

СССР — МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аспирант П. А. ПИЛИПЧЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ
ДВУХПОЗИЦИОННОГО ТОРМОЖЕНИЯ ОТЦЕПОВ
НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ ПРИ АРС

(434. Эксплуатация железных дорог)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1970

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров транспорта.

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор **Ющенко Н. Р.**

Официальные оппоненты

доктор технических наук, профессор **Шафит Е. М.**,
кандидат технических наук, доцент **Златковский Б. Я.**

Ведущее предприятие Днепрогипротранс.

Автореферат разослан «*15*» *мая* 1970 г.

Защита состоится на заседании ученого совета института «*18 июня*»
1970 г.

г. Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2.

Ученый секретарь совета,
кандидат технических наук, доцент

(**Б. М. Климковский**).

СССР — МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аспирант П. А. ПИЛИПЧЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ
ДВУХПОЗИЦИОННОГО ТОРМОЖЕНИЯ ОТЦЕПОВ
НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ ПРИ АРС

(434. Эксплуатация железных дорог)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1970

42509

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт, как одно из звеньев материального производства, играет важную роль в выполнении решений партии и правительства по реализации основного закона социализма — максимальное удовлетворение постоянно растущих потребностей нашего народа.

Ритмичная работа транспорта обусловлена пропускной способностью перегонов и станций и особенно перерабатывающей способностью последних. В свою очередь, перерабатывающая способность станций, зачастую, лимитируется системой парк приема-сортировочная горка. Поэтому в последнее время наряду с модернизацией тяги, усилением верхнего строения пути, совершенствованием планирования и организации движения поездов, уделяется большое внимание механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях.

Проблему совершенствования сортировочных устройств успешно решали видные ученые проф. Гибшман Е. А., Рогинский Н. О., Бузанов С. П., а также проф. Никитин В. Д., Долаберидзе А. М., Шафит Е. М., Ющенко Н. Р., Яблонский А. А., кандидаты технических наук Страковский И. И., Быкадоров А. В., Федотов Н. И., Муха Ю. А., Златковский Б. Н., Буянова В. К., Скабалланович В. С. и другие.

Требования дальнейшего повышения производительности горок и устранения опасного ручного труда на сортировочных горках, выдвинули на первый план вопрос о комплексной механизации и автоматизации горочного процесса. В этой области плодотворно работают Лауреат государственной премии Фонарев Н. М., кандидаты технических наук Павлов В. Е.,

Красовский Г. А., инженеры Ратников В. Д., Тишков Л. Б. и др.

Проблемы механизации и автоматизации горок большой мощности ставятся и решаются многими исследователями. Значительное количество работ посвящено совершенствованию малых сортировочных устройств. В то же время недостаточно полно рассмотрены условия автоматизации горок средней мощности, к которым относится большинство горок сортировочных станций районного типа. Нечетко определены границы эффективного применения двухпозиционного торможения при автоматизированном роспуске составов на горке.

Тенденция концентрации переработки вагонов на небольшом числе технически хорошо оснащенных станций имеет веские основания. Но железные дороги образуют весьма разветвленную сеть. Переработка вагонов на узловых участковых станциях достигает значительных размеров, что обуславливает устройство на таких станциях сортировочных горок.

Здесь важно оценить технико-экономическую целесообразность принятия тех или иных параметров сортировочного устройства, а также этапность усиления их.

Исследованию способов оценки исходной информации, закладываемой в системы АРС и эффективности систем на горках средней мощности и посвящается настоящая работа.

Значительное внимание уделено исследованию влияния параметров отдельных устройств на величину скорости роспуска составов. В частности рассмотрены вопросы изменения ходового сопротивления отцепов при скатывании их по различным участкам горки. Установлены переменные тормозные характеристики замедлителей нажимного и весового типов и влияние их на точность регулирования скорости.

Для более полного учета возможностей сортировочного устройства, т. е. средней скорости роспуска и времени расформирования составов, разработана методика формирования группы расчетных составов, в совокупности отражающих структуру перерабатываемого на горке вагонопотока.

Исходя из методологии современного научного поиска, в работе используется моделирование горочных процессов на ЭЦВМ и ЭВМ. Разработан способ комплексного расчета средней скорости роспуска составов на горке, позволяющий также исследовать влияние на темпы роспуска параметров отдельных устройств. Сравнения показывают, что результаты расчета дают удовлетворительную сходимость с данными эксперимента и натуральных наблюдений.

Основная часть экспериментальных работ проведена на станциях: Шкиротава, Прибалтийской ж. д., Ленинград—Сортировочный—Московский и Нижнеднепровск—Узел, Приднепровской ж. д.

Краткий обзор средств регулирования скорости движения отцепов на сортировочных горках

В течение более чем полувековой истории развития сортировочных горок, ручное торможение отцепов на спускной части горки заменено, в основном, двухпозиционным механизированным.

В настоящее время стремятся также заменить башмачные тормозные позиции на путях сортировочного парка механизированными замедлителями весового или нажимного действия и замедлителями других типов.

Ведутся разработки весовых и электродинамических замедлителей-ускорителей, которые позволили бы не только тормозить хорошие бегуны, но и ускорять плохие, создавая параллельный график спуска отцепов с горки.

Стремление увеличить длину управляемого скатывания вызывает некоторое удлинение групповых позиций замедлителей или приводит к разработке и применению малогабаритных гидравлических замедлителей, рассредоточенных по всей горочной горловине.

Однако, применение длинных тормозных позиций ухудшает динамические характеристики горки. Регулирование скорости движения отцепов системой маломощных замедлителей и замедлителей-ускорителей также пока не нашло применения на горках сети.

Парковые позиции на горках большой мощности приходится оборудовать металлоемкими и дорогостоящими замедлителями Тип 50 и КВ-62М.

Вместе с тем более чем на 40 сортировочных станциях средней и большой мощности механизирована только спускная часть горки. В начале сортировочных путей размещаются резервные башмачные позиции. Это вызывает необходимость совершенствования способов регулирования скорости отцепов на тормозных позициях спускной части горки.

Научно-техническая революция и внедрение электроники и вычислительной техники на транспорте обусловили разработку систем горочной автоматики, среди которых важное зна-

чение имеет система автоматического торможения скатывающихся отцепов (АРС).

Находящиеся в опытной эксплуатации системы АРС ЦНИИ и АРС ГТСС осуществляют регулирование скорости на трех позициях. Для сортировочных горок средней мощности, при определенных объемах переработки, устройство парковых позиций может оказаться экономически нецелесообразным. Возникает необходимость исследования технических возможностей и эффективности двухпозиционного автоматического регулирования.

Вариант системы АРС на горке с двумя тормозными позициями в подгорочной горловине рассматривается также и как первый этап системы АРС на горке.

На механизированных горках первая тормозная позиция обычно размещается до головной разделительной стрелки и выполняет функции интервального регулирования.

Применение прогрессивных видов тяги, мощных замедлителей и стрелочных переводов крутых марок, позволяют проектировать горки средней мощности с компактными горловинами и более крутым скоростным уклоном, благодаря чему устраняется (при среднем темпе роспуска) необходимость интервального торможения до пучковых т. п. Сосредоточенное торможение на спускной части горки характерно для некоторых европейских стран. Более высокие темпы роспуска достигаются при двухпозиционном регулировании в сочетании с переменной скоростью надвига составов.

Влияние характеристик тормозных средств и ходового сопротивления отцепов на точность работы системы АРС по двухпозиционной схеме.

Ходовые качества отцепа определяются его удельным сопротивлением движению и маршрутом скатывания.

Как показали исследования, проведенные у нас и за рубежом (Англия, Франция, ВНР) ходовое сопротивление изменяется по мере удаления отцепа от горба горки.

Характер изменения ω_{o+ck} исследовался на одной из горок сети сотрудниками ЦНИИ МПС. Была показана регрессия ω_{o+ck} при скатывании отцепа по отдельным участкам горки.

Исследования, проведенные автором с помощью телеизмерительной аппаратуры ДИИТа, также показали линейную корреляцию между ходовым сопротивлением вагонов тяже-

лой и легкой весовых категорий на промежуточном участке и в разделительной зоне горки. Приближенно эту зависимость можно выразить формулой:

$$\omega'_{o+ck} = a + b \omega'_{o+ck}, \quad (1)$$

где ω'_{o+ck} — ходовое сопротивление одиночного отцепа (с учетом сопротивления от стрелок и кривых) в промежуточной зоне;

ω''_{o+ck} — то же в разделительной зоне;

a, b — эмпирические коэффициенты, устанавливаемые экспериментально для каждого маршрута скатывания.

Обработка материалов эксперимента, проведенного горочно-испытательной лабораторией ДИИТа на ряде горок, подтвердили характер ходового сопротивления вагонов тяжелой весовой категории при скатывании их по различным участкам сортировочной горки.

При использовании в горочной автоматике замедлителей нажимного или весового типа, важное значение имеют их мощность и время срабатывания. Точность реализации заданной скорости выхода отцепа из тормозной позиции находится в прямой зависимости от удельной тормозной мощности и инерционности замедлителей.

Экспериментальные испытания нажимных замедлителей Тип 50 и КНП5-64, проведенные научно-исследовательской горочно-испытательной лабораторией ДИИТа, при участии автора, показали изменение тормозной характеристики замедлителей в зависимости от числа тормозимых осей и длины тормозного пути. Центр тяжести эпюры тормозных сил смещается вправо. На второй половине зоны торможения погашается 54—57% от общей величины погашаемой энергетической высоты.

Дополнительная обработка осциллографической записи кривых скорости, полученных при испытании горочно-испытательной лабораторией замедлителей КВ-62М, свидетельствует о том, что распределение тормозных сил в зоне действия замедлителя аналогично эпюре нажимных замедлителей.

Статические характеристики замедлителей, выражающие зависимость мощности замедлителей от давления воздуха в тормозной магистрали, определены в работах д. т. н., проф. Е. М. Шафит. Им же рассмотрены динамические характеристики системы пневмопривод-замедлитель и установлено, что

основным источником погрешностей регулирования скорости служит периодический режим колебаний автоматического регулятора.

Влияние инерционности замедлителей исследуется в работе путем моделирования работы авторегулятора с учетом переменной тормозной характеристики замедлителей ($\chi_{т}$) и переменного уклона тормозной позиции.

Отцеп рассматривается как материальная точка, движущаяся по эквивалентному профилю. Тормозная характеристика задается в виде ступенчатой функции. Длительность отдельных элементов циклов торможения и растормаживания принята по экспериментальным данным. Изменение $\chi_{т}$ в переходных режимах аппроксимированно линейной зависимостью.

Для более полного учета длительности отдельных периодов цикла, шаг перемещения отцепа принят равным $\Delta s = 0,5$ м. Счет скорости в конце каждого перемещения производится по формуле

$$v_{i+1} = \sqrt{v_j + g' \Delta S [i_j - k \chi_{тi} - (\omega_0 + \omega_{св})]} 10^{-3} \quad (2)$$

где Δs — интервал счета скорости;

i_j — уклон участка тормозной позиции, по которому движется отцеп;

$\chi_{т}$ — тормозная характеристика участка;

k — коэффициент, учитывающий изменение тормозной характеристики в переходных режимах;

g' — скорректированная величина ускорения силы гравитации;

$\omega_0, \omega_{св}$ — основное удельное и сопротивление от среды и ветра.

Исследования, выполненные нами на модели с использованием ЭВМ «Промінь», показали большую скорость сходимости процесса автоколебаний при использовании на тормозной позиции в качестве выходного менее мощного замедлителя, например, при схеме КВЗ + Тип 50. На позиции, составленной из равномошных замедлителей, наблюдаются большие колебания скорости выхода вокруг заданного значения ($v''_{вых}$).

Установлено также снижение точности вытормаживания $v''_{вых}$ при небольших скоростях входа отцепов в замедлители. Происходит это вследствие того, что цикл повторного торможения приходится на участки с высокой тормозной характеристикой. Так как уклон второй т. п. постепенно уменьшается

до величины уклона разделительной зоны, то перетормаживание отцепа лишь в незначительной степени компенсируется разгоном его на оставшейся части тормозной позиции.

Выполненные расчеты показали, что влияние инерционности можно уменьшить понижая ступени торможения замедлителей от входа к выходу, создавая т. п. со средней ниспадающей тормозной характеристикой.

Моделирование работы позиции автоматических замедлителей позволяет также определить степень влияния инерционности их на точность вытормаживания заданной скорости выхода отцепов, что используется, в дальнейшем, при моделировании роспуска составов на сортировочных горках.

Уточнение исходной информации о структуре перерабатываемого вагонопотока

Скорость роспуска составов на горке, а следовательно и производительность сортировочного устройства можно определить моделируя роспуск некоторых расчетных составов.

Композиции расчетных составов должны как можно полнее учитывать структуру вагонопотока, поступающего в переработку.

Для набора составов используются статистические данные о распределении числа отцепов в составах, распределение отцепов по длине и весовой категории. Соответствующие данные получаем путем обработки размеченных натуральных листов, откорректированных по исполненным сортировочным листкам.

Поток отцепов подразделяется на четыре весовых категории, в соответствии с градацией, принятой в системе АРС ЦНИИ. Отцепы в составе до 5 вагонов учитываются с подразделением по числу вагонов в отцепе.

Для более полного отражения сочетаний маршрутов попарного следования отцепов, а также маршрутов отцепов, следующих через один интервал, рассчитываются соответствующие вероятности разделения отцепов на стрелочных позициях горочной горловины $V_{\text{рэд}}$.

Расчеты по составам, поступившим в расформирование за трехсуточный период, выявили неравномерное разделение отцепов на несимметричных горловинах и показали, что $V_{\text{рэд}}$ на последних стрелках отцепов, следующих через один интервал, примерно в три раза выше по сравнению с разделением смежных отцепов.

Для симметричных горловин предложена формула определения $B_{\text{рзд}}$, исходя из условий равномерного распределения отцепов по путям сортировочного парка:

$$B_{\text{рзд}} = \frac{N_i}{\Sigma N - 1}, \quad (3)$$

где N_i — число путей, на которые отклоняются отцепы по данной стрелке;

ΣN — общее число путей в сортировочном парке.

Установлено влияние на $B_{\text{рзд}}$ специализации сортировочных путей и даны рекомендации по улучшению специализации путей, обеспечивающей более благоприятное разделение отцепов.

Назначения отцепов расчетных составов определяется учетом распределения отцепов по путям сортировочного парка и $B_{\text{рзд}}$ отцепов, следующих через один интервал, с помощью групп натуральных рядов и таблицы случайных чисел.

Аналогичным способом с помощью групп натурального ряда, построенного с учетом мощности назначений на отдельные пути, определяем длину свободных участков сортировочных путей.

Проведенный набор расчетных составов для одной из горок сети и последующие проверки соответствия статистикам генеральной совокупности составов позволили сделать вывод, что композиции расчетных составов в достаточной степени отражают структуру вагонопотока, перерабатываемого на горке. Это позволяет определять среднюю скорость роспуска, моделируя расформирование расчетных составов. Ориентировочное число расчетных составов может определяться формулой, приведенной в разработках ЦНИИ МПС:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (4)$$

где n — необходимое количество расчетных составов;

t — мера достоверности получения требуемой точности;

σ^2 — дисперсия средней скорости роспуска отдельных составов, число которых предварительно набирается от 7 до 10;

Δ — требуемая точность расчетов.

Основные положения алгоритма двухпозиционного регулирования скорости роспуска составов на горке

В настоящее время системы АРС и большинство алгоритмов, моделирующих процесс роспуска составов, исходят из размещения замедлителей преимущественно на трех тормозных позициях.

Металлоемкость и высокая стоимость находящихся в эксплуатации замедлителей сдерживает механизацию и автоматизацию торможения в начале сортировочных путей.

Внедрение на первом этапе АРС на двух позициях преследует задачи улучшения интервально-целевого регулирования, облегчения труда башмачников и горочных операторов. Более совершенным регулированием скорости на спуске можно компенсировать нехватку башмачников, характерную для станций большинства промышленно развитых стран Европы.

Исследования, проведенные в ЦНИИ МПС, ГТСС, ДИИТе и НИИЖТе показали, что условия работы горочной автоматики будут наиболее благоприятными при четком разграничении функций тормозных позиций. При постоянной скорости роспуска первая тормозная позиция обеспечивает выход отцепов со скоростью, удовлетворяющей условиям интервального регулирования до второй позиции включительно. Вторая т. п. осуществляет интервально-целевое регулирование на остальной части маршрута.

При переменной скорости роспуска, лучшим способом оптимизации режимов торможения является предварительное моделирование роспуска состава на УВМ (ЭЦВМ). В процессе разработки алгоритма и отладки программы функции тормозных позиций, с целью уменьшения ограничений накладываемых системой АРС, уточнены следующим образом:

— горочный локомотив обеспечивает интервальное регулирование до первого замедлителя верхней позиции включительно;

— на первой тормозной позиции вытормаживаются интервалы до второй позиции и на первом ее замедлителе.

Целевое регулирование производится, как правило, на нижней позиции. На первой позиции притормаживаются лишь хорошие бегуны и длинные отцепы. Оказалось, что погашение на верхней позиции 15 ÷ 25% избыточной энергетической высоты в точке «прицеливания», незначительно снижает скорость роспуска. Меньшее значение относится к горкам с нажимными

замедлителями, обеспечивающими более низкий темп торможения, большее—при благоприятных условиях роспуска. При этом мощность первой позиции будет использоваться более полно.

В этой связи алгоритмом предусмотрена возможность изменения функций обеих тормозных позиций.

При постоянной скорости роспуска, скорости выхода отцепов из тормозных позиций ограничиваются минимальными значениями, удовлетворяющими условиям интервального регулирования в разделительной зоне.

Основу алгоритма модели, реализованной на ЭЦВМ «Урал-3» составляет последовательный выбор оптимальных значений начальных скоростей и режимов движения отцепов, при которых условия интервального регулирования не противоречат условиям целевого регулирования.

При моделировании роспуска составов, учитываются дополнительные дифы, вызванные реализацией заданных скоростей выхода отцепов из тормозных позиций с определенной погрешностью.

Предварительно определяются законы и параметры распределения погрешностей в скорости выхода отцепов из тормозных позиций от датчиков скорости, устройств управления и вызванные инерционностью замедлителей.

Закон распределения суммарной погрешности в скорости выхода отцепов определяется композицией законов распределения отдельных составляющих.

Так на первой тормозной позиции, одной из горок, все составляющие соответствуют нормальному закону. В этом случае параметры, также нормального закона распределения, определяются суммированием математических ожиданий и дисперсий отдельных составляющих.

На второй позиции погрешности в работе скоростемера и устройств управления соответствуют нормальному закону:

$$f_1(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (5)$$

а погрешности от инерционности замедлителей подчиняются закону равномерной плотности:

$$f_2(y) = \frac{1}{\beta-\alpha} \quad \text{при } \alpha < y < \beta. \quad (5a)$$

Применив композицию законов распределения, получаем:

$$\begin{aligned}
 g(z) &= \frac{1}{\beta - \alpha} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-y-m)^2}{2\sigma^2}} dy = \\
 &= \frac{1}{\beta - \alpha} \int_{\beta}^{\alpha} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-(z-m))^2}{2\sigma^2}} dy. \quad (6)
 \end{aligned}$$

Подынтегральная функция в формуле (6) есть нормальный закон с центром рассеивания $z-m$ и среднеквадратическим отклонением σ .

Применительно к массовым бегунам, задаются параметры распределения дополнительных дифов в промежуточной и раздельной зонах — $M[\Delta t_{\xi}]$ и σ_{ξ} .

Режимы торможения корректируются с учетом безопасного следования отцепов, идущих через один интервал.

До разработки и внедрения на горках малогабаритных специализированных УВМ, приближенный расчет режимов торможения и начальных скоростей отцепов может производиться и реализовываться, например, устройствами АЗСР-ЦНИИ.

Моделирование на ЭЦВМ отпуска составов с горки при двухпозиционном торможении

В настоящее время накоплен значительный опыт применения вычислительных машин в горочных расчетах.

Анализ способов машинного моделирования скатывания отцепов и отпуска составов показывает, что составленные программы реализуют алгоритмы, в основном трехпозиционного торможения.

Необходимость составления программы, моделирующей отпуск составов при двухкратном торможении, вызвана особенностями алгоритма, стремлением более полно учесть информацию о структуре перерабатываемого вагонопотока, о мощности тормозных средств и величине сопротивления движению отцепов, а также погрешности регулирования скорости.

При проверке динамических характеристик горки, предшествующей механизации или автоматизации, особенно при наложении системы АРС на существующий профиль, представляется целесообразным, для более полного учета профильной силы, производить кусочно-линейную аппроксимацию профиля горки небольшими участками.

Для сокращения машинного времени счета, скорость и время хода отцепа определяются после нескольких метровых перемещений. Удовлетворительная точность расчетов сохраняется при длине участков перемещения $8 \div 10$ м. Средний уклон участков перемещения определяется:

$$i_{\text{тек уи}} = \frac{\sum_1^n i_{\text{тек}}}{\sum_1^n \Delta S}. \quad (7)$$

Формула определения скорости движения отцепов, полученная на основе уравнения, обобщенного для отцепов различной длины и нагрузки, д. т. н., проф. Е. М. Шафит, записывается следующим образом:

$$v_{i+1} = \sqrt{v_i^2 + 2g' \Sigma \Delta s \left\{ \frac{\sum_1^n i_{\text{тек}} - \sum_1^n \gamma_{\text{т}}(s - s_{\text{к}}) [\sigma_0(s - s_{\text{к}}) - \sigma_0(s - s_{\text{к}} - l_{\text{тк}})]}{\sum_1^n \Delta s} - \Sigma \omega \right\} 10^{-3}}, \quad (8)$$

где v_i, v_{i+1} — скорость в начале и конце участка;
 $\gamma_{\text{т}}$ — тормозная характеристика к-той тормозной позиции;
 $s, s_{\text{к}}$ — координаты, текущая и начала к-той тормозной позиции;
 $l_{\text{тк}}$ — длина зоны торможения к-той тормозной позиции (с учетом колесной базы отцепа);
 $\Sigma \omega$ — удельное сопротивление движению и сопротивление от среды и ветра;
 σ_0 — единичная функция.

Счет скорости движения отцепов, с равномерной погонной нагрузкой, начинается с момента отрыва от состава, когда выполняется условие:

$$i_{\text{тек}} - (\omega_0 + \omega_{\text{св}}) \geq 0. \quad (9)$$

При отсутствии на горке измерительного участка, прибли-

женные данные об удельном сопротивлении движению отцепов можно получить по весовой категории.

Удельное сопротивление движению вагонов соответствующей категории представляет собой случайную величину, распределенную по нормальному закону. С помощью датчика псевдослучайных чисел, равномерно распределенных в интервале $(0,1)$, и параметров распределения ω_0 в отдельных весовых категориях, значение конкретного отцепа определяется по формуле:

$$\omega_{0i} = M[\omega_{0(\text{в. к.})}] + \sigma_{\omega} \left(\sum_1^{12} \xi - 6 \right), \quad (10)$$

где $M[\omega_{0(\text{в. к.})}]$ — математическое ожидание основного удельного сопротивления движению вагонов данной категории;

σ_{ω} — основное отклонение ω_0 ;

$\sum_1^{12} \xi$ — псевдослучайные числа, равномерно распределенные в интервале $(0,1)$.

Предусмотрена также возможность задания отцепу любого значения ω_0 как с разбросом, так и без учета его. В последнем случае $\sigma_{\omega} = 0$.

Энергетическая высота, которая может быть погашена на т. п. также формируется по параметрам нормального распределения H_T по формуле аналогичной (10). Полученными значениями H_T ограничивается мощность первой и второй тормозных позиций.

Предварительно всем отцепам задается довольно высокая начальная скорость, не превышающая допустимой по условиям безопасной ручной расцепки вагонов $v_0 = 3,0$ м/сек.

Скатывание первого отцепа производится с соблюдением всех ограничений скорости на спускной части горки и в точке «прицеливания». Времена хода отцепа за разделительные элементы «запоминаются».

Для второго и последующих отцепов, после определения точки отрыва, вычисляется начальный интервал:

$$t_0 = \frac{2(l_i + p_{i+1} - p_i)}{v_{i+1} + v_i}, \quad (11)$$

где l_i — длина отцепа по осям автосцепок;

$p_{i, i+1}$ — точки отрыва смежных отцепов;

$v_{i, i+1}$ — начальные скорости отцепов.

Скорость скатывания отцепа ограничивается по интервалу на замедлителях тормозных позиций и стрелке деления с предыдущим отцепом:

$$(\Sigma t_{II} + t_0) - (\Sigma t_I + t_{пз} + \Delta t_{\xi}) \geq 0, \quad (12)$$

где Σt_{II} — время хода второго отцепа до начала изолированных секций стрелок и замедлителей;

Σt_I — время хода первого отцепа за изолированные секции разделительных элементов;

Δt_{ξ} — временная добавка для компенсации погрешностей сопутствующих регулированию скорости.

Величина Δt_{ξ} формируется по параметрам распределения суммарной погрешности в скорости выхода отцепа.

При несоблюдении условия (12) производится интервальное торможение, а при полном использовании тормозной мощности или несоблюдении интервалов до первой позиции — снижается начальная скорость отцепа.

Для третьего и последующих отцепов производится проверка соблюдения интервалов с первым ($i-2$ -м) отцепом по условию:

$$(\Sigma t_{III} + \sum_1^2 t_0) - (\Sigma t_I + t_{пз} + \Delta t_{\xi}) \geq 0. \quad (13)$$

При необходимости режимы торможения корректируются по условию (13).

Скорость выхода отцепов со второй позиции должна быть достаточной для проследования его на расстояние не менее 10 м за предельный столбик. Несоблюдение этого условия приводит к повторному выбору режимов торможения при меньшем значении начальной скорости отцепа. Этим самым условия целевого регулирования улучшаются и отцеп, как правило, достигает заданную точку в сортировочном парке.

После расчета начальных скоростей для всех отцепов расчетного состава, производится корректировка их по тягово-тормозным характеристикам горочного локомотива.

Исследование влияния отдельных факторов на среднюю скорость роспуска. Сфера применения двухпозиционного торможения при АРС

Расчеты по ряду горок, выполненные с помощью ЭВМ показали, что с внедрением АРС на спуске горки достигается средняя скорость роспуска составов равная $1,6 \div 2,1$ м/сек.

Переменная скорость реализуется более полно, начиная примерно со второй трети состава, при этом наибольшее значение скорости достигается при мощности третьей тормозной позиции $0,4 \div 0,6$ м. э. в.

Для исследования влияния разброса значений тормозной мощности замедлителей на среднюю скорость роспуска ($v_{ср.р.}$) было произведено моделирование роспуска одного из расчетных составов при различных значениях основного отклонения $\sigma_n = 0,05 \div 0,20$ м. э. в. При этом $v_{ср.р.}$ снизилась до 1,42 м/сек. При $\sigma_n > 0,1$ скорость хороших бегунов, в отдельных случаях, снижалась до нуля.

Учитывая, что среднеквадратическое отклонение значений энергетической высоты, погашаемой замедлителями Тип 50, КНП-64 и КВ-62М колеблется в пределах $0,06 \div 0,19$ м. э. в., необходимо повысить требования к регулировке замедлителей, при использовании их в качестве исполнительных органов в системе АРС.

Так как отцеп управляется только на замедлителях, необходимо учитывать погрешности интервального, а при отсутствии резервного торможения в парке, также и целевого регулирования.

Зависимость скорости роспуска от величины погрешностей изучалась как при скатывании расчетного сочетания одиночных отцепов, так и при роспуске расчетных составов.

Расчеты показали, что при одинаковой погрешности в скорости выхода отцепа снижение темпа роспуска увеличивается с удалением разделительного элемента от позиции автоматизированных замедлителей.

Погрешности регулирования более сильно сказываются на скорости одиночных и коротких отцепов. Качество интервального регулирования влияет на скорость роспуска в меньшей степени, целевого — в большей.

Роспуск расчетных составов при различных параметрах распределения суммарной погрешности $M[\Delta t_{\Sigma}] = 0 \div 5$ сек и прочих равных условиях, показал снижение $v_{ср.р.}$ до 1,74 м/сек.

Возможная сфера применения двухпозиционного торможения при АРС может быть установлена после определения перерабатывающей способности сортировочной горки.

Путевое развитие механизированных горок средней мощности является более стабильной характеристикой, перерабатывающая способность — более динамичной. Поэтому решенные задачи исследования сферы применения АРС на спускной части горки основываем на способе оценки мощности сортиро-

вочного устройства по объему переработки вагонов, при данной схеме горловины, размещении тормозных средств и числе путей в сортировочном парке.

Суточную перерабатывающую способность горки можно определить по формуле:

$$N = \frac{1440 - \Sigma T_{\text{пост}}}{t_{\text{росп}} + t_{\text{и}}} m(1 - \beta), \quad (14)$$

где $t_{\text{росп}}$ — время на роспуск с горки одного состава, мин;
 $t_{\text{и}}$ — интервал между окончанием роспуска одного и началом роспуска другого состава, мин;

$\Sigma T_{\text{пост}}$ — перерыв в работе горки из-за неравномерности движения поездов, для ремонта оборудования и пр.;

m — средний состав поезда в учетных вагонах;

β — процент переработки на горке местных вагонов, вагонов с ремонтных путей и повторной переработки.

Интервал между роспусками составов на горке определяется:

$$t_{\text{и}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{оф}} + t_{\text{вр}}, \quad (15)$$

где $t_{\text{пр}}$ — время на проход локомотива от горба горки за разделительную стрелку парка приема;

$t_{\text{оф}}$ — время на окончание формирования (с учетом осаживания);

$t_{\text{вр}}$ — время перерывов в работе горки из-за враждебности маршрутов (в среднем на состав).

Эффективность оборудования устройствами автоматики только спускной части горки определяется соотношением наличной и потребной перерабатывающей способности горки и ростом вагонопотока, поступающего в переработку.

Для технико-экономического сравнения вариантов усиления мощности механизированных горок необходимо прогнозировать перерабатывающую способность горки на перспективу. Некоторые изменения в структуре вагонопотока: увеличение средней длины отцепы, вследствие увеличения процента маршрутизации и совершенствования системы организации вагонопотоков, усреднение ходовых свойств вагонов в результате реконструкции подвижного состава — улучшат условия работы горки.

Следует определить период, в течение которого производительность горки с автоматизированным торможением на спус-

ке будет соответствовать требуемой. Этот период в годах будет отдавать капитальные затраты на автоматизацию торможения в начале сортировочных путей. Тогда приведенные расходы поэтапной автоматизации сортировочной горки определяются из выражения:

$$E_{\text{эт}} = E_{\text{парс}} + K_0 E_{\text{арс}}, \quad (16)$$

где $E_{\text{парс}}$ — приведенные годовые расходы при внедрении АРС только на спуске горки;

$E_{\text{арс}}$ — дополнительные приведенные расходы на автоматизацию регулирования скорости в начале сортировочных путей.

Полученные по формуле (16) приведенные расходы сравниваются с расходами при одноэтапном внедрении системы АРС на спуске и в начале сортировочных путей и выбирается лучший вариант. В работе приводится пример использования методики сравнения вариантов усиления конкретной сортировочной горки.

Основные выводы и предложения

В диссертационной работе были выполнены теоретические исследования, исследования на модели, а также экспериментальные испытания замедлителей и отдельных устройств АРС с целью определения сферы применения двухпозиционных автоматизированных горок. В результате исследований установлено, что:

1. При внедрении на спускной части горки систем АРС и АЗСР-ЦНИИ, исключаящих башмачное торможение, перерабатывающая способность горки может быть доведена до 6000 вагонов в сутки, а срок окупаемости капложений будет не выше нормативного. Сохранение резервного торможения в парке (башмачники) эффективно при переработке на горке свыше 6 ÷ 8 тыс. вагонов.

2. Предложенный способ теоретического исследования темпов роспуска, параметров и характеристик отдельных устройств и структуры перерабатываемого вагонопотока, позволяет определять пути совершенствования и усиления технического оснащения горок:

а) показано некоторое уменьшение и усреднение ω_{0+ck} по мере скатывания отцепов с горки. Эта зависимость, устанавливаемая экспериментально, должна использоваться при наладке системы АРС;

б) тормозные характеристики как нажимных так и весовых замедлителей практически пропорциональны числу тормозимых осей. На второй половине зоны торможения погашается $54 \div 57\%$ общей энергетической высоты. Инерционность тормозных позиций, на выходе которых установлен менее мощный замедлитель, в меньшей степени влияет на точность реализации заданной скорости выхода.

Более точное регулирование обеспечивается при понижении ступеней торможения замедлителей от входных к выходному;

в) средняя скорость роспуска составов с горки наиболее полно может быть определена моделированием роспуска некоторых расчетных составов, набранных по разработанной методике и, в достаточной степени, отражающих структуру перерабатываемого горкой вагонопотока;

г) погрешности, сопутствующие интервальному регулированию скорости, не могут быть компенсированы на последующих тормозных позициях и должны учитываться при расчете скорости роспуска. Закон распределения суммарного отклонения скорости выхода из тормозной позиции от заданного значения может быть определен путем композиции законов распределения погрешностей от отдельных устройств (замедлителей, датчиков скорости, устройств управления);

д) автоматизированные замедлители первой позиции должны как правило, осуществлять интервальное регулирование до второй позиции и на ее первом замедлителе. Замедлители второй позиции осуществляют интервально-целевое регулирование на остальной части маршрута.

3. Комплексное исследование двухпозиционного регулирования скорости роспуска осуществлено благодаря составленным для ЭЦВМ «Урал-3» программам, моделирующим роспуск как с постоянной так и с переменной скоростью. При этом разработаны:

— способ определения эквивалентных уклонов, позволяющий рассчитывать скорость движения отцепа с любым интервалом;

— способ параметрического задания ходового сопротивления, тормозной мощности в маршруте и дополнительного диффа, вызванного отклонениями в скорости выхода отцепов из тормозных позиций.

4. Разработана библиотечка программ для ЭВМ «Проминь М». Исследовано влияние на среднюю скорость роспус-

ка разброса тормозной мощности замедлителей и дополнительного дифа, вызванного погрешностями регулирования.

5. Применение переменной скорости роспуска при двухпозиционном регулировании позволяет реализовать среднюю скорость роспуска составов на горке на уровне $1,5 \div 2,1$ м/сек. Способ расчета может быть применен при проектировании сортировочных горок с сосредоточенным и двухпозиционным торможением.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. П. А. Пилипченко. Об изменении ходового сопротивления при скатывании вагонов с сортировочной горки. Труды ДИИТ, вып. 81/5, 1967.

2. П. А. Пилипченко. Некоторые вопросы торможения вагонов замедлителями на сортировочных горках. Тезисы I Республиканской конференции молодых ученых-железнодорожников, ДИИТ, 1969.

3. П. А. Пилипченко. Моделирование на ЭЦВМ скатывания отцепов при роспуске составов с сортировочной горки. Там же.

4. П. А. Пилипченко, А. М. Бледный. Экспериментальное исследование тормозных характеристик нажимных замедлителей. Труды ДИИТ, вып. 90/6, 1969.

5. П. А. Пилипченко. Влияние отдельных факторов на среднюю скорость роспуска составов на горке. Тезисы докладов на VII Общесетевой научно-технической конференции по применению математических методов и ЭЦВМ в эксплуатации железных дорог, МИИТ, 1970.

Материалы диссертации использованы в следующих работах:

Отчет по теме № ГИЛ 426 «Исследование основных параметров и эксплуатационных показателей системы АРС и системы автоматического задания скорости роспуска составов (АЗСР-ЦНИИ) на сортировочной горке ст. Клепаров». Днепропетровск, 1969.

Отчет по содружеству с производством ГИЛ-69 «Организационно-технические мероприятия по повышению производительности сортировочных горок, повышению безопасности работы и совершенствованию технологии работы станции Нижнеднепровск-Узел Приднепровской ж. д.». Днепропетровск, 1969.

Работа докладывалась:

- на Первой Республиканской конференции молодых ученых-железнодорожников, ДИИТ, февраль 1969;
- на XXXII научно-технической конференции кафедр ХИИТа, октябрь 1969;
- на семинаре «Вычислительная техника и автоматическое управление» кафедры «Электронные вычислительные машины», ДИИТ, ноябрь 1969;
- на VII Общесетевой научно-технической конференции «Применение математических методов и ЭЦВМ в эксплуатации железных дорог», МИИТ, март 1970.

БТ 03757. Областная книжная типография
Днепропетровского областного управления по печати,
г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.
Заказ № 1100-м. Тираж 150. Объем 1,5 п. л. Подписано к печати 29.IV-70 г.