

8 Мишкина, А. А. Построение семейства сценариев использования с целью анализа функциональной безопасности систем управления / А. А. Мишкина, О. М. Кировский, И. А. Мозолин // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Vol. 10, no 5. – P. 81–90.

9 Ефанов, Д. В. Интеграция систем мониторинга инженерных конструкций и сооружений с интеллектуальными транспортными системами / Д. В. Ефанов // Мир дорог. – 2023. – № 155. – С. 74–76.

10 Ефанов, Д. В. Ситуационное управление дорожным движением при интеграции систем мониторинга инженерных конструкций и сооружений с интеллектуальными транспортными системами / Д. В. Ефанов // Дороги Содружества Независимых Государств. – 2023. – № 6 (109). – С. 87–93.

11 Proglib: библиотека программиста / Линейная регрессия на Python. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://proglib.io/p/linear-regression>. – Дата доступа : 10.08.2023.

12 Выбор способа фильтрации диагностических данных в системах непрерывного мониторинга объектов транспортной инфраструктуры / Д. В. Ефанов [и др.] // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 2. – С. 35–40.

13 Filtration of Diagnostic Data for Retrospective Analysis in Health Monitoring Systems of Engineering Structures / D. V. Efanov [et. al.] // Proceedings of 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2020), Varna, Bulgaria, September 4–7, 2020. – P. 189–196. – DOI: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224797.

УДК 656.22.073

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РИСКОВ В ПРОЦЕССАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ

О. В. МЛЯВАЯ

Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги, г. Минск,

В. Г. КУЗНЕЦОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Регулирование движения поездов осуществляется при возникновении недопустимых состояний поездной работы и является необходимым управленческим процессом по обеспечению требований графика движения поездов (ГДП) и эффективности перевозочного процесса. Для решения таких задач используются различные методы и способы диспетчерского управления, технологии формирования и обработки поездов на технических станциях, пропуска поездов по участкам инфраструктуры, которые позволяют оперативно реагировать на изменения в состоянии поездной работы [1].

На процесс движения поездов на железнодорожных участках и в узлах влияют множество факторов (технических, технологических, организационных, природных и др.), вызывающих задержки поездов, несоблюдение ГДП. Поэтому для выбора методов регулирования и эффективных технологических решений может использоваться оценка рисков. Оценка рисков в поездной работе – определение величины (степени) риска возникновения недопустимых значений параметров задержек в движении поездов, приводящих к несоблюдению ГДП и непроизводительным эксплуатационным затратам. Оценка рисков осуществляется с применением количественных и качественных методов оценки.

Параметрическая оценка множества состояний поездной работы на железнодорожных участках (как динамической транспортной системы) состоит в выявлении негативных факторов и недопустимых состояний в соответствии с параметрами, установленными в плане формирования (ПФ) и при моделировании пропуска поездов в ГДП. Для идентификации состояний поездной работы, оценки риска можно использовать технологию обработки больших данных (*Big Data, BD*) [2].

При анализе рисков выполнения поездной работы в соответствии с нормативным ГДП (НГДП) может возникать недостоверная оценка, поэтому необходимо использовать актуальную модель ГДП (АГДП), которая отражает объективные поездные заявки перевозчиков на плановые сутки. НГДП и его адаптация к суточному плану поездной работы в виде АГДП представляют собой целевые модели поездной работы и формируют расписание каждой нитки для заявленного множества грузовых и пассажирских поездов различных категорий. Для повышения качества применения методики анализа рисков нарушения поездной работы при разработке АГДП можно использовать технологию динамического планирования маршрута поезда. Эта технология основана на использовании алгоритмов оптимизации маршрута поезда и позволяет оперативно реагировать на изменения

в состоянии поездной работы. В рамках этой технологии рассчитывается оптимальный маршрут поезда по станциям участка с учетом прогнозной ситуации по формированию и отправлению поездов с технических станций и параметров заявленных и сформированных поездов. Такая модель построения АГДП позволяет эффективнее использовать инфраструктуру (технические станции и участки), получить достоверные целевые показатели и оценку рисков невыполнения ГДП в плановые сутки.

Оценка возможного ущерба и выбор мер регулирования поездной работы на участках при выходе ее из допустимого состояния производится на основе параметров, характеризующих затраты на движение каждого поезда и всей совокупности поездов за сутки или период регулирования.

Например, для общей оценки графика движения поездов можно использовать коэффициент задержек, который вычисляется по формуле

$$k_3^{\text{ГДП}} = \frac{\sum T_{\text{пзj}} - \sum T_j}{\sum T_j}, \quad (1)$$

где $T_{\text{пзj}}$ – время нахождения в пути -го поезда с учетом задержек на маршруте следования; T_j – время нахождения поезда в пути на маршруте следования в соответствии с ГДП (НГДП или АГДП).

Другой параметр – коэффициент снижения эффективности пропуска поездов в ГДП –

$$k_{\text{пр}}^{\text{ГДП}} = \frac{\sum T_j}{\sum T_j + \sum T_{\text{д.з.}j}}, \quad (2)$$

где $\sum T_{\text{д.з.}j}$ – дополнительные затраты времени нахождения j -го поезда на маршруте следования при наличии различных видов нарушений в движении (сбоев).

Кроме того, могут использоваться и другие параметры, например, количество дополнительных задержек поездов на участке, количество задержек отправления поездов с технических станций, количество задержек поездов по приему поездов на технические станции, количество отмен ниток графика движения поездов, среднее время задержек в движении поездов, длительность нарушений (сбоев), вызывающих задержки поездов, и т. д. Все эти параметры могут быть использованы для сравнения состояний поездной работы в нормальном состоянии (в соответствии с ГДП) и при возникновении нарушений (сбоев), а также последующей оценке эффективности мер оперативного регулирования. Эти параметры могут быть использованы и как исходные параметры моделирования поездной работы при выборе способов регулирования и построения ГДП при нарушении движения поездов на железнодорожном полигоне с минимизацией рисков недопустимых задержек поездов [3].

Технические и технологические риски в системе поездной работы можно выразить через параметры суммарных временных затрат при возникновении отказов, сбоев, нарушений в движении поездов на железнодорожном полигоне, а также срывов ниток в ГДП. Отказ технических средств на железнодорожном участке может быть представлен в модели поездной работы через вероятность отказа, интенсивность и плотность потока отказов, вызвавших нарушение ГДП. Сбой в движении поездов представляет собой нарушение параметров в пропуске поездов и возникновение дополнительных задержек поездов на участке. Задержки поездов характеризуются дополнительными затратами времени нахождения поездов на участке, вероятностью задержек поездов и несоблюдения установленных норм нахождения поезда в пути и стоянок на станциях. Срыв ниток в ГДП представляет собой отмену отправления поездов, несоблюдение параметров нитки ГДП, потребность занятия поездами иной нитки (дополнительной нитки) для его пропуска по участку.

Технические риски связаны с возможными отказами (разных видов) технических систем и объектов (устройств), используемых при движении поездов, таких как сигнализация, связь, путь, подвижной состав и др. Технические риски можно охарактеризовать с помощью зависимости

$$k_{\text{т.к}}^{\text{ГДП}} = \frac{\sum T_{\text{и.о.}j}^{\text{т.к}} - \sum T_{\text{у.о.}j}^{\text{т.к}} + \sum T_{\text{пер}j}^{\text{т.к}}}{\sum T_i}, \quad (3)$$

где $T_{\text{и.о.}j}^{\text{т.к}}$ – дополнительные затраты времени нахождения -го поезда на маршруте следования за время идентификации отказа объектов устройств технического комплекса и подвижного состава; (технических сбоев); $T_{\text{у.о.}j}^{\text{т.к}}$ – дополнительные затраты времени нахождения j -го поезда на маршруте следования

за время устранения отказа; $T_{\text{рег}j}^{\text{т.к}}$ – дополнительные затраты времени нахождения j -го поезда на маршруте следования в период оперативного регулирования по восстановлению движения в ГДП.

Технологические риски связаны с возможными задержками в пропуске поездов, вызванными нарушениями технологических процессов и управления поездной работой на станциях и участках, таких как занятие горловины станции составом поезда, несоблюдение тяговых режимов движения поездов, нахождение в фидерной зоне тяговых подстанций поездов с превышением допустимой суммарной массы, несоблюдение регламента отправления, пропуска и приема поездов на станциях участка и т. д. Технологические риски могут быть охарактеризованы зависимостью

$$k_{\text{т.о}}^{\text{гдп}} = \frac{\sum T_{\text{и.о.}j}^{\text{т.о}} - \sum T_{\text{у.о.}j}^{\text{т.о}} + \sum T_{\text{рег}j}^{\text{т.о}}}{\sum T_i}, \quad (4)$$

где $T_{\text{и.о.}j}^{\text{т.о}}$ – дополнительные затраты времени нахождения j -го поезда на маршруте следования за время идентификации нарушения технологии поездной работы (технологических сбоев); $T_{\text{у.о.}j}^{\text{т.о}}$ – дополнительные затраты времени нахождения j -го поезда на маршруте следования за время устранения отказа; $T_{\text{рег}j}^{\text{т.о}}$ – дополнительные затраты времени нахождения j -го поезда на маршруте следования в период оперативного регулирования по восстановлению движения в ГДП.

Величина задержек поездов в технологических системах (системах массового обслуживания) зависит от нагрузки на систему [1, 4] – числа поездов (с учетом категорий поездов и их параметров в соответствии с ПФ и ГДП), использования пропускной способности, ниток ГДП. При этом следует учитывать два возможных предельных состояния ГДП: 1) организация поездной работы в условиях насыщенного ГДП при прокладке максимально возможного числа поездов исходя из пропускных способностей; 2) организация поездной работы под максимально возможные размеры движения поездов, заявленные перевозчиками. Во втором случае резерв ГДП выше, что создает условия для более эффективного оперативного регулирования поездной работы. Применение АГДП позволяет увеличить такой резерв и соответственно повысить эффективность мер оперативного регулирования диспетчерским персоналом.

Например, риск заполнения ГДП связан максимальным использованием ниток, предусмотренных в ГДП (НГДП или АГДП) для организации поездной работы в соответствии со сменно-суточным планом (ССП), и отсутствием возможности назначения новых ниток для пропуска дополнительно заявленных поездов. Этот риск может привести к невыполнению СПП поездной работы, увеличению риска задержек поездов в пути (в силу увеличения плотности транспортного потока), увеличению технологического и технического рисков, что характеризуется зависимостями (1)–(4). Поэтому при управлении транспортным потоком и оптимизации работы железнодорожных линий необходимо учитывать принципы минимизации возможных рисков.

Состояние поездной работы изменяется в течение суток в силу разных причин и прежде всего неравномерности движения поездов различных категорий в течение суток. В этом случае для оценки возможных рисков нарушения поездной работы необходимо устанавливать и контролировать такие параметры транспортного потока на железнодорожных участках, как плотность и интенсивность потока поездов, коэффициент насыщенности участка поездами и ряд других [4].

Мониторинг плотности расположения поездов на железнодорожном участке позволяет давать текущую оценку состояния в поездной работе:

$$\rho_{\text{уч}}(t) = \frac{N(t)_{\text{уч}}}{L_{\text{уч}}}, \quad (5)$$

где $N(t)_{\text{уч}}$ – число поездов, одновременно находящихся на железнодорожном участке; $L_{\text{уч}}$ – длина железнодорожного участка.

Мониторинг интенсивности движения поездов может проводиться через параметры интенсивности отправления поездов с технических станций и интенсивности подвода поездов на технические станции:

$$\lambda_{\text{тс}}^{\text{отпр}}(t) = \frac{N_{\text{тс}}^{\text{отпр}}(t)}{T_i}, \quad \lambda_{\text{тс}}^{\text{подв}}(t) = \frac{N_{\text{тс}}^{\text{подв}}(t)}{T_i}, \quad (6)$$

где $N_{\text{тс}}^{\text{отпр}}(t)$, $N_{\text{тс}}^{\text{подв}}(t)$ – соответственно количество поездов, отправленных с технической станции за промежуток времени T_i и количество поездов, подведенных с участка на техническую станцию за период T_i . Период T_i выбирается исходя из загрузки участка в диапазоне $T_i = 1 \dots 4$ ч.

Мониторинг коэффициента насыщенности железнодорожного участка поездами позволяет оценить количество поездов, находящихся на участке на любой момент времени:

$$N(t_i)_{\text{уч}} = \frac{T_{\text{п}}^{\text{уч}}(t)}{I_{\text{п}}^{\text{отпр}}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{п}}^{\text{уч}}(t)$ – затраты времени на нахождение поезда на участке; $I_{\text{п}}^{\text{отпр}}$ – интервал времени между поездами, поступающими на участок.

Риск перехода к насыщению графика движения поездами связан с достижением максимальной плотности движения на участке и отсутствием возможности ввода дополнительных ниток поездов в расписание.

Для оценки риска нарушения поездной работы на участке могут быть использованы различные классические методы математического и имитационного моделирования потока поездов, анализа расписания движения поездов с использованием методов теории очередей, уравнений баланса числа поездов на участке и т. д. Такие методы позволяют выявить возможные состояния поездной работы и варианты диспетчерского регулирования движения поездов в соответствии с параметрами НГДП и АКГДП и ССП.

Список литературы

- 1 Каретников, А. Д. График движения поездов: [монография] / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1979. – 301 с.
- 2 Ковшик, А.А. Выбор методов и средств для обработки больших данных в сфере электронного обучения / А. А. Ковшик, С. Г. Самохвалова // Весник АмГУ. – 2020. – № 89. – С. 32–35.
- 3 Жарков, М. Л. Моделирование работы станций и участков железнодорожной сети на основе изучения отклонений от графика движения / М. Л. Жарков, П. А. Парсюков, А. Л. Казаков // Весник ИрГТУ. – 2014. – № 6 (89). – С. 23–31.
- 4 Левин, Д. Ю. Оптимизация потоков поездов / Д. Ю. Левин. – М. : Транспорт, 1988. – 175 с.

УДК 656.064

ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Повышение уровня безопасности функционирования железнодорожных станций требует создания инновационных систем закрепления и удержания подвижного состава в парках железнодорожных станций. Особую остроту эта задача имеет для парков станций, расположенных на уклонах 1–2 ‰ [1]. Такое обстоятельство связано с существенным изменением физико-технических параметров подвижного состава и сокращением основного удельного сопротивления движению вагонов, практически неизменными на протяжении длительного времени нормативными требованиями к параметрам продольного профиля путей парков железнодорожных станций, их содержанию [2, 3].

Для повышения уровня безопасности закрепления и удержания вагонов на путях железнодорожных станций используются разнообразные механические устройства, также разработан ряд новых, основанных на различных принципах действия [1]. К новым и перспективным устройствам закрепления подвижного состава на станционных путях относятся, в частности, «ЗУБР» и «БЗУ-ДУ-СП2(1)К», разработанные Межгосударственным концерном «Трансмаш», комплекс технических средств автоматизированного закрепления составов (НПП «Промэлектроника», РФ). Удерживающее весовое устройство «УВУ» разработано Молодечненским электромеханическим заводом (г. Молодечно, Республика Беларусь). Эти устройства в настоящее время проходят апробирование и применяются на станциях Белорусской железной дороги и холдинга «РЖД». Одновременно с развитием технических средств