

соответствие вершине, представляет собой кортеж  $q$ , описывающий РС и содержащий информацию о ЛБ, реализующей эту РС, продолжительности РС, условиях отдыха перед и после РС.

Ребра этой сети раскрашены в два цвета. Светлые ребра соединяют вершины одного цвета и указывают на последовательность РС, реализуемых одной ЛБ. Их вес равен продолжительности периода отдыха между двумя сменами. Темные ребра соединяют вершины, соответствующие последовательности РС в рамках одного варианта реализации  $S_{\nu}$ . Их вес равен продолжительности РС, которой соответствует вершина, из которой это ребро исходит. Все ребра начинаются в вершинах с более ранним временем начала РС, чем у РС, соответствующих их конечным вершинам. Веса ребер определяют величины слагаемых, входящих в состав критериев равномерности  $S_{MW}$ .

Представленный в публикации алгоритм можно рассматривать как вариант реализации «жадного» алгоритма. Его результаты могут составлять начальное множество вариантов построения (начальную популяцию в случае применения генетических алгоритмов), и после его реализации может быть выполнен алгоритм оптимизации.

УДК 656.212.5: 656.2.08

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ НЕМЕХАНИЗИРОВАННЫХ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Сортировочные горки являются наиболее эффективным средством выполнения маневровой работы на железнодорожных станциях по сравнению с другими типами сортировочных устройств (вытяжные пути со стрелочными горловинами на площадках и уклонах). Необходимо отметить, что безопасность функционирования и эксплуатационные показатели работы во многом зависят от параметров их конструкций и уровня технического оснащения. В настоящее время на Белорусской железной дороге эксплуатируется 27 сортировочных горок различной мощности и технического оснащения, основную долю которых составляют немеханизированные и частично механизированные сортировочные горки (16 и 5 соответственно) средней и малой мощности. Несмотря на относительно небольшую производительность (250–1500 ваг./сут), к ним предъявляются такие же требования, как и к другим типам горок большей мощности.

В 2019 г. завершается реализация Программы повышения уровня сохранности вагонного парка, сокращения эксплуатационных расходов при переработке вагонов на сортировочных горках Белорусской железной дороги на период 2017–2018 гг. (далее – Программа), утвержденной приказом от 26.01.2017 № 117 НЗ (с дополнениями и изменениями). Программа охватывала все сортировочные горки дороги, а для 14 немеханизированных горок предусматривалось выполнение технических мероприятий по их переустройству на основе обследования основных параметров, а также проектной документации на соответствие действующим Правилам и нормам проектирования сортировочных устройств ВСН 207–89, требованиям безопасности движения и сохранности перерабатываемого подвижного состава и грузов. В обследовании участвовали и специалисты БелГУТа. При выполнении Программы использованы новые научные логико-вероятностные методы анализа и проектирования сортировочных устройств, моделирования режимов их работы, что позволило в кратчайшие сроки выявить критические несоответствия в работе горок условиям безопасности движения, сохранности подвижного состава и проектным требованиям. При этом учитывалось все многообразие факторов, влияющих на работу того или иного устройства (вероятностные характеристики перерабатываемого вагонопотока, параметры актуализированного плана и профиля путей, климатические условия работы, место расположение и др.). Так, практически на всех обследуемых горках выявлено несоответствие их высоты расчетным значениям (станция Жлобин – завышение высоты на 0,7, Степанка – 0,23, Шабаны – 0,33, Орша-Центральная – 0,33 м эн. в. и др.), превышение скоростей входа тяжелых одиночных отцепов (наиболее сложные условия проверки) на горочные и даже парковые тормозные позиции (4,5 и 3,5 м/с соответственно) из-за нерационального размещения и дефицита мощности немеханизированных тормозных средств, трудности своевременного разделения отцепов

по маршрутам движения и др. Этому «способствуют» деформация участков продольного профиля всех составных частей горок, нерациональные конструкции горочных горловин, наличие кривых участков путей с малым радиусом и неблагоприятным сочетанием в S-образных кривых, в т.ч. образованных переводными кривыми стрелочных переводов и закрестовинными кривыми и др.

В настоящее время выполняется переустройство сортировочных горок на станциях Орша-Западная и Орша-Центральная. Одним из достигнутых эффектов от реализации намеченных мероприятий Программы является сокращение в последнее время на 20 % случаев выявления термомеханических повреждений поверхности катания колесных пар вагонов (ползунов сверх нормативной величины, выщербин и др.) при роспуске на немеханизированных сортировочных горках и данная тенденция продолжает усиливаться. При этом уменьшаются скорости движения отцепов при роспуске с горки, интенсивность их торможения при одновременном увеличении количества вагонов в отцепе, в отдельных случаях удается сократить штат регулировщиков РСДВ и/или существенно снизить напряженность их труда, уменьшить расход тормозных башмаков, что в совокупности позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы станций на переработку подвижного состава с использованием сортировочных горок.

Достигнутый эффект позволяет повысить безопасность движения поездов, сохранить работоспособность комплекса пути и вагонного парка, снизить расходы, связанные с перегрузом и ремонтом вагонов в депо дороги, приобретением дополнительных комплектующих и материалов, обеспечить срок доставки грузов, в т.ч. экспортных, улучшить оборот вагонов и сократить потребный рабочий парк.

Еще один эффект заключается в следующем. До переустройства длинные отцепы приходилось осаживать с горки локомотивом вместе с составом, либо расцеплять на более короткие отцепы. При снижении скоростей скатывания отцепов с горки появляется технологическая возможность увеличения количества вагонов в отцепе и, соответственно, их массы. Например, на станции Жлюбин после переустройства горки количество груженых 4-осных вагонов в отцепе возросло с шести (действовавшее ограничение по количеству осей) до 10–14, что способствует увеличению перерабатывающей способности станции и компенсирует некоторое ее снижение из-за уменьшения интенсивности роспуска (если ранее в горловине Южного парка в процессе роспуска могло одновременно находиться до 3 отцепов, то сейчас – 1–2). Кроме того, на этой станции была разработана безопасная технология, и стало возможным вести роспуск на два крайних пути сортировочно-отправочного парка, ранее не использовавшихся в сортировочном процессе.

Также значительно увеличивается длина отцепов из порожних вагонов. Однако из-за худших ходовых качеств длинные отцепы из 8–10 вагонов могут не полностью заходить на сортировочный путь, особенно на «трудный» по уровню сопротивления движению. При этом в стрелочной зоне могут остановиться 1–2 вагона (станции Шабаны, Степанка). Усугубляет ситуацию продольный профиль надвижной части горки с высоким и крутым подъемом, т.к. такая конструкция профиля снижает скорость входа длинных отцепов в парк (а такой профиль (для горок малой мощности – до 25 % на сплошном подъеме) проектируется для большинства переустраиваемых горок). При этом дальность пробега длинных отцепов в глубину подгорочного парка уменьшается с увеличением длины отцепа. Для преодоления указанного недостатка необходимо в технических условиях на проектирование предусматривать расстояние от конца парковой тормозной позиции (ПТП) до расчетной точки (РТ) «трудного» пути не 50, как это принято обычно, а 100–150 м. Такие значения рекомендуются Правилами ВСН 207–89 для горок, на которых перерабатывается преимущественно порожний вагонопоток. Естественно, это приведет к некоторому увеличению расчетной высоты сортировочной горки.

На переустроенных горках в данном случае целесообразно, во-первых, уменьшать длину отцепов, как было указано ранее, во-вторых, применять режим роспуска с переменной скоростью (РРПС). При необходимости направления длинного отцепа из порожних вагонов на «трудный» путь сортировочного парка скорость роспуска может быть кратковременно (до момента отрыва отцепа от основного состава на вершине горки) увеличена с установленной до расчетной величины (но не более чем до 4,5 м/с), определяемой с помощью полученного выражения вида

$$v_p = \sqrt{2g'\Delta h}, \text{ где } \Delta h = H_x - H_p + h_0 \text{ или } v_p = \sqrt{v_0^2 + 2g'(H_x - H_p)},$$

где  $g'$  – коэффициент, характеризующий изменение кинетической энергии отцепа с учетом инерции вращающихся частей вагонов, м/с<sup>2</sup>;  $\Delta h$  – разность между значением  $H_x$ , до которого необходимо повысить высоту горки (при расстоянии от конца ПТП до РТ 150–100 м), и расчетной высотой гор-

ки  $H_p$  (при аналогичном расстоянии, равном 50 м) или существующей высотой горки, м эн. в.;  $h_0$  – удельная энергетическая высота, соответствующая установленной скорости роспуска  $v_0$ , м эн. в. Установленная скорость роспуска для немеханизированных горок малой мощности составляет  $v_0 = 0,8 \dots 1,0$  м/с или примерно 3–4 км/ч (ВСН 207–89).

После отрыва длинного отцепа из порожних вагонов скорость роспуска  $v_0$  снижается до установленной величины и процесс расформирования состава продолжается. Применение РРПС позволяет обеспечить докатывание порожних вагонов до заданной точки, сократив затраты на осаживание вагонов в парке без увеличения высоты горки. В благоприятной ситуации роспуск должен вестись с установленной скоростью для данного типа горок, которая при необходимости может быть повышена до потенциально реализуемой максимальной величины. Режим роспуска с переменной скоростью в сочетании с высоким и крутым подъемом надвижной части горки также эффективен при необходимости использовать такой способ в качестве основного технологического режима работы горки, уменьшения скоростей входа длинных тяжелых отцепов в парк, что особенно важно для немеханизированных сортировочных устройств, не имеющих мощных парковых тормозных позиций.

УДК 656.224/.225:656.2.08

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ, С. В. ДОРОШКО,  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

1 Безопасность перевозочного процесса всегда являлась главным приоритетом в функционировании и развитии транспорта. Для предотвращения опасных ситуаций важное значение имеет разработка методологии оценки и прогнозирования безопасности перевозочного процесса и его отдельных элементов.

В своем развитии теория безопасности перевозочного процесса прошла несколько этапов:

– хронологический, когда в основном фиксировались опасные ситуации (отказы), накапливалась информация, выявлялись только некоторые тенденции роста или уменьшения количества опасных ситуаций. В рамках этого периода сформировался ряд известных законов безопасности (законы Мерфи, Чизхолма Финейгла и др.);

– хронометрический. Безопасность оценивалась по ряду относительных показателей (относительное количество опасных ситуаций на  $10^5$  т·км, статистические коэффициенты безопасности и др.). Главным недостатком этих периодов является невозможность прогнозирования уровня безопасности, а также детерминированный подход к его оценке;

– логико-вероятностный этап теории безопасности. Современный этап развития теории безопасности транспортных систем характеризуется формированием логико-вероятностного подхода к оценке безопасности транспортных процессов.

2 Этот этап развития методологии безопасности начал формироваться относительно недавно и связан с логико-вероятностным представлением о характере транспортных процессов, выявлением скрытых взаимосвязей между неопасными и опасными отказами, автокорреляции внутри отдельных опасных состояний. Существенным вкладом в теорию является формирование многоуровневой системы оценки и прогнозирования безопасности элементов перевозочного процесса. Наиболее ответственные процедуры – это:

– формирование и выбор системы показателей безопасности;

– установление эталонных нормативных значений показателей и методов их расчета;

– выбор параметров технических средств и профессиональных характеристик персонала, обеспечивающего заданный уровень безопасности;

– установление новых явлений и закономерностей, которые оказывают существенное влияние на безопасность. Выделение таксонов опасности и их размещение на инфраструктуре железной дороги.

3 Сегодня исключительное значение имеет разработка эталонных алгоритмов и методик оценки безопасности как проектируемых, так и эксплуатируемых объектов.