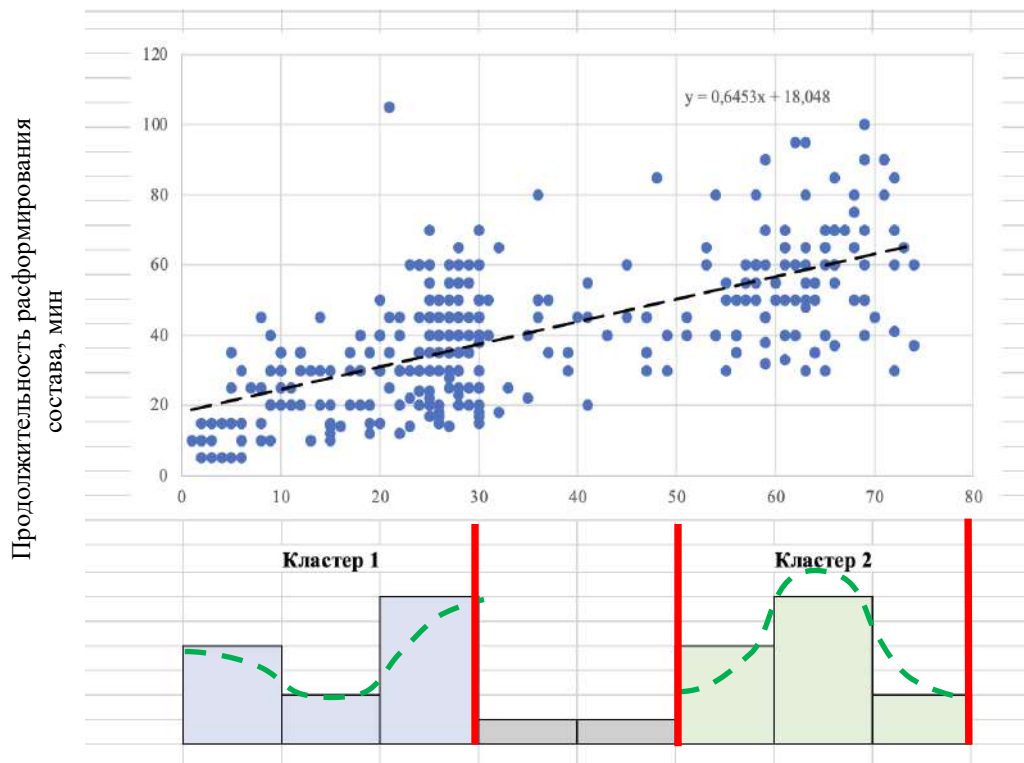


Рисунок 1 – Продолжительность расформирования состава в зависимости от количества вагонов в составе

На основании данных, представленных на рисунке 1, установлена общая тенденция зависимости затрат времени на расформирование одного состава от количества вагонов в составе. В то же время следует отметить значительный разброс значений времени при одинаковом количестве вагонов в составе. Так, при 30 вагонах в составе диапазон изменения времени расформирования составляет от 15 до 70 минут. Выделены два кластера грузовых поездов. К кластеру 1 относятся составы с количеством вагонов от 2 до 30 – составы от передаточных, сборных поездов и угловых передач. Продолжительность расформирования при количестве вагонов, близких к установленному в технологическом процессе кластера 2 (61 вагон), составляет от 32 до 95 минут. Такой разброс значений времени выполнения процесса свидетельствует о влиянии иных факторов, которые необходимо учитывать при анализе задержек выполнения процесса и соответственно выполнения ключевых качественных показателей работы станции (простой вагонов).

Установленная зависимость между продолжительностью расформирования составов и числом вагонов в составе поезда подтверждает необходимость установления зависимости времени расформирования не только от характеристик составов, но и от других структурных факторов вагонопотока, имеющих значительно большее влияние на продолжительность реализации данного процесса и не отражаемых в существующей системе учета и анализа работы станции.

Таким образом, для достоверной оценки и определения перерабатывающей способности ресурсов участковой станции при решении задач распределения сортировочной работы на полигоне сети требуется установление дополнительных факторов, влияющих на ход реализации процессов в реальной модели работы участковой станции.

### Список литературы

- 1 Литвинова, И. М. Расчетные нормативы плана формирования грузовых поездов и их влияние на уровень загрузки технических станций / И. М. Литвинова // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 2 (110). – С. 63–71. – EDN QAFHNG.
- 2 Методические рекомендации по организации вагонопотоков на Белорусской железной дороге : утв. приказом № 1294 НЗ от 30.12.2013. – Минск : Бел. ж. д., 2013. – 320 с.
- 3 Оценка распределения эксплуатационной работы по организации вагонопотоков на технических станциях Белорусской железной дороги/ А. Б. Макриденко, Т. В. Пигульгун, В. Г. Кузнецов [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 2 (37). – С. 23–26.

УДК 656.212.05

## СТРУКТУРНОЕ И ВРЕМЕННОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЕЗДНОЙ РАБОТЫ НА ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКАХ

*В. Г. КУЗНЕЦОВ, И. М. ЛИТВИНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Е. Н. ЗАВОДЦОВ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Резервирование в эксплуатационной работе – это способ обеспечения надежности выполнения операций поездной и маневровой работы на железнодорожных станциях и участках за счет увеличения емкости путевой инфраструктуры, использования дополнительных средств и (или) ресурсов сверх минимально необходимых для выполнения потребной транспортной работы и расчетных норм времени на выполнение технологических операций [1].

Резервирование в транспортных системах обеспечивается различными способами [2]. Структурное (элементное) резервирование – метод повышения эксплуатационной надежности станций и участков, предусматривающий использование избыточных элементов, входящих в инфраструктуру или ресурсы подсистемы, которые можно представить как каналы транспортного обслуживания. Временное резервирование – метод повышения эксплуатационной надежности объекта, который предусматривает использование свободного от обслуживания расчетного транспортного потока времени суток, оставшегося после выполнения технологических процессов обслуживания [3]. Временное резервирование обеспечивается при планировании поездной работы на технических станциях или участках, при котором создается резерв рабочего времени, достаточный для выполнения дополнительной транспортной работы.

Наиболее существенным способом структурного резервирования, обеспечивающим устойчивость выполнения технологических процессов в условиях сгущенного поступления транспортного потока на обслуживание или возникновения отказов в использовании путей парков и устройств, является наличие на технических станциях достаточного путевого развития (количество путей и их емкость в вагонах), позволяющего беспрепятственно принимать поезда (составы) в подсистемы технической станции (парки). При этом следует учитывать условия транспортного обслуживания в парках: прием и отправление поездов, структуру поездопотока, затраты времени на обслуживание поездов различных категорий, выполнение операций маневровой работы с вагонами и поездными локомотивами, пропуск пассажирских поездов и т. п. Благодаря резервированию увеличивается пропускная способность станции, ее подсистем (парков, горки, втяжных путей и т. п.), создается необходимый резерв пропускной способности, который может использоваться для регулирования поездной маневровой работы и соответственно снижения потерь в эксплуатационной работе [4, 5].

Например, при обнаружении нарушений, препятствующих выполнению технологических операций с пассажирскими поездами в приемоотправочном парке (ПОП), требующих закрытия пути, структурное резервирование позволяет провести регулировочные меры по приему и отправлению поездов за счет переноса их обслуживания на иные пути ПОП и проработки вариантных маршрутов, с соблюдением норм времени выполнения технологических операций (рисунок 1).