

УДК 656.212.5:625.156.8

Д. Н. КОЗАЧЕНКО^{1*}, В. И. БОБРОВСКИЙ^{2*}, С. В. ГРЕВЦОВ^{3*}, Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ^{4*}

^{1*} Научно-исследовательская часть, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*} Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 444 63 95, эл. почта bvi1973@yandex.ua, ORCID 0000-0001-8622-2920

^{3*} Львовский колледж транспортной инфраструктуры Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Снопковская, 47, Львов, 79011, тел. +38 (032) 27614 90, эл. почта Grevtsov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2925-4293

^{4*} Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, эл. почта niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ТОРМОЗНОЙ МОЩНОСТИ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ

Цель. Исследование направлено на разработку требований к организации сортировочного процесса в условиях, когда мощность тормозных позиций является меньше номинальной. **Методика.** Исследования выполнены с использованием методов теории безопасности движения поездов и математического моделирования горочных процессов. **Результаты.** Действующие нормативно-технические документы, регламентирующие эксплуатационную работу сортировочных горок, не содержат прямых указаний о порядке действий в случае потери вагонными замедлителями тормозной мощности, в результате чего возникают угрозы безопасности движения. Указанная проблема достаточно остро стоит перед железными дорогами Украины в связи с хроническим дефицитом средств на ремонт и обновление технического оборудования, в том числе и сортировочных горок. В то же время существенное падение объемов работы приводит к тому, что нужная перерабатывающая способность горок может быть обеспечена и при частичных отказах замедлителей. Важнейшей задачей при этом является обеспечение безопасности роспуска в условиях параметрических отказов замедлителей. На основе анализа опасных ситуаций, возникновение которых возможно на сортировочной горке, а также моделирования скатывания отцепов установлена связь между величиной усилий нажатия шин замедлителей на колеса вагонов и режимами роспуска, обеспечивающими безопасность сортировочного процесса. Установлены области применения таких мероприятий, как снижение скорости роспуска, прерывание роспуска, использование дополнительного торможения башмаками. **Научная новизна.** Впервые получен комплекс зависимостей, определяющих эксплуатационные требования к мощности замедлителей сортировочных горок и позволяющих эксплуатационному персоналу вводить обоснованные ограничения режимов роспуска для обеспечения безопасности сортировочного процесса. **Практическая значимость.** Результаты выполненных исследований могут быть использованы для дополнения «Инструкции по техническому обслуживанию устройств механизированных и автоматизированных сортировочных горок» с целью определения необходимых ограничений режимов роспуска при обнаружении уменьшения мощности замедлителей ниже номинальной.

Ключевые слова: сортировочная горка; вагонный замедлитель; безопасность движения поездов; сортировочный процесс; расформирование составов

Введение

Одной из негативных реальностей современных условий функционирования железнодорожного транспорта Украины является критический износ основных технических средств отрасли, который превышает 85 %, и хрониче-

ский дефицит средств на их обновление. Также необходимо отметить существенное падение объемов перевозок, которое привело к образованию значительного резерва парка изношенных технических средств. В этих условиях в различных областях деятельности отрасли до-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

статочно часто возникает вопрос: «Можно ли с помощью изношенных технических средств обеспечить безопасное выполнение технологических процессов?».

Основным техническим средством, обеспечивающим расформирование-формирование составов грузовых поездов на железнодорожном транспорте, являются сортировочные горки. Сортировочные горки представляют собой одно из наиболее опасных мест на станциях, для которых характерно значительное количество случаев травматизма, сходов вагонов, их повреждений и повреждений грузов. Одной из острых проблем механизированных сортировочных горок является изношенное состояние вагонных замедлителей, которые в результате этого полностью или частично отключаются, либо не могут реализовывать нормативную тормозную мощность.

Проблемам обеспечения безопасности сортировочного процесса в настоящее время посвящено значительное количество научных работ. Анализ состояния безопасности сортировочного процесса выполнен в [10, 19, 23]. В частности в [10] указано, что 88,1 % случаев нарушения безопасности движения на горках происходят при управлении скоростью скатывания отцепов. Расформирование-формирование составов поездов на сортировочных горках является одной из основных причин повреждения грузовых вагонов [16, 17]. По оценке, выполненной в [19] в 2009 году на сортировочных горках Украины было повреждено 29 тыс. ваг.

Основными направлениями повышения безопасности горочных процессов в настоящее время являются механизация и автоматизация сортировочных горок [19, 22], разработка новых методов их проектирования [13, 21, 24], совершенствование методов выбора режимов торможения отцепов [1, 6, 18], улучшение системы технического содержания и обслуживания горочных устройств [15], совершенствование горочных технологий [12]. В указанных работах задачи управления роспуском составов решаются в условиях функционирования технических средств горки в пределах нормативных значений. Проблема отказов отдельных устройств на сортировочной горке рассматривается с позиции их скорейшего обнаружения. В то же время проблемам функционирования

горочных комплексов в условиях износа технических средств и отклонения их параметров от нормативных значений уделялось недостаточно внимания.

Сортировочные горки представляют собой сложные технологические системы. Нарушение условий их функционирования может приводить к значительному материальному ущербу из-за повреждений вагонов и грузов, а в отдельных случаях – к гибели людей и экологическим катастрофам.

Методологической основой решения проблемы функционирования сортировочных горок в условиях потери замедлителями тормозной мощности может служить теория безопасности движения [8]. В соответствии с концепцией этой теории система может находиться в работоспособном, неработоспособном безопасном и неработоспособном опасном состояниях. В работоспособном состоянии функционирование технологической системы происходит в условиях, когда ее параметры соответствуют требованиям технической, технологической и конструкторской документации, а также выполняются показатели качества функционирования. При невыполнении этих условий технологическая система находится в неработоспособном состоянии. Если в этом состоянии возникают поражающие факторы, то оно является небезопасным, иначе – безопасным. Если переход технологической системы в неработоспособные опасные состояния исключается с высокой долей вероятности, то имеет место технологическая система с защищенными состояниями. Применительно к рассматриваемой проблеме управления скоростью скатывания отцепов на сортировочных горках уменьшение тормозной мощности замедлителей представляет собой параметрический отказ. При этом необходимо найти такие технологические ограничения, наложение которых на условия роспуска позволит обеспечить выполнение требований безопасности сортировочного процесса.

Дополнительные ограничения при организации расформирования-формирования составов поездов приводит к уменьшению перерабатывающей способности горок. Необходимо отметить, что в советский период при значительных объемах перевозок сортировочные горки были элементом, ограничивающим перерабатываю-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

щую способность станций, и неисправности их технических средств ликвидировались в кратчайшее время. В настоящее время объемы переработки вагонов существенно сократились. Так, например, загрузка нечетной сортировочной горки станции Нижнеднепровск-Узел составляет 63 %, а четной – 37 %. Вследствие этого с экономической точки зрения допустимым может быть более длительная эксплуатация сортировочных горок в защищенном режиме.

Цель

Целью данной работы является разработка требований к организации сортировочного процесса в условиях, когда мощность тормозных позиций является меньше номинальной.

Методика

Проектирование строительства и модернизации сортировочных горок выполнялось в соответствии с требованиями [14], а с 2013 года – в соответствии с [3]. В [3, 14] указано, что количество тормозных позиций сортировочной горки, их расположение, мощность и оборудование должны обеспечивать безопасную сортировку вагонов при установленной максимальной скорости роспуска. При этом замедлители должны обеспечивать допустимую скорость входа отцепов на вторую и третью тормозные позиции, полную остановку отцепов на этой позиции, а также допустимую скорость подхода отцепов к вагонам на сортировочных путях.

Проверка мощности тормозных средств сортировочных горок при их проектировании осуществляется путем моделирования скатывания одиночного четырехосного полувагона массой 100 т с основным сопротивлением 0,5 Н/кН (бегун БТ). Для обеспечения надежности и живучести системы регулирования скорости скатывания отцепов потребная мощность тормозных позиций рассчитывается с учетом коэффициента ее увеличения $k_p=1,2$. При этом на первой тормозной позиции устанавливается дополнительный замедлитель; кроме того округление потребного числа замедлителей выполняется в большую сторону. В результате сортировочные горки должны иметь резервы мощности тормозных позиций, которые могут быть использованы при уменьшении тормозной мощности замедлителей в процессе их эксплуатации.

Необходимо отметить, что на некоторых горках на стадии проектирования были допущены существенные отклонения от требований [14] и резервы тормозной мощности на них минимальны. В качестве примера можно привести четную сортировочную горку станции Нижнеднепровск-Узел, где на первой тормозной позиции установлен один замедлитель вместо двух, а питание воздухопроводной сети производится от компрессорной станции вагонного депо, которая обеспечивает давление 0,5-0,56 вместо 0,65 МПа. В этой связи резервы мощности тормозных замедлителей имеют индивидуальный для каждой горки характер и могут существенно отличаться.

Основными причинами потери замедлителями тормозной мощности в процессе эксплуатации является их неисправность или недостаточное давление в пневмосети. Типовой порядок действий операторов сортировочных горок в таких условиях изложен в [9], где указано, что при давлении в пневмосети менее 0,65 МПа роспуск должен прекращаться. В случае, неисправности замедлителей и выключения их для ремонта роспуск может продолжаться в обычном режиме при выключении одного замедлителя на первой тормозной позиции и с уменьшением скорости роспуска при выключении одного замедлителя на второй тормозной позиции. При выключении части замедлителей на тормозной позиции уменьшается скорость роспуска и может использоваться дополнительное башмачное торможение. При отключении одновременно двух замедлителей по маршруту скатывания роспуск по нему прекращается.

Техническое обслуживание замедлителей на сортировочных горках Украины осуществляется в соответствии с [4]. В частности, в [4] указан порядок проверки усилия нажатия шин замедлителей на колесо и допуски для уменьшения этих значений. Результаты измерений заносятся в журнал формы ШУ-2. Однако действующая нормативная документация не устанавливает жестких критериев по отключению замедлителей для ремонта из-за недостаточной тормозной мощности. Фактически в случае потери мощности замедлителями уменьшается скорость роспуска составов и масса отцепов. Однако обоснование данных мероприятий и анализ их эффективности отсутствует.

На сортировочных горках железных дорог

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

України применяются балочные замедлители, торможение вагонов которыми обеспечивается за счет трения колес об их шины. Удельная погашаемая энергетическая высота, которую реализует замедлитель, определяется по формуле:

$$h_{\tau} = \frac{z\mu P_{\kappa} K_{\text{пр}} n l_{\text{ш}}}{Q}, \quad (1)$$

где z – число трущихся поверхностей (2 – для однониточных замедлителей и 4 – для двухниточных);

μ – коэффициент трения колеса вагона о шину замедлителя;

P_{κ} – сила давления тормозной шины замедлителя на колесо;

$K_{\text{пр}}$ – коэффициент приведения, определяемый расстоянием между центром тяжести площади сцепления тормозной шины с колесом к точке опоры колеса и радиусом колеса;

n – количество осей отцепа;

$l_{\text{ш}}$ – длина шин замедлителя;

Q – масса отцепа.

Определить энергетическую высоту, которую реализует замедлитель при торможении конкретного отцепа, по формуле (1) достаточно сложно, так как, прежде всего, коэффициент трения является случайной величиной, изменяющейся в пределах от 0,05 до 0,20 [5]; кроме того, высота бандажей колес и положение шин замедлителя также являются случайными величинами, изменяющимися в пределах допусков. В результате и погашаемая замедлителем энергетическая высота в каждом отдельном случае является случайной величиной. Анализ научно-исследовательских отчетов Отраслевой горочноиспытательной лаборатории Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна показывает, что тормозная мощность новых замедлителей устанавливалась на основании статистического материала, накопленного по результатам измерений торможения отцепов в разных условиях с доверительной вероятностью не менее 0,95.

Показателем качества сортировочного процесса является вероятность обеспечения установленной ПТЭ скорости подхода отцепов к вагонам на сортировочных путях. Однако кон-

троль указанного требования на сортировочных горках не выполняется. Необходимо отметить, что превышение установленных скоростей соударения вагонов в каждом отдельном случае не приводит к возникновению транспортных происшествий, однако вызывает увеличение частоты этих событий. Основным результатом этого нарушения требований ПТЭ является накопление усталостных изменений в конструкции вагонов, вызывающее преждевременный их износ.

Учитывая вышесказанное, оценка влияния мощности замедлителей на показатели безопасности сортировочного процесса на основании экспериментальных наблюдений является достаточно сложной задачей, требующей больших затрат ресурсов и времени для накопления статистического материала. Поэтому для установления режимов отпуска, обеспечивавших требования безопасности движения, выполнено исследование горочных процессов с помощью моделирования скатывания отцепов [2].

Результаты

Анализ формулы (1) показывает, что фактическая мощность замедлителей тормозных позиций H_{ϕ} может быть определена по результатам проверки усилия нажатия их шин на колесо с помощью выражения

$$H_{\phi} = \frac{H_{\text{ном}}}{r p_{\text{ном}}^{\min}} \sum_{j=1}^r p_j, \quad (2)$$

где p_j – измеренные в соответствии с [4] усилия нажатия шин по осям рычагов;

r – количество рычагов;

$H_{\text{ном}}$ – номинальная тормозная мощность замедлителя;

$p_{\text{ном}}^{\min}$ – минимальное номинальное усилие нажатия шин замедлителей на колесо.

Достаточность установленной мощности замедлителей определяется на основе анализа выполнения комплекса условий.

Замедлители первой тормозной позиции (ТП1) должны обеспечить вход всех отцепов на вторую тормозную позицию (ТП2) с допустимой скоростью. Данное требование выдвигается в связи с тем, что при большей скорости входа отцепов на ТП2 возможно повреждение

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ними замедлителей.

Наименьшая потребная мощность ТП1 определяется по результатам моделирования скатывания бегуна БТ в благоприятных условиях по формуле

$$H_{\text{тп1}} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{нп2}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{тп2}}^2}{2g'_{\text{от}}} - h_{\text{осн}}^{\text{нп2}} - h_{\text{ск}}^{\text{нп2}} - h_{\text{св}}^{\text{нп2}}, \quad (3)$$

где $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{нп2}} i l 10^{-3}$ – профильная высота участка от вершины горки до входа на пучковую тормозную позицию;

$V_{0,\text{ном}}$ – скорость роспуска.

$h_{\text{осн}}^{\text{нп2}}, h_{\text{ск}}^{\text{нп2}}, h_{\text{св}}^{\text{нп2}}$ – удельная работа сил сопротивления движению, соответственно, основного, стрелок и кривых, среды и ветра на участке от вершины горки до входа на пучковую тормозную позицию;

$g'_{\text{от}}$ – ускорение свободного падения с учетом инерции вращающихся масс вагона м/с^2 .

С целью нормирования выражение (3) может быть представлено как

$$\sum_j^n p_j^{\text{тп1}} \geq C_1; \quad (4)$$

здесь параметр C_1 , характеризующий минимально допустимое значение усилия нажатия шин замедлителей на колесо, который определяется как

$$C_1 = \frac{r p_{\text{ном}}^{\text{мин}}}{H_{\text{ном}}} \left(\sum_{\text{ВГ}}^{\text{нп2}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{тп2}}^2}{2g'_{\text{от}}} - h_{\text{осн}}^{\text{нп2}} - h_{\text{ск}}^{\text{нп2}} - h_{\text{св}}^{\text{нп2}} \right);$$

$\sum_j^n p_j^{\text{тп1}}$ – сумма измеренных величин усилий нажатия шин замедлителей ТП1 по осям рычагов.

Учитывая тот факт, что обеспечить альтернативные способы торможения отцепов на данном участке горки невозможно, то при нарушении условия (4) роспуск должен быть прекращен.

Замедлители ТП1 и ТП2 должны обеспечить вход всех отцепов на парковую тормозную позицию (ППП) с допустимой скоростью. Про-

верка возможности выполнения данного условия выполняется с помощью выражения:

$$\sum_{i=1}^2 H_{\text{тп},i} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{нп2}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{тп1}}^2}{2g'_{\text{от}}} - h_{\text{осн}}^{\text{нп1}} - h_{\text{ск}}^{\text{нп1}} - h_{\text{св}}^{\text{нп1}}, \quad (5)$$

где $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{нп2}} i l 10^{-3}$ – профильная высота участка от вершины горки до входа на парковую тормозную позицию;

$V_{\text{тп1}}$ – допустимая скорость входа отцепа на парковую тормозную позицию;

$h_{\text{осн}}^{\text{нп1}}, h_{\text{ск}}^{\text{нп1}}, h_{\text{св}}^{\text{нп1}}$ – удельная работа сил сопротивления движению, соответственно, основного, стрелок и кривых, среды и ветра на участке от вершины горки до входа на ППП.

При нарушении условия (5) роспуск должен быть прекращен.

В соответствии с [3] первая и вторая тормозные позиции совместно должны обеспечить остановку отцепа на второй тормозной позиции. Указанное требование выдвигается с той целью, чтобы при возникновении в пределах стрелочной зоны ситуации, угрожающей безопасности движения, была возможность остановить скатывающиеся отцепы. Проверка возможности выполнения данного условия выполняется с помощью выражения:

$$\sum_{i=1}^2 H_{\text{тп},i} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{кп2}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2}{2g'_{\text{от}}} - h_{\text{осн}}^{\text{кп2}} - h_{\text{ск}}^{\text{кп2}} - h_{\text{св}}^{\text{кп2}}, \quad (6)$$

где $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{кп2}} i l 10^{-3}$ – профильная высота участка от вершины горки до выхода из ТП2;

$h_{\text{осн}}^{\text{кп2}}, h_{\text{ск}}^{\text{кп2}}, h_{\text{св}}^{\text{кп2}}$ – удельная работа сил сопротивления движению, соответственно, основного, стрелок и кривых, среды и ветра на участке от вершины горки до выхода из ТП2.

Графически безопасные режимы работы тормозных замедлителей могут быть представлены в виде области допустимых режимов торможения [20]. Для иллюстрации ограничений 3, 5 и 6 они представлены на координатной плоскости $H_{\text{тп1}} O H_{\text{тп2}}$ на рис. 1 в виде линий U_1, U_2 и U_3 которые выделяют три области Ω_1, Ω_2 и Ω_3 . Если наличные мощности ТП1 и ТП2 соответствуют области Ω_1 , то роспуск выполняется в нормальном режиме, если области Ω_2 – с ограничениями, области Ω_3 – роспуск прекращается.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Сопротивление среды и ветра, а также стрелок и кривых зависит от скорости движения отцепов. Поэтому влияние первой и второй тормозных позиций на потерю вагоном энергетической высоты неравнозначно.

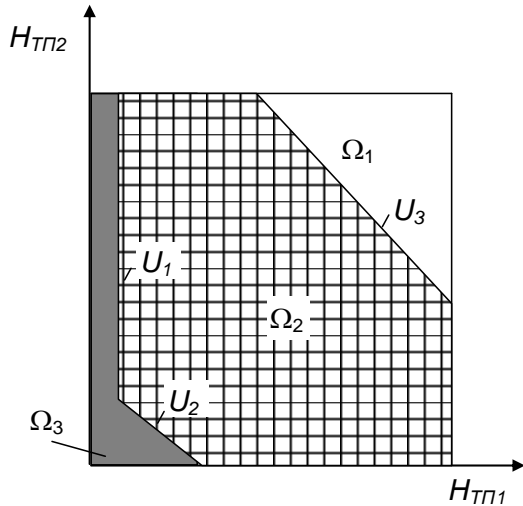


Рис. 1. Графическое представление ограничений мощности тормозных позиций спускной части горки

В этой связи условия (5) и (6) представляются как

$$\sum_j^{i_1} p_j^{\text{ТП1}} + k_1 \sum_j^{i_2} p_j^{\text{ТП2}} \geq C_2, \quad (7)$$

$$\sum_j^{i_1} p_j^{\text{ТП1}} + k_2 \sum_j^{i_2} p_j^{\text{ТП2}} \geq C_3, \quad (8)$$

где $\sum_j^{i_2} p_j^{\text{ТП2}}$ – сумма измеренных величин усилий нажатия шин замедлителей ТП2 по осям рычагов.

Левая часть выражений (7) и (8) соответствует фактическому усилию нажатия шин замедлителей на колесо с учетом разной степени их влияния на величину погашаемой энергетической высоты, характеризуемой коэффициентами $k_1 > 1$ и $k_2 > 1$. Параметры C_2 и C_3 характеризуют минимально допустимое значение усилия нажатия шин замедлителей на колесо, при которых выполняются условия (5) и (6). Значения коэффициентов k_1, k_2 , а также параметров C_2, C_3 определяются на основании моделирования скатывания отцепов.

При невыполнении требования (8) процесс интервального регулирования скорости скаты-

вания отцепов должен переводиться в защищенное состояние. Результатом потери мощности замедлителями спускной части горки может быть увеличение вероятности неразделений отцепов, а также опасные ситуации, связанные с остановками отцепов в стрелочной зоне. Защищенные состояния сортировочного процесса при этом могут реализовываться за счет приостановки роспуска для обеспечения разделения неблагоприятных сочетаний отцепов в пучках и за счет приостановки роспуска для обеспечения разделения отцепов, следующих в одну секцию. Использование первого режима допускается при возможности реализации достаточных интервалов на разделительных элементах, расположенных до ТП2, в расчетном сочетании бегунов [3]. При этом возможность разделения медленного легкого и быстрого тяжелого бегунов определяется условием

$$\sum_j^{i_1} p_j^{\text{ТП1}} \geq C_4, \quad (9)$$

а мощность ТП2 и парковой тормозной позиции (ПТП) допускают частичное использование ТП1 для обеспечения разделения медленного тяжелого и быстрого легкого бегунов. Данное условие формулируется как

$$\left(\sum_j^{i_2} p_j^{\text{ТП2}} + k_3 \sum_j^{i_3} p_j^{\text{ПТП}} \right) / k_n \geq C_5, \quad (10)$$

где $\sum_j^{i_3} p_j^{\text{ПТП}}$ – сумма измеренных величин усилий нажатия шин замедлителей ПТП по осям рычагов.

Значения коэффициента k_3 , а также параметров C_4, C_5 определяются на основании моделирования скатывания отцепов.

В защищенном состоянии интервального регулирования скорости скатывания отцепов дежурный по горке перед роспуском на основе анализа структуры состава и состояния путей сортировочного парка должен выделить неблагоприятные сочетания отцепов и наметить отсевные пути. В процессе роспуска должна максимально использоваться мощность первой тормозной, а второй – в зависимости от потребностей прицельного регулирования скорости скатывания отцепов. Проталкивание вагонов, остановившихся в стрелочной зоне, за-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

прещается.

Мощность замедлителей на спускной части сортировочной горки и на сортировочных путях должна обеспечивать требования прицельного регулирования скорости скатывания отцепов, которые заключаются в их докатывании до вагонов в сортировочном парке с установленной ПТЭ скоростью $V_{\text{пр}} = 5$ км/ч. В качестве расчетной точки прицеливания при этом принимается точка на расстоянии 50 м от парковой тормозной позиции [3]. Необходимо отметить, что продольные профили значительного числа сортировочных путей железнодорожных станций Украины имеют ускоряющие уклоны. В таких условиях замедлители должны обеспечивать остановку отцепов на ПТП, то есть в качестве расчетной принимается точка выхода из ПТП, а $V_{\text{пр}} = 0$. В целом требования прицельного регулирования представляются условием

$$\sum_{i=1}^3 H_{\text{тп},i} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{пр}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{пр}}^2}{2g'_{\text{бт}}} - h_{\text{осн}}^{\text{пр}} - h_{\text{ск}}^{\text{пр}} - h_{\text{св}}^{\text{пр}}, \quad (11)$$

где $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{пр}} i l 10^{-3}$ – профильная высота участка от вершины горки до расчетной точки;

$h_{\text{осн}}^{\text{пр}}, h_{\text{ск}}^{\text{пр}}, h_{\text{св}}^{\text{пр}}$ – удельная работа сил сопротивления движению соответственно основного, стрелок и кривых, среды и ветра, на участке от вершины горки до расчетной точки.

Условие (11) может быть представлено как

$$\sum_j^{r_1} p_j^{\text{ТП1}} + k_4 \sum_j^{r_2} p_j^{\text{ТП2}} + k_5 \sum_j^{r_3} p_j^{\text{ТПП}} \geq C_6. \quad (12)$$

Значения коэффициентов k_4, k_5 , а также параметров C_6 определяются на основании моделирования скатывания отцепов.

В случае если это условие не выполняется, то процесс прицельного регулирования скорости скатывания отцепов переводится в защищенное состояние за счет их дополнительного башмачного торможения на сортировочных путях. Использование данного состояния возможно, если мощность тормозных позиций по маршруту скатывания обеспечивает допустимую скорость входа отцепов на башмачную тормозную позицию $V_{\text{тб}} \leq 3,5$ м/с [3]. Это условие формулируется с помощью выражения

$$\sum_{i=1}^3 H_{\text{тп},i} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{БТП}} i l 10^{-3} + \frac{V_{0,\text{ном}}^2 - V_{\text{тб}}^2}{2g'_{\text{бт}}} - h_{\text{осн}}^{\text{БТП}} - h_{\text{ск}}^{\text{БТП}} - h_{\text{св}}^{\text{БТП}}, \quad (13)$$

где $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{БТП}} i l 10^{-3}$ – профильная высота участка от вершины горки до башмачной тормозной позиции;

$h_{\text{осн}}^{\text{БТП}}, h_{\text{ск}}^{\text{БТП}}, h_{\text{св}}^{\text{БТП}}$ – удельная работа сил сопротивления движению соответственно основного, стрелок и кривых, среды и ветра, на участке от вершины горки до башмачной тормозной позиции.

Условие (13) может быть представлено как

$$\sum_j^{r_1} p_j^{\text{ТП1}} + k_6 \sum_j^{r_2} p_j^{\text{ТП2}} + k_7 \sum_j^{r_3} p_j^{\text{ТПП}} \geq C_7. \quad (14)$$

Значения коэффициентов k_6, k_7 , а также параметров C_7 определяются на основании моделирования скатывания отцепов.

В защищенном состоянии прицельного регулирования скорости скатывания отцепов темп роспуска должен быть таким, чтобы регулировщики скорости вагонов успевали выполнять торможение отцепов. При последовательном скатывании отцепов назначением на пути, обслуживаемые одним регулировщиком, роспуск должен приостанавливаться. Длина свободных концов сортировочных путей должна обеспечивать возможность торможения отцепа до безопасной скорости его подхода к стоящим на путях вагонам. Проталкивание вагонов на участке до башмакосбрасывателя запрещается.

В целом на основании анализа мощности тормозных замедлителей сортировочной горки могут быть выделены следующие режимы роспуска:

- штатный режим;
- защищенный режим обеспечения требований интервального регулирования скорости скатывания отцепов, который реализуется за счет снижения скорости надвига и прерывания роспуска при прогнозировании опасных ситуаций на спускной части горки;
- защищенный режим обеспечения требований прицельного регулирования скорости скатывания отцепов, который реализуется за счет дополнительного башмачного торможения от-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

цепов на сортировочных путях, прерывания роспуска для обеспечения возможности последовательного торможения отцепов регулировщиками скорости скатывания вагонов на разных путях и выполнения дополнительной работы по подготовке путей к роспуску;

– запрет на спуск вагонов с горки на определенные пути без локомотива.

В соответствии с разработанной методикой можно оценить влияние применяемых в настоящее время ограничений скорости роспуска и массы отцепов на безопасность сортировочного процесса.

Допустимые величины скорости роспуска составов для сортировочных горок различной мощности установлены в [3]. В частности, для горок большой мощности расчет продольного профиля и мощности тормозных средств выполняется при максимальной скорости 2,2 м/с, для горок средней мощности – 1,9 м/с. В качестве минимальной скорости роспуска может быть принята скорость 0,8 м/с, установленная в качестве номинальной для немеханизированных горок малой мощности. Таким образом, дополнительная величина погашаемой энергетической высоты, которую должны реализовать замедлители при превышении минимальной скорости роспуска составляет 0,23–0,16 м. эн. в. Указанная величина является незначительной по сравнению с мощностью тормозных позиций сортировочных горок большой и средней мощности. В этой связи скорость роспуска составов незначительно влияет на требуемую мощность замедлителей тормозных позиций. Основным эффектом, который достигается при снижении скорости роспуска – увеличение резервов времени на разделительных элементах до 11 с, что позволяет гарантировать разделение отцепов на стрелках, расположенных до ТП2. Учитывая то, что на эти стрелки приходится более 70 % разделений, то снижение скорости надвига существенно сокращает число перерывов в роспуске и обеспечивает экономию расходов на разгоны и торможения составов.

Потеря замедлителями тормозной мощности ограничивает возможность лиц, управляющих процессом скатывания отцепов, реагировать на опасные ситуации на спускной части горки, а также приводит к возрастанию загрузки регулировщиков скорости вагонов на сортировоч-

ных путях. Величина дополнительного резерва времени, достигаемая при снижении скорости роспуска, не обеспечивает парирование этих опасных ситуаций и, при их возможном возникновении, безопасность сортировочного процесса должна обеспечиваться не за счет низкой скорости роспуска, а за счет планирования перерывов в роспуске для исключения опасных ситуаций.

При скатывании многовагонных отцепов необходимо учитывать ряд особенностей их движения.

Следствием увеличения числа вагонов в отцепе является уменьшение его ускорения на скоростном участке горки. В качестве примера на рис. 2 представлены зависимости $V = f(S)$ для одно- и десятивагонного отцепов. При этом, ввиду низкой скорости входа последнего на ТП1 возможны ошибки дежурного по горке при выборе режима торможения отцепа и потеря мощности замедлителя из-за пропуска части вагонов без торможения.

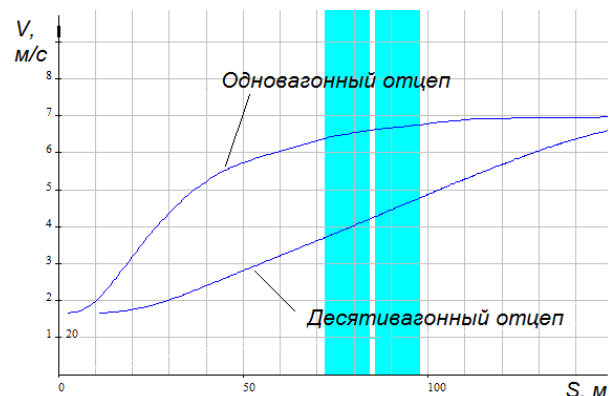


Рис. 2. Графики скорости скатывания одно- и десятивагонного отцепа

На отдельных сортировочных горках, как например на нечетной горке станции Нижнеднепровск-Узел, из-за близкого расположения замедлителей ТП1 к вершине горки возможна остановка длинных отцепов уже на ТП1 и их нагон надвигаемым составом. Результатами такой ситуации может быть сход вагонов и повреждение замедлителей.

Выполненные в [16, 17] исследования показывают, что на скоростях менее 5 км/ч в боковых рамах тележек вагонов возникают сверхнормативные напряжения, приводящие к их преждевременному износу. Для обеспечения

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

нормальных условий эксплуатации вагонов в [16] рекомендована скорость входа вагонов в замедлители не менее 10-15 км/ч. В этой связи, можно рекомендовать ограничивать длину отцепов таким образом, чтобы скорость их входа на первую тормозную позицию в неблагоприятных условиях составляла не менее 3 м/с.

Удельная работа тормозных сил замедлителя пропорциональна осе-метрам торможения. Поэтому в процессе торможения до полной остановки многовагонные отцепы должны пройти больший путь чем одновагонные. В этой связи при подготовке сортировочных путей к роспуску должна быть обеспечена длина пути, достаточная для снижения скорости многовагонного отцепа до приемлемого значения. В случае, если на пути используется дополнительное башмачное торможение, то это расстояние должно определяться от башмакосбрасывателя. В [7] рекомендуется ограничивать длины отцепов исходя из возможности обеспечения выхода первых их вагонов из ПТП с установленной ПТЭ скоростью подхода отцепов к стоящим на сортировочных путях вагонам 5 км/ч. Анализ причин возникновения опасной ситуации на горке, требующих введения такого ограничения, показывает, что она связана не со скатыванием многовагонного отцепа, а с организацией проталкивания вагонов, остановившихся за парковой тормозной позицией, с помощью многовагонного отцепа. Ввиду плохой прогнозируемости движения вагонов на низких скоростях, а также при их соединении со стоящими вагонами такое проталкивание может повлечь остановку отцепа на спускной части горки и является недопустимым. Поэтому безопасность роспуска должна обеспечиваться за счет заблаговременной подготовки пути к скатыванию многовагонных отцепов, либо за счет приостановки роспуска и принятия мер по ликвидации опасной ситуации.

Указанные опасные ситуации характерны как для условий функционирования сортировочных горок в штатном режиме, так и для нештатных режимов, вызванных потерей замедлителями тормозной мощности. Поэтому можно сделать вывод, что проблема скатывания многовагонных отцепов требует дополнительных исследований, однако прямая связь между безопасностью сортировочного процесса и скатыванием многовагонных отцепов в условиях

потери мощности замедлителей отсутствует.

Научная новизна и практическая значимость

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые получен комплекс зависимостей, определяющих эксплуатационные требования к мощности замедлителей сортировочных горок и позволяющих оперативному персоналу вводить обоснованные ограничения режимов роспуска для обеспечения безопасности сортировочного процесса.

Результаты выполненных исследований могут быть использованы для дополнения инструкции [4] с целью определения ограничений режимов роспуска при обнаружении уменьшения мощности замедлителей ниже номинальной.

Значения коэффициентов $k_1 - k_7$, $C_1 - C_7$ носят индивидуальный характер для каждой горки и существенно зависят от местных условий. Расчет их значений должен выполняться после сооружения или реконструкции сортировочной горки, а также после выполнения ремонтных работ, повлекших за собой изменение ее высоты. В качестве примера ниже дан список выражений для оценки мощности тормозных позиций сортировочной горки, приведенной в [11].

Обеспечение допустимой скорости входа отцепов на ТП2 (4):

$$\sum_j^{24} p_j^{\text{ТП1}} \geq 630 \text{ кН} . \quad (15)$$

Обеспечение допустимой скорости входа отцепов на ПТП (7):

$$\sum_j^{24} p_j^{\text{ТП1}} + 1,074 \sum_j^{24} p_j^{\text{ТП2}} \geq 1020 \text{ кН} . \quad (16)$$

Обеспечение возможности остановки отцепов на ТП2 (8):

$$\sum_j^{24} p_j^{\text{ТП1}} + 1,096 \sum_j^{24} p_j^{\text{ТП2}} \geq 3660 \text{ кН} . \quad (17)$$

Обеспечение возможности разделения отцепов на стрелочных переводах до ТП2 (9) и (10):

$$\sum_j^{24} p_j^{\text{ТП1}} \geq 0 , \quad (18)$$

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$\sum_j^{24} p_j^{\text{ТП2}} + 0,431 \sum_j^{24} p_j^{\text{ТПП}} \geq 3670 \text{ кН}. \quad (19)$$

Обеспечение допустимой скорости отцепа в РТ (12):

$$\sum_j^{24} p_j^{\text{ТП1}} + 1,087 \sum_j^{24} p_j^{\text{ТП2}} + 0,469 \sum_j^{24} p_j^{\text{ТПП}} \geq 3990 \text{ кН}. \quad (20)$$

Обеспечение допустимой скорости входа отцепа на башмачную тормозную позицию (14):

$$\sum_j^{24} p_j^{\text{ТП1}} + 1,090 \sum_j^{24} p_j^{\text{ТП2}} + 0,464 \sum_j^{24} p_j^{\text{ТПП}} \geq 2976 \text{ кН}. \quad (21)$$

В процессе эксплуатации сортировочной горки после выполнения измерений усилий нажатия их шин на колесо должно проверяться выполнение условий (15)–(21) и, по результатам проверки, устанавливаются режимы роспуска.

Выводы

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Действующая в настоящее время нормативная документация железных дорог не устанавливает жестких критериев по отключению замедлителей для ремонта из-за недостаточной тормозной мощности, а также научнообоснованных методов эксплуатации сортировочных горок в таких условиях. В результате на сортировочных горках повышается вероятность нарушения требований ПТЭ и возникновения транспортных происшествий.

2. Для обеспечения безопасности сортировочного процесса в условиях потери тормозной мощности замедлителями могут применяться мероприятия, основанные на снижении скорости роспуска, прерывании роспуска, использовании дополнительного башмачного торможения, более частого осаживания и подтягивания вагонов в процессе подготовки путей к роспуску. В статье представлена методика, позволяющая установить граничные значения усилий нажатия их шин на колесо, при которых необходимо выполнять переход в различные защищенные состояния сортировочного процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бобровский, В. И. Анализ эффективности режимов торможения отцепов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. В. Рогов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 11. – С. 103–111.
2. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко [и др.]. – Днепропетровск : Маковецкий, 2012. – 236 с.
3. ГБН В.2.3-37472062-1:2012. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування : затв. наказом М-ва інфраструктури України 17.01.2013 р. № 25. – Київ : М-во інфраструктури України, 2012. – 112 с.
4. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв механізованих і автоматизованих сортувальних гірок на залізницях України : ЦШ–0048 : затв. наказом Укрзалізниці 12.012. 2006 р. №491-Ц. – Київ, 2007. – 153 с.
5. Кобзев, В. А. Направление совершенствования исполнительных устройств горочных замедлителей / В. А. Кобзев // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996. – № 10. – С. 30–33.
6. Козаченко, Д. Н. Устойчивость вагонов при торможении замедлителями / Д. Н. Козаченко, С. О. Пожидаев, К. И. Железнов // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 10. – С. 57–63.
7. Куценко, М. Ю. Визначення максимальної довжини відчепа на сортувальних гірках Південної залізниці в умовах використання нових уповільнювачів / М. Ю. Куценко, Ю. Ю. Єфіменко, В. В. Ворона, Н. М. Куріліна // Зб. наук. пр. / Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2014. – Вип. 146. – С. 38–42.
8. Лисенков, В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов : учебник для вузов / В. М. Лисенков. – Москва : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.
9. Методичні рекомендації операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках : затв. наказом Укрзалізниці від 22.02.2013 р. № 042-Ц/од. – Київ : Інпрес, 2013. – 108 с.
10. Модин, Н. К. Безопасность функционирования горочных устройств / Н. К. Модин. – Москва : Транспорт, 1995. – 173 с.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

11. Муха, Ю. А. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин [и др.]. – Москва : Транспорт, 1994. – 220 с.
12. Островский, А. М. Пропуск вагонов с опасными грузами через сортировочные горки / А. М. Островский, А. М. Лисютин // Науч. тр. SWorld. – Иваново, 2012. – Т. 2, № 1. – С. 38–41.
13. Пожидаев, С. А. Автоматизированное проектирование плана горочной горловины с учётом обеспечения безопасного взаимодействия длиннобазного подвижного состава / С. А. Пожидаев, Е. А. Филатов, Е. Н. Иванов // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 6. – С. 82–85.
14. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР : ВСН 207–89. – Москва : Транспорт, 1992. – 104 с.
15. Сачко, В. И. Специализированная система поддержки принятия решений по техническому обслуживанию и ремонту горочного оборудования / В. И. Сачко, В. А. Тартынский // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. – 2010. – № 3 (39). – С. 188–122.
16. Сенько, В. И. Анализ причин повреждения и возможности продления срока службы боковых рам тележек грузовых вагонов / В. И. Сенько, М. И. Пастухов, С. В. Макеев, И. Ф. Пастухов // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2010. – № 4. – С. 13–18.
17. Харитонов, Б. В. Пути снижения повреждаемости боковых рам тележек грузовых вагонов на сортировочных горках : дис. ... канд. техн. наук / Харитонов Борис Владимирович ; ВНИИЖТ. – Москва, 1999. – 132 с.
18. Шабельников, А. Н. Управление тормозными средствами сортировочных горок: повышение качества и эффективности / А. Н. Шабельников, И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. – 2015. – № 2. – С. 74–79.
19. Шиш, В. О. Автоматизація та механізація технологічних процесів на сортувальних станціях / В. О. Шиш // Залізн. транспорт України. – 2011. – № 3. – С. 44–47.
20. Bobrovskiy, V. Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh [et al.] // Transport problems. Problemy transporty. – 2016. – Vol. 11. – Iss. 1. – P. 147–155. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.14.
21. Prokop, J. Design of Hump Profile in Railroad Classification Yard / J. Prokop, Sh. Myojin // Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University. – 1993. – Vol. 27, № 2. – P. 41–58.
22. Zarecky, S. The newest trends in marshalling yards automation / S. Zarecky, J. Grun, J. Zilka // Transport Problems. – 2008. – Т. 3, vol. 4, pt. 1. – P. 87–95.
23. Zhang, C. Analysis of Hump Automation in China / C. Zhang, Y. Wei, G. Xiao [et al.] / Proc. of Second Intern. Conf. on Transportation and Traffic Studies. – 2000. – P. 285–290. doi: 10.1061/40503(277)45.
24. Zhang, C. Research on Multi-objective Optimization of Vertical Section of the Hump Pushing Zone / C. Zhang, Y. Li // Optoelectronics and Image Processing (ICOIP) : Proc. of Intern Conf. (11.11–12.11.2010). – Haiko, 2010. – Vol. 2. – P. 262–265. doi: 10.1109/ICOIP.2010.274.

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}, В. І. БОБРОВСЬКИЙ^{2*}, С. В. ГРЕВЦОВ^{3*}, М. І. БЕРЕЗОВИЙ^{4*}

^{1*}Науково-дослідна частина, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта kozachenko@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 444 63 95, ел. пошта bvi1973@yandex.ua, ORCID 0000-0001-8622-2920

^{3*}Львівський коледж транспортної інфраструктури Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Снопківська, 47, м. Львів, Україна, 79011, тел. +38 (032) 27614 90, ел. пошта Grevtsov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2925-4293

^{4*}Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ ПРИ ЗМЕНШЕННІ ГАЛЬМІВНОЇ ПОТУЖНОСТІ УПОВІЛЬНЮВАЧІВ

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Мета. Дослідження спрямовано на розробку вимог до організації сортувального процесу в умовах, коли потужність гальмівних позицій є меншою за номінальну. **Методика.** Дослідження виконані з використанням методів теорії безпеки руху поїздів та математичного моделювання гіркових процесів. **Результати.** Чинні нормативно-технічні документи, що регламентують експлуатаційну роботу сортувальних гірок, не містять прямих вказівок про порядок дій у разі втрати вагонними уповільнювачами гальмівної потужності, в результаті чого виникають загрози безпеці руху. Зазначена проблема досить гостро стоїть перед залізницями України у зв'язку з хронічним дефіцитом коштів на ремонт і оновлення технічних засобів, в тому числі й сортувальних гірок. У той же час суттєве падіння обсягів роботи призводить до того, що необхідна переробна спроможність гірок може бути забезпечена і при часткових відмовах уповільнювачів. Найважливішим завданням при цьому є забезпечення безпеки розпуску в умовах параметричних відмов уповільнювачів. На підставі аналізу небезпечних ситуацій, виникнення яких можливе на сортувальній гірці, а також моделювання скочування відчепів встановлено зв'язок між величиною зусиль натискання шин уповільнювачів на колеса вагонів та режимами розпуску, що забезпечують безпеку сортувального процесу. Встановлено області застосування таких заходів, як зниження швидкості розпуску, переривання розпуску, використання додаткового гальмування башмаками. **Наукова новизна.** Вперше отриманий комплекс залежностей, що визначають експлуатаційні вимоги до потужності сповільнювачів сортувальних гірок і дозволяють експлуатаційному персоналу вводити обґрунтовані обмеження режимів розпуску для забезпечення безпеки сортувального процесу. **Практична значимість.** Результати виконаних досліджень можуть бути використані для доповнення «Інструкції з технічного обслуговування пристроїв механізованих і автоматизованих сортувальних гірок» із метою визначення обмежень режимів розпуску при виявленні зменшення потужності уповільнювачів нижче номінальної.

Ключові слова: сортувальна гірка; вагонний уповільнювач; безпека руху поїздів; сортувальний процес; розформування составів

D. M. KOZACHENKO^{1*}, V. I. BOBROVSKYI^{2*}, S. V. GREVTSOV^{3*}, M. I. BEREZOVIY^{4*}

^{1*}Research Department, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail kozachenko@upp.diiit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}Dep. «Stations and Junctions», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 444 63 95, e-mail bvi1973@yandex.ua, ORCID 0000-0001-8622-2920

^{3*}Lviv College of Transport Infrastructure at Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Snopkivska St., 47, Lviv, Ukraine, 79011, tel. +38 (032) 276 14 90, e-mail Grevtsov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2925-4293

^{4*}Dep. «Stations and Junctions», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 03, e-mail niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

CONTROLLING THE SPEED OF ROLLING CUTS IN CONDITIONS OF REDUCTION OF BRAKE POWER OF CAR RETARDERS

Purpose. The study aims to develop the requirements for organization of the marshalling process in the conditions when the power of retarder positions is less than the nominal one. **Methodology.** The research is carried out using the train traffic safety theory and mathematical modelling of hump processes. **Findings.** The current technical standard documents regulating the operational performance of humps do not contain direct instructions on how to proceed in the event of brake power loss by car retarders, thus creating threats to the traffic safety. This problem is quite acute for the Ukrainian railways in connection with a chronic shortage of funds for the repair and renewal of technical equipment, including the humps. At the same time, a significant drop in the volume of work leads to the fact that the hump required processing capacity can be provided in case of partial failure of retarders as well. Herewith the most important task is to ensure the breaking-up safety in conditions of parametric failures of retarders. The analysis of dangerous situations, the occurrence of which is possible at humps, as well as the modelling of cut rolling, allowed establishing the connection between the value of retarder tire pressing force on the car wheels and the breaking-up modes, providing the safety of marshalling process. The paper sets the application areas of such measures as the breaking-up speed reduction, breaking-up termination, the use of additional braking by block hangers. **Originality.** It was firstly obtained the complex of dependencies that determine the performance requirements for the power of

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

hump retarders and allow the staff to enter the appropriate limits for breaking-up modes to ensure the marshalling process safety. **Practical value.** The results of the research can be used to supplement the «Instruction on the maintenance of facilities of mechanized and automated humps» in order to determine the limits of breaking-up modes when detecting the reduction of retarder power below the nominal one.

Keywords: hump; car retarder; traffic safety; marshalling process; breaking-up of trains

REFERENCES

1. Bobrovskiy V.I., Kozachenko D.N., Rogov N.V. Analiz effektivnosti rezhimov tormozheniya ottsefov na sortirovochnykh gorkakh [Analysis of the effectiveness of the braking modes of cuts on humps]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 11, pp. 103-111.
2. Bobrovskiy V.I., Kozachenko D.N., Bozhko N.P., Rogov N.V., Berezovyy N.I., Kudryashov A.V. *Optimizatsiya rezhimov tormozheniya ottsefov na sortirovochnykh gorkakh* [Optimization of Braking Modes on Gravity Hump Yard]. Dnepropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2012. 236 p.
3. GBN V.2.3-37472062-1:2012. *Sporudy transportu. Sortovalni prystroi zaliznyts. Normy proektuvannya* [Transport facilities. Sorting devices of railways. Design standards]. Kyiv, M-vo infrastruktury Ukrainy Publ., 2012. 112 p.
4. *Instruktsiia z tekhnichnoho obsluhovuvannya prystroiv mekhanizovanykh i avtomatyzovanykh sortovalnykh hirok na zaliznytsiakh Ukrainy: TsSh-0048* [Manual for devices maintenance of mechanized and automated humps on the Railways of Ukraine]. Kyiv, 2007. 153 p.
5. Kobzev V.A. Napravleniye sovershenstvovaniya ispolnitelnykh ustroystv gorochnykh zamedliteley [Improvement direction of actuating devices of hump retarders]. *Avtomatika, telemekhanika i svyaz – Automation, Telemechanics and Communication*, 1996, no. 10, pp. 30-33.
6. Kozachenko D.N., Pozhidayev S.O., Zheleznov K.I. Ustoychivost vagonov pri tormozhenii zamedlityami [Stability of rail cars when they braking by retarders]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezhen: zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Transport systems and transportation technologies: Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2015. issue 10, pp. 57-63.
7. Kutsenko M.Yu., Yefimenko Yu.Yu., Vorona V.V., Kurilina N.M. *Vyznachennia maksimalnoi dovzhyny vidchepa na sortovalnykh hirkakh Pivdennoi zaliznytsi v umovakh vykorystannya novykh upovilniuvachiv: zbirnyk naukovykh prats* [Determination of the maximum length of a cut on humps at the Southern Railway in conditions of new retarders usage]. Kharkiv, 2014, issue 146, pp. 38-42.
8. Lisenkov V.M. *Statisticheskaya teoriya bezopasnosti dvizheniya poyezdov* [Statistical theory of traffic safety]. Moscow, RISTI RAS Publ., 1999. 332 p.
9. *Metodychni rekomendatsii operatoram sortovalnykh hirok shchodo upravlinnia prystroiamy na mekhanizovanykh i avtomatyzovanykh sortovalnykh hirkakh* [Guidelines for operators of hump yards upon devices management at automated and mechanized hump yards]. Kyiv, Inpres Publ., 2013. 108 p.
10. Modin N.K. *Bezopasnost funktsionirovaniya gorochnykh ustroystv* [Function safety of hump devices]. Moscow, Transport Publ., 1995. 173 p.
11. Mukha Yu.A., Tishkov L.B., Sheykin V.P. *Posobiye po primeneniyu Pravil i norm proyektirovaniya sortirovochnykh ustroystv* [Guide for application of rules and norms of sorters designing]. Moscow, Transport Publ., 1994. 220 p.
12. Ostrovskiy A.M., Lisyutin A.M. Propusk vagonov s opasnymi gruzami cherez sortirovochnyye gorki [Handling of cars with dangerous freight through hump yards]. *Nauchnyye trudy SWorld* [Scholarly works SWorld], 2012, vol. 2, no. 1, pp. 38-41.
13. Pozhidayev S.A., Filatov Ye.A., Ivanov Ye.N. Avtomatizirovannoye proyektirovaniye plana gorochnoy gorloviny s uchetom obespecheniya bezopasnogo vzaimodeystviya dlinnobaznogo podvizhnogo sostava [Automated design plan yard the neckline, taking into account secure the long-wheelbase interaction of rolling stock]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezhen: zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Transport systems and transportation technologies: Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2013, issue 6, pp. 82-85.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

14. *Pravila i normy proyektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh Soyuz SSR: VSN 207–89* [Rules and design standards of sorters on the railways of the USSR]. Moscow, Transport Publ., 1992. 104 p.
15. Sachko V.I., Tartynskiy V.A. Spetsializirovannaya sistema podderzhki prinyatiya resheniy po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu gorochnogo oborudovaniya [Specialized decision support system for the maintenance and repair of hump equipment]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universitetata putey soobshcheniya* [Bulletin of Rostov State Transport University], 2010, no. 3 (39), pp. 188-122.
16. Senko V.I., Pastukhov M.I., Makeyev S.V., Pastukhov I.F. Analiz prichin povrezhdeniya i vozmozhnosti prodleniya sroka sluzhby bokovykh ram telezhek gruzovykh vagonov [Analysis of damages and possibility of extending the service life of the side frames in freight car bogies]. *Vestnik GGTU im. P. O. Sukhogo* [Bulletin of Gomel State Technical University named after Sukhoi], 2010, no. 4, pp. 13-18.
17. Kharitonov B.V. *Puti snizheniya povrezhdayemosti bokovykh ram telezhek gruzovykh vagonov na sortirovochnykh gorkakh*. Kand.Diss. [Ways to reduce the damage of the side frames in freight car bogies on humps. Cand. Diss.]. Moscow, 1999. 132 p.
18. Shabelnikov A.N., Olgezyer I.A., Rogov S.A. Upravleniye tormoznymi sredstvami sortirovochnykh gorok: povysheniye kachestva i effektivnosti [Braking means controlling of marshalling yards: improving the quality and effectiveness]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of Rostov State Transport University], 2015, no. 2, pp. 74-79.
19. Shysh V.O. Avtomatyzatsiia ta mekhanizatsiia tekhnolohichnykh protsesiv na sortuvalnykh stantsiiakh [Automation and mechanization of processes for sorting stations]. *Zaliznychnyi Transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2011, no. 3, pp. 44-47.
20. Bobrovskiy V., Kozachenko D., Dorosh A., Demchenko E., Bolvanovska T., Kolesnik A. Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps. *Transport Problems. Problemy Transportu*, 2016, vol. 11, issue 1, pp. 147-155. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.14.
21. Prokop J., Myojin Sh. Design of Hump Profile in Railroad Classification Yard. *Memoirs of the Faculty of Engineering*, 1993, vol. 27, no. 2, pp. 41-58.
22. Zarecky S., Grun J., Zilka J. *The newest trends in marshalling yards automation*. *Transport Problems*, 2008. Vol. 3, vol. 4, pt. 1, pp. 87-95.
23. Zhang C. Wei Y., Xiao G., Wang Z., Fu J. Analysis of Hump Automation in China. Proc. of Second Intern. Conf. on Transportation and Traffic Studies, 2000, pp. 285-290. doi: 10.1061/40503(277)45.
24. Zhang C., Li Y. Research on Multi-objective Optimization of Vertical Section of the Hump Pushing Zone. Proc. of Intern Conf. «Optoelectronics and Image Processing (ICOIP)». Haiko, 2010, vol. 2, pp. 262-265. doi: 10.1109/ICOIP.2010.274.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Негреем В. Я. (Беларусь); д.физ.-мат.н., проф. Гаврилюком В. И. (Украина)

Поступила в редколлегию: 14.01.2016

Принята к печати: 12.05.2016