

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

совершенствуется методика расчета основных параметров систем закрепления подвижного состава. В данном исследовании авторами предлагается использование логико-вероятностных моделей для расчета систем безопасности на железнодорожных станциях.

Для определения объемов капитальных вложений в закупку и выполнение строительно-монтажных работ по установке удерживающих устройств на путях парков станций необходимо надежно оценивать требуемую величину удерживающего усилия в фактических условиях нахождения подвижного состава с учетом действия различных факторов и парирования возможных рисков нарушения условий безопасности перевозочного процесса.

Удерживающее усилие  $F_{уд}$  должно быть не менее величины и противоположно по направлению движущей силы  $F_{дв}$ , которая создается силой тяжести состава  $F_T = Q_{бр}g$  с учетом тангенциальной поправки, находящегося на уклоне  $i_{спр}$  при противодействии сил сопротивления движению  $F_{сопр} = wQ_{бр}g$ . В этом случае удерживающее усилие  $F_{уд} \geq F_{дв} - F_{сопр}$ , кН. На основе полученного вывода

$$\bar{F}_{уд} \geq Q_{бр}g \left( i_{спр} - \bar{w} \left[ \cos(\arctg i_{спр}) (1 + i_{спр}^2) \right] \right) \cdot 10^{-3}, \text{ или с достаточной точностью } \bar{F}_{уд} \geq Q_{бр}g' (i_{спр} - \bar{w}) \cdot 10^{-3},$$

где  $g'$  – коэффициент, характеризующий изменение кинетической энергии состава (группы вагонов) с учетом инерции вращающихся их частей (колес), т. е. поправка на инерционность, м/с<sup>2</sup>;  
 $\bar{w}$  – математическое ожидание суммарного сопротивления движению состава на пути, Н/кН;

$$\bar{w} = \bar{w}_{тр} + \bar{w}_o + \bar{w}_{кр} \pm \bar{w}_{св} + w_{си},$$

где  $\bar{w}_{тр}$ ,  $\bar{w}_o$ ,  $\bar{w}_{кр}$ ,  $\bar{w}_{св}$ ,  $w_{си}$  – соответственно математическое ожидание удельного сопротивления движению при трогании с места, основного удельного сопротивления, от воздушной среды и ветра, кривых участков пути, снега и инея. Расчетные выражения для определения этих сопротивлений были предложены и уточнялись в различные периоды: в 1930-х (А. Н. Фролов, Б. В. Бецманов) и начале 1950-х годов (И. И. Страковский), в 1970–1980-х годах (Е. А. Сотников, И. П. Старшов, В. П. Волков, Ю. А. Муха, А. И. Павловский и др.), когда были разработаны основные положения, применяемые до сих пор. Как отмечалось выше, с учетом улучшения ходовых качеств вагонов, увеличения их грузоподъемности, осевой нагрузки, геометрических параметров, формирования парка «инновационных» грузовых вагонов актуальность пересмотра удельных сопротивлений значительно возросла. В [3] отмечается, что доля вагонов тяжелой весовой категории с основным удельным сопротивлением менее 0,5 н/кН при проведении экспериментов в современных условиях работы станций составила около 40 %. Систематизация результатов экспериментальных работ по определению коэффициентов воздушного сопротивления вагонов и соответственно удельного сопротивления движению от воздушной среды и ветра показала, что наибольшим аэродинамическим сопротивлениям «с» и, следовательно, самопроизвольному сдвигу на станционных путях от ветровой нагрузки подвержены платформы, груженные контейнерами, и 8-осные полувагоны (в группе) в широком диапазоне углов обдувки ветром (0–62° в первом и 0–51° – во втором случае), а не вагоны-хопперы.

В самых неблагоприятных условиях для удержания состава на парковых путях станций, когда попутный ветер создает дополнительную движущую силу  $f_{св}$ , способствующую сдвигу вагонов с места во время стоянки и их движению, т. к. сопротивление  $\bar{w}_{св}$  принимается со знаком «←» ( $\bar{w}_{св} < 0$ ) и  $w_{си} = \bar{w}_{кр} = 0$ , выражение для определения удерживающего усилия примет вид

$$\bar{F}_{уд} \geq Q_{бр}g' \left( (i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} \right) \cdot 10^{-3}, \text{ где } \bar{f}_{св} = cv_p^2 / q = 17,8 \left( C_{x1} S_1 + \sum_{j=2}^n C_{xj} S_j \right) v_p^2 / \left( (273 + t_p) \sum_{j=1}^n q_j \right); \bar{w} = \bar{w}_{тр} + \bar{w}_o.$$

С учетом вероятностного характера сил сопротивления движению и изменяющихся условий

$$F_{уд} \geq \bar{F}_{уд} + t_\beta \sigma_w, \text{ или } F_{уд} \geq Q_{бр}g' \left( (i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + t_\beta \sigma_w \right) \cdot 10^{-3},$$

где  $t_\beta$  – параметр доверительной вероятности;  $\sigma_w$  – среднеквадратическое отклонение суммарного сопротивления движению состава относительно величины  $\bar{w}$ ,

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{w_o}^2 + \sigma_{w_{тр}}^2 + \sigma_{w_{кр}}^2 + \sigma_{f_{св}}^2} \text{ при } \sigma_{wj} = \gamma_j \bar{w}_j,$$

$\sigma_{w_o}$ ,  $\sigma_{w_{тр}}$ ,  $\sigma_{w_{кр}}$ ,  $\sigma_{f_{св}}$  – среднеквадратическое отклонение соответственно основного удельного сопротивления, сопротивления при трогании вагонов с места, от кривых участков пути и удельной движущей

силы от ветровой нагрузки, Н/кН;  $\gamma_j$  – коэффициент вариации величины удельных сил сопротивления движению вагонов. Принимается  $\gamma_{очн} = \gamma_{кр} = 0,1$ ;  $\gamma_{тр} = 0,15$ ;  $\gamma_{св} = 0,3$ .

Для удержания состава с риском самопроизвольного ухода вагонов близким к нулю (уровень доверительной вероятности  $p = 0,997$ )

$$F_{уд} \geq Q_{бр} g'((i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + 3\sigma_w) \cdot 10^{-3},$$

а при уровне риска, равном 0,05 (уровень доверительной вероятности  $p = 0,95$ ),

$$F_{уд} \geq Q_{бр} g'((i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + 1,65\sigma_w) \cdot 10^{-3}.$$

Количество устройств для закрепления и удержания состава на парковых путях определяется как

$$K_3 \geq \frac{Q_{бр} g'((i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + t_\beta \sigma_w) \cdot 10^{-3}}{F_{уд}^{устр} - t_\beta \sigma_{уд}},$$

где  $\sigma_{уд}$  – среднеквадратическое отклонение усилия удержания устройства («ЗУБР», «УВУ» и др.) относительно его номинальной величины  $F_{уд}^{устр}$ , Н (тс).

Выполненные расчеты для реальных станций показали, что приведенная методика оценки параметров устройств и автоматизированных систем закрепления и удержания подвижного состава в парках железнодорожных станций на основе логико-вероятностных методов расчета позволяет надежно определять требуемое удерживающее усилие с учетом действия различных факторов и фактических условий нахождения подвижного состава на станционных путях.

#### Список литературы

- 1 Негрей, В. Я. Логико-вероятностные модели расчета систем безопасности на железнодорожных станциях / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. Л. А. Баранова. – М. : РУТ (МИИТ), 2023. – С. 600–606.
- 2 Смирнов, В. И. О равновесном уклоне станционного профиля / В. И. Смирнов, С. А. Видюшенко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2020. – Т. 17. – Вып. 4. – С. 575–582.
- 3 Бессоненко, С. А. Исследование основного удельного сопротивления движению отцепов при скатывании с сортировочной горки на основе натурных наблюдений / С. А. Бессоненко, А. А. Гунбин, А. А. Климов // Вестник Сибирского гос. ун-та путей сообщения. – 2022. – № 4 (63). – С. 62–68.

УДК 656.225.073

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Система организации движения грузовых поездов оказывает существенное влияние на энергетическую эффективность перевозочного процесса.

Наиболее известны системы: ОПГС – отправление поездов по готовности (полновесные или полносоставные); ГДРЯ – по графику движения поездов с выделением расписаний для регулярного ядра; ГДРР – по графику движения поездов с равноправными расписаниями; СИРП (ИРДП) – на основе системы интервального регулирования (для двухпутных линий); ГДПР – регулярное движение поездов на основе расписаний.

Каждая из указанных систем имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому поиск наиболее эффективной системы взаимодействия железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава является важной задачей, особенно в условиях рыночных отношений.

Принципиальная схема расчета качественных показателей различных систем организации движения поездов на направлении показана на рисунке 1.