

ванные системы доставки для оптимизации и планирования логистической и транспортной деятельности через более централизованные пункты доставки посылок.

С точки зрения розничного продавца конвейер данных может свести к минимуму риск своевременного уведомления о каких-либо форс-мажорных ситуациях в процессе доставки. Ритейлер автоматически получит информацию об отказе от доставки, что позволит ему немедленно вмешаться и обеспечить свои последующие права в отношении перевозчика. Это будет способствовать заинтересованности розничного рынка в присоединении к системе передачи данных.

В заключение можно сказать, что проблема «последней мили», действительно, очень широко рассматривается в компаниях. Исследуются вопросы ее оптимизации, уменьшения рисков и затрат. Вышеперечисленные способы повышения безопасности рассматриваемого этапа – лишь малая часть исследований в этой области.

#### Список литературы

- 1 Палагин, Ю. И. Транспортная логистика и мультимодальные перевозки. Технологии, оптимизация, управление : учеб. пособие / Ю. И. Палагин. – СПб. : Политехника, 2015. – 266 с.
- 2 Verheyen, W. Enhancing safety in B2C delivery chains / W. Verheyen, M. K. Kolacz // Transport Policy. – 2022. – Vol. 117. – P. 12–22.
- 3 Sustainable last mile delivery on e-commerce market in cities from the perspective of various stakeholders. Literature review / M. Kiba-Janiak [et al.] // Sustainable Cities and Society. – 2021. – Vol. 71. – 102984.
- 4 Афанасенко, И. Д. Цифровая логистика : учеб. для вузов / И. Д. Афанасенко, В. В. Борисова. – СПб. : Питер, 2019. – 272 с.
- 5 Якунина, Ю. С. Логистика «последней мили» доставки товара: европейский опыт / Ю. С. Якунина, А. И. Ухова // Современные технологии: тенденции и перспективы развития, 2021. – С. 64–69.

УДК 656.222

## НАДЕЖНОСТЬ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

*О. В. МЛЯВАЯ*

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

*В. Г. КУЗНЕЦОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Совершенствование системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте в условиях развития международных товарно-транспортных рынков должно обязательно учитывать основные требования логистических подходов и риски, которые возникают при перевозке грузов и пассажиров. В системе организации движения грузовых поездов логистические требования можно сформулировать как соблюдение сроков доставки грузов, перемещения вагонов в соответствии с условиями их перевозки, заявленными потребителями услуг и обеспеченными всеми участниками перевозочного процесса.

Свойство надежности в перевозочном процессе можно рассматривать как способность выполнять задачи перевозки в существующих условиях эксплуатации железнодорожного транспорта. В этом случае надежность является фактором, который влияет на логистические показатели транспортной деятельности железной дороги [1, 2].

Система управление поездной работой является подсистемой перевозочного процесса и выполняет ответственные технологические процессы по организации движения поездов в железнодорожной сети от станций формирования до станций расформирования.

Организационно-технологической основой системы организации движения поездов являются в план формирования (ПФ) грузовых поездов и график движения поездов (ГДП), которые определяют возможности по доставке грузов, перемещению вагонов в организованных грузоотправителями, операторами подвижного состава, перевозчиками в грузовых поездах на участках инфраструктуры железных дорог от станций образования грузопотока (вагонопотока) до станций погашения грузопотока (вагонопотока). Сложность поездной работы на железнодорожных участках (узлах) заключается во множестве поездов различных категорий, которые необходимо упорядочить в соответствии с установленными требованиями и приоритетами.

График движения поездов (ГДП) как модель представляет собой совокупность грузовых и пассажирских поездов различных категорий, которые запланированы в виде ниток графика (траекторий следования) и имеют пространственно-временную идентификацию в течение суток и по каждому объекту учета (раздельные пункты) железнодорожного участка, узла [3, 4].

ГДП на железнодорожном участке (узле) является технологической подсистемой перевозочного процесса и требует технологического взаимодействия с иными связанными с поездной работой подсистемами: технологической увязки расписаний грузовых поездов со станционной технологией; технологической увязки ГДП смежных участков железной дороги, организации эксплуатации поездных локомотивов и работы локомотивных бригад, технологией технического и коммерческого осмотра, выполнением ремонтно-профилактических и иных работ на инфраструктуре и др. Реализация ГДП осуществляется посредством системы диспетчерского управления, которая осуществляет процессы планирования, оперативного контроля и регулирования поездной работы. Основой процесса диспетчерского управления является контроль параметров ГДП, осуществления процессов на станциях с поездами, оценки состояния поездной работы, в том числе и состояний отказов (сбоя) поездной работы и принятия мер регулирования, направленных на минимизацию потерь в поездной работе, отклонений от расчетного режима движения поездов, эффективного использования ресурсов для восстановления нормативного движения поездов [5].

Важнейшими характеристиками ГДП являются:

- размеры движения поездов, установленные в ГДП, с учетом структуры грузовых и пассажирских поездов, планируемых к перемещению на железнодорожном участке в соответствии с планом формирования поездов; ГДП должен быть адаптирован к тенденциям изменения спроса на перевозки, обладать резервированием ниток ГДП, резервированием времени движения поезда по элементам участка (перегонам), резервом свободного времени в ГДП для восстановления движения поездов в случае возникновения сбоев в движении;

- качество составления графика движения поездов всех категорий, позволяющее эффективно использовать инфраструктуру участка (путевую, средства сигнализации и связи, энергоснабжения) и тяговый подвижной состав, осуществлять рациональные способы прокладки поездов; параметрически качество построения ГДП может быть оценено через различные виды скоростей движения;

- надежность выполнения ГДП, связанная с надежностью инфраструктуры, подвижного состава, системы диспетчерского управления поездов и иных факторов, которые могут привести к отказам (сбоям) в движении поездов.

Поездообразование на станциях формирования поездов осуществляется как под нитки постоянного расписания, так и под нитки свободного расписания ГДП. Стохастичность процесса поездообразования может приводить к несовпадению времени образования поезда на технической станции и времени нитки ГДП, что приводит к снижению надежности перевозочного процесса, неэффективности использования объектов инфраструктуры и подвижного состава.

Надежность ГДП на железнодорожном участке, ограниченном двумя техническими станциями, следует рассматривать как вероятность обеспечения отправления грузовых поездов с технических станций на участок, а также вероятность соблюдения времени по проследованию на участке до следующей технической станции.

Система руководства движением поездов позволяет при возможных отказах (сбоях) устранить нарушения движения поездов и как можно быстрее восстановить движение по графику.

Критерием оценки качества выполнения графика является отправление или проследование поездов по расписанию (в процентах) [6]. Процент отправления или проследования поездов по расписанию ( $\alpha$ ) определяется по формуле

$$\alpha = (N_{o.p.}/N_{общ}) \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $N_{o.p.}$  – количество отправок (проследований) по расписанию за сутки;  $N_{общ}$  – общее количество отправок (проследований) за тот же период.

Надежность системы управления движением поездов можно рассматривать по следующим процессам:

- отправление с технической станции;
- проследование по перегонам;
- проследование по промежуточным станциям;
- прибытие на техническую станцию.

Надежность системы управления движением поездов обеспечивается техническим состоянием объектов инфраструктуры, технологий поездной работы, системой оперативного контроля и регулирования движения поездов.

Для оценки надежности подсистемы поездной работы устанавливается состояние и предельное состояние как функция времени. Предельное состояние, соответствующее технической невозможности эксплуатации объектов инфраструктуры, подвижного состава на участке, обусловлено как требованиями безопасности из-за их отказов, так и неустраняемым снижением эффективности. Возникновение отказов приводит к снижению работоспособности подсистемы поездной работы. Работоспособное состояние подсистемы поездной работы – состояние подсистемы поездной работы, при котором значения параметров (показателей) качества поездной работы соответствуют нормативам, установленным ГДП. Неработоспособное состояние подсистемы поездной работы – состояние поездной работы, при котором значения параметров (показателей) качества поездной работы не соответствуют нормам, установленным ГДП [1, 2].

Комплексное изучение вопросов надежности поездной работы позволяет: установить закономерности возникновения отказов и восстановления работоспособности; рассмотреть влияние внешних и внутренних факторов на работу отдельных объектов системы управления движением поездов; разработать методы оценки надежности с учетом специфики работы системы управления движением поездов; изыскать способы повышения надежности на этапах жизненного цикла объектов инфраструктуры и подвижного состава в поездной работе.

Единая технология перевозочного процесса (ЕТПП) на железнодорожных полигонах большой размерности предъявляет новые требования к уровню надежности технических средств, подвижного состава и оценки всех видов рисков, которые возникают в их подсистемах. Цена любого сбоя, нештатной ситуации, отказа в процессе реализации поездной работы на участке (узле) при невозможности его локализации в пределах объекта управления (участка, узла) возрастает по причине появления рисков нарушения перевозочного процесса в целом, доставки грузов.

Управление рисками в подсистеме поездной работы можно рассматривать как процесс принятия и выполнения управленческих решений, направленных на снижение вероятности возникновения неблагоприятного результата при возникновении отказов (сбоев) в поездной работе и минимизацию возможных потерь, связанных с переходом подсистемы поездной работы в неработоспособное состояние.

Показатель риска потерь в поездной работе – вероятность эксплуатационных потерь при реализации процессов поездной работы за расчетное время вследствие возникновения неработоспособного состояния поездной работы. Показатель риска экономического ущерба в поездной работе – вероятность экономического ущерба при реализации процессов поездной работы за расчетное время вследствие перехода подсистемы в неработоспособное состояние.

Система управления рисками в организации поездной работы на участках (узлах) включает две стадии: разработку нормативного ГДП, учитывающего состояние объектов инфраструктуры и подвижного состава в планируемом расчетном периоде (год, месяц), и оперативное управление поездной работой в текущих условиях эксплуатационной работы (оперативное планирование и диспетчерское регулирование).

Система управления движением поездов является сложной, и возникновение нежелательных событий может приводить и возникновению иных видов риска: социального, экологического, технического и экономического, либо их сочетанию. Так, при отказах технических средств объектов инфраструктуры могут пострадать окружающее население (социальный риск), подвижной состав и инфраструктура (технический риск), имущество (экономический риск), а также может произойти загрязнение окружающей среды (экологический риск). При реализации системы управления рисками на начальном этапе проводится идентификация всех возможных опасностей, как правило, с использованием экспертных методов. Далее формируется перечень рисков и задаются их приемлемые уровни на основе действующих нормативных документов или статистических данных о частоте нежелательных (опасных, неопасных) событий и причиненном ими ущербе за расчетный период.

Выполнение основных условий – возможности проявления нежелательного события и восприимчивости поездной работы к его влиянию – является достаточным основанием для признания факта существования риска. При этом риск расценивают как сочетание вероятности возникновения нежелательного события и его вероятных последствий. Неконтролируемые риски могут приводить к незапланированным эксплуатационным расходам, причинению вреда людям, окружающей среде, имуществу и другим негативным последствиям.

При построении математических моделей анализа надежности системы управления движением поездов [3] оценка производится по следующим основным показателям: вероятность безотказной работы системы в течение периода эксплуатации  $P(t)$  и коэффициент технического использования  $k_T$ , определяемый отношением среднего времени работы до отказа  $T_o$ , среднего времени восстановления работоспособности и среднего времени выполнения профилактических работ.

При разработке графика движения поездов, составляемого на максимальные размеры движения, когда отклонения от расписаний движения могут быть компенсированы избыточными основными и резервными «нитками» графика, можно ввести обобщенный показатель, характеризующий уровень качества выполнения поездной работы, так называемый «коэффициент технологического использования графика» (по аналогии с коэффициентом технического использования в теории надежности), который определяется по формуле [3]

$$k_T = \frac{T_o}{T_o + t_{сб} + t_{пер}}, \quad (2)$$

где  $t_{сб}$  – средняя продолжительность задержки одного опоздавшего поезда в пределах участка;  $t_{пер}$  – средняя продолжительность плановых перерывов движения, приходящихся на один поезд.

Существующий показатель «процент выполнения графика движения поездов» можно интерпретировать применительно к теории надежности как вероятность безотказной работы системы в течение периода  $t$ , т. е.

$$P(t) = \frac{N - N_o}{N}, \quad (3)$$

где  $N$  – общее число грузовых поездов, проследовавших по участку;  $N_o$  – число поездов за сутки, проследовавших по участку с нарушением графика.

Объединяя два показателя  $k_T$  и  $P(t)$  в виде их произведения, получают обобщенный коэффициент, характеризующий уровень использования графика движения поездов в условиях оперативной эксплуатации технологической системы и ее надежность в части регламента продвижения поездов:

$$k_{ТО} = k_T P(t) = \frac{24(N - N_o)}{(24 + t_{сб} N_o) N}. \quad (4)$$

Обобщенный коэффициент технологического использования графика движения поездов более комплексно отражает качество исполненного движения, так как в данной формуле учитывается и число опоздавших поездов, и общее время их опоздания.

Поскольку процесс управления рисками находится в непосредственной связи с управлением эксплуатационными расходами и учитывает случайный характер последствий отказов, то качество системы управления поездной работой возможно оценивать с позиции рисков. Объективная оценка их величины с учетом мониторинга фактического состояния объектов инфраструктуры участка, подвижного состава и их изменения во времени дает возможность принимать решение о той или иной стратегии и вида технического обслуживания и текущего ремонта, проведении капитального ремонта или модернизации, либо обосновать возможность продления срока службы системы на определенный период, в течение которого риск не достигнет недопустимых значений. Такой подход позволяет оптимизировать ресурсы на обеспечение и реализацию поездной работы на участках (узлах) в соответствии с общими требованиями ЕТПП.

#### Список литературы

- 1 Грунтов, П. С. Эксплуатационная надежность станций / П. С. Грунтов. – М. : Транспорт, 1986. – 247 с.
- 2 Лисенков, В. М. Статическая теория безопасности движения поездов : учеб. для вузов / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.
- 3 Каретников, А. Д. График движения поездов / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – М. : Транспорт, 1979. – 302 с.
- 4 Редько, Л. А. Разработка графика движения поездов : учеб.-метод. пособие / Л. А. Редько, И. М. Ермак. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 105 с.
- 5 Учет выполнения графика движения грузовых поездов / Г. А. Кузнецов [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3. – С. 20–25.
- 6 Инструкция о порядке учета выполнения графика движения поездов на Белорусской железной дороге : утв. Приказом начальника Белорусской железной дороги 17Н от 19.01.2018.
- 7 Фёдоров, Е. А. Методические подходы к проведению комплексного анализа системы организации движения поездов при реализации процессной модели следования поездов по назначениям плана формирования / Е. А. Федоров // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1 (38). – С. 86–89.