

При срыве стоп-крана, экстренном торможении и других опасных ситуациях, требующих снижения скорости, прямые потери энергии

$$R = 4,17(m_{л} + m_{с})(v_1^2 - v_2^2) \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где $m_{л}$ – масса локомотива, т; $m_{с}$ – масса состава т; v_1, v_2 – скорости в начале и в конце торможения соответственно, км/ч.

Экстренное торможение вызывает, по сравнению со срывом стоп-крана, гораздо бóльшие затраты энергии.

Количество срывов стоп-крана на случай экстренного торможения носит вероятностный характер [3] и с достаточной для практики расчетов точностью описывается нормальным законом распределения

$$P(Z) = \frac{1}{\sigma_Z \sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(Z - \bar{Z})^2}{2\sigma_Z^2}, \quad (2)$$

где Z – количество срывов стоп-крана или случаев экстренного торможения; \bar{Z} – математическое ожидание количества срывов или экстренного торможения; σ_Z – среднеквадратическое отклонение случайной величины Z .

При высоком уровне количества срывов или экстренного торможения прямые потери топлива

$$B^{\max} = \bar{B} + 3\sigma_T, \quad (3)$$

где \bar{B} – математическое ожидание прямых потерь топлива (энергии) в течение года; σ_T – среднеквадратическое отклонение потерь топлива (энергии),

$$\sigma_T = \beta \sqrt{\lambda_Z L_c}, \quad (4)$$

где β – коэффициент, учитывающий влияние системы управления на количество опасных случаев ($\beta = 0,6 \dots 0,7$); L_c – длина эксплуатируемой сети железной дороги, км; λ_Z – интенсивность опасных случаев (срыв стоп-крана или экстренное торможение), ед./км.

Для средних условий, например, количество срыва стоп-крана $\lambda_{ск} = 0,12 \dots 0,17$ ед./км.

Если $L_c = 5500$ км, км, а $\lambda_{ск} = 0,15$, то

$$\sigma_c = 0,7 \sqrt{0,15 \cdot 5500} = 20,1.$$

Срыв стоп-крана вызывает потери топлива (средние условия) 15–20 кг. Для анализируемого в статье полигона сети $\bar{B}_{ск} = 13035$ кг, а $B^{\max} = 13035 + 3 \cdot 20,1 \cdot 15,8 = 13988$ кг ≈ 14 т.

Таким образом, используя приведённые в статье методики можно получить оценку энергетических потерь при различных опасных случаях, повысить энергоэффективность и безопасность перевозочного процесса.

Список литературы

1 Негрей, В. Я. Энергоэффективность перевозочного процесса / В. Я. Негрей // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ. – 2019. – С. 29–32.

2 Негрей, В. Я. Логико-вероятностный метод в оценке безопасности транспортных систем / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 48–49.

3 Винтцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Винтцель. – М. : Советское радио, 1972. – 552 с.

УДК 656.212.5.08

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время в БелГУТе по заказу ГО «Белорусская железная дорога» завершается разработка и согласование проекта нормативного технического документа СТП «Правила и нормы про-

ектирования сортировочных устройств на Белорусской железной дороге». Данный документ разрабатывается впервые в Республике Беларусь. Он призван заменить действующие в настоящее время нормы ВСН-207-89 МПС СССР (1992 г.), разработанные еще в советское время.

Разработка новых правил и норм велась в течение длительного периода. Они направлены на формирование технической политики, современных правил, норм и требований в области проектирования сортировочных горок и других сортировочных устройств колеи 1520 мм на железнодорожных станциях, обновление и модернизацию горочных сортировочных комплексов, повышение безопасности и эффективности их функционирования. Анализ содержательной части основных регламентирующих документов в области проектирования сортировочных устройств показывает, что в них сохранены важнейшие концепции, принятые в ВСН 207-89.

1 *Высота сортировочной горки* определяется по условию докатывания легковесных одиночных отцепов до расчетной точки «трудного» по уровню работы удельных сил сопротивления движению пути сортировочного парка при неблагоприятных климатических условиях роспуска (встречный ветер, отрицательная температура наружного воздуха, снег и иней).

2 *Интервально-прицельное регулирование скорости движения отцепов*, скатывающихся с сортировочной горки, в соответствии с которым сортировочные горки оборудуются 1–4 тормозными позициями, оснащенными вагонными замедлителями.

Политика проектирования сортировочных устройств на Белорусской железной дороге, реализуемая в разработанном документе СТП, соответствует следующим основным принципам и подходам.

1 С учетом сложившейся практики проектирования и эксплуатации сортировочных устройств различных типов и принципов функционирования необходимо *расширение их классификации* (например, по мощности, уровню технического оснащения и автоматизации, допуску устройства к роспуску вагонов с опасными грузами с учетом оснащения этого устройства модулями, системами и устройствами автоматизации, обеспечивающими безопасность сортировочного процесса). Такое расширение, в частности, предусматривается проектом Памятки Р 836 комиссии ОСЖД комиссии по инфраструктуре и подвижному составу (г. Варшава).

2 Расширен порядок определения такого основного параметра, как высота сортировочной горки. Минимально необходимая высота сортировочной горки (по условию докатывания легковесных одиночных отцепов до расчетной точки сортировочных путей при неблагоприятных условиях работы) повышенной, большой и средней мощности может определяться как средневзвешенная величина из всех значений высоты горки H_j , вычисленных для отдельных румбов встречного ветра, находящихся по одну сторону от плоскости, перпендикулярной направлению роспуска, с учетом повторяемости значений скорости ветров в неблагоприятные периоды работы горки P_j (месяц года, в течение которого возможна наибольшая величина дополнительного удельного сопротивления движению от воздушной среды и ветра). Кроме того, дано развернутое выражение для определения высоты горки в условиях значительного разброса значений расчетных параметров.

3 Усовершенствован порядок расчета основных параметров сортировочных горок малой мощности, в т. ч. с одной тормозной позицией. Минимально необходимая высота сортировочной горки малой мощности должна определяться для наиболее трудного румба встречного ветра в неблагоприятных метеорологических условиях роспуска для «длинных» горочных горловин с коэффициентом нормированного отклонения «1,75». Учтены особенности проектирования таких горок на грузовых станциях.

4 Правила и нормы проектирования путевого развития сортировочной горки *разработаны с учетом требований обеспечения безопасной переработки современного длиннобазного подвижного состава* (увеличены радиусы круговых кривых (минимальная величина 200 м), длина прямых вставок, в т. ч. между обратными кривыми для безопасного прохода и автоматического сцепления длиннобазных вагонов, требования локализации потенциально опасных участков путей).

5 Расширен подход к технико-экономическому обоснованию и оптимизации параметров конструкции и технического оснащения сортировочных устройств, разработан новый раздел для анализа конструкций сортировочных устройств.

6 В теоретические положения по расчету параметров сортировочных устройств внесены следующие дополнения и изменения. Величина g' , называемая до сих пор «ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся масс», является по своей сути просто коэффициентом. В проекте СТП g' принят как *коэффициент, характеризующий изменение кинетической энергии отцепа с учетом инерции вращающихся частей вагона*. Осевая нагрузка, от которой фактически зависит величина g' , имеет случайный характер и распределена по нормальному закону. При одной и той же осевой нагрузке

разброс ее значений может быть самым различным и зависит от структуры потока. Исходя из этого в реальных условиях коэффициент g' необходимо рассчитывать вероятностным способом. В противном случае поправка g' будет определяться с ошибкой. Так, учет величины колебаний осевой нагрузки позволяет повысить точность расчета энергетической высоты, эквивалентной скорости роспуска на вершине горки, примерно на 6–9 %. Уточняются скоростные параметры движения отцепов на спускной части горки и на сортировочных путях, которые влияют на временные интервалы между отцепами и условия их взаимодействия. Правильный расчет этих интервалов непосредственно оказывает влияние на безопасность работы горки, сохранность подвижного состава и грузов.

Получены новые выражения для расчета практически достижимой скорости входа ОХБ на первую тормозную позицию в зависимости от ряда определяющих факторов (высота горки, крутизна и длина скоростных участков горки, максимальная скорость роспуск, количество путей в сортировочном парке и др.). Величина этой скорости важна при проектировании тормозных средств сортировочной горки (потребной мощности тормозных позиций, рационального количества вагонных замедлителей), продольного профиля ее спускной части и начала сортировочных путей. По сути, предпринята попытка разрешения одной из неопределенностей в горочной теории.

7 Обычно мощность вагонных замедлителей задается средней величиной. Однако этого в современных условиях работы сортировочных горок уже явно недостаточно. Тормозная мощность одного замедлителя есть величина случайная с математическим ожиданием h_t и среднеквадратическим отклонением σ_t . Поэтому нельзя говорить о том, что суммарная мощность тормозных средств равна сумме мощностей отдельных замедлителей, т. е. необходимо говорить о суммарной мощности тормозных средств только как о вероятностной величине, которая будет гарантирована с определенной вероятностью. В данном случае учтено, что расчетная потребная тормозная мощность горки не превышала бы наличную, например, в 1 случае из 100. Увеличение количества замедлителей увеличивает общую тормозную мощность не пропорционально, а экспоненциально, т. е. наблюдается эффект насыщения. Если же разброс характеристик замедлителей возрастает, то условия работы горки ухудшаются. В связи с этим в документе приведены адаптированные выражения для расчета потребной мощности 1, 2 и 3-й тормозных позиций сортировочных горок.

8 С учетом изменения характеристик подвижного состава на роликовых подшипниках, улучшения их ходовых качеств и увеличения осевой нагрузки пересмотрены подходы к проектированию немеханизированных сортировочных устройств, как правило, горок малой мощности местного и регионального значения. Обоснована мощность тормозных позиций и допустимая длина юза при башмачном торможении отцепов для предотвращения образования термомеханических повреждений на поверхности катания колес вагонов, рекомендуемая величина которой равна 10–12 м, а максимально допустимая – 15 м. Необходимо предусматривать на таких горках применение дополнительных устройств для проворота колесных пар во время движения юзом, применение специальных (композитных) горочных тормозных башмаков.

9 Приведены характеристики, особенности конструкции и использования новых технических средств (замедлителей, компрессорных установок, гидравлических станций, аппаратно-программных комплексов и др.), перспективных устройств закрепления подвижного состава на приемо-отправочных, сортировочно-отправочных путях парков станций типа «ЗУБР», «УВУ», устройств заграждения на сортировочных путях парков «БЗУ-ДУ-СП», ТВЗ (стопперы) в одиночном и комплексном исполнении. На основе данных механических устройств разрабатываются автоматизированные системы закрепления подвижного состава в парках станций для повышения безопасности перевозочного процесса, сокращения локомотиво- и вагоно-часов простоя, вывода персонала из опасных зон.

УДК 625.16.096

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ

В. Я. НЕГРЕЙ, Г. В. ЧИГРАЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Развитие теории безопасности транспортных систем в значительной мере связано с разработкой эталонных алгоритмов расчета основных параметров, определяющих безопасность перевозочного процесса.