

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЦЕЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ ОБ ИХ ХОДОВЫХ СВОЙСТВАХ

Д. Н. КОЗАЧЕНКО, Р. Г. КОРОБЬЕВА, О. И. ТАРАНЕЦ

Представлена имитационная модель скатывания отцепов с горки учитывающая случайный характер их параметров и условий скатывания. Исследовано влияние различных факторов на условия прицельного регулирования скорости скатывания отцепов. Предложен критерий для оценки качества реализации прицельного регулирования скорости скатывания отцепов.

1. Введение

Основными преимуществами железнодорожного транспорта являются высокий уровень безопасности, низкое энергопотребление и низкая стоимость перевозок. Упрочнение позиций железных дорог на рынке транспортных услуг во многом зависит от развития этих конкурентных преимуществ. На решение указанных задач направлены «Программа энергосбережения на железнодорожном транспорте Украины» и «Программа внедрения технических средств безопасности движения на железных дорогах Украины в 2008-2012 годах». Одним из наиболее сложных и энергоемких технологических процессов, имеющих место при перевозке грузов железнодорожным транспортом, является расформирование составов на сортировочных горках. В современных условиях главным направлением повышения производительности и снижения расходов на функционирование сортировочных горок, эффективного использования технических средств, улучшения условий труда работников горки является автоматизация процесса расформирования составов. Поэтому вопросы исследования процессов расформирования составов на сортировочных горках и разработка методов оценки эффективности систем автоматизации роспуска в настоящее время являются весьма актуальными.

2. Анализ проблем автоматизации управления скоростью скатывания отцепов

Важной частью системы комплексной автоматизации процесса расформирования составов на сортировочных горках является подсистема автоматизированного управления скоростью отцепов в процессе скатывания с горки (АРС). Система АРС предназначена для расчета и последующего задания в реальном масштабе времени значений скорости отцепов при выходе из тормозных позиций, обеспечивающих выполнение условий разделения маршрутов скатывания отцепов на стрелочных переводах (интервальное регулирование) и безопасного соединения вагонов на сортировочных путях (прицельное регули-

рование). Для реализации указанных скоростей система АРС осуществляет автоматическое управление замедлителями, которое необходимо для обеспечения требуемой точности реализации заданных значений скорости выхода отцепов из тормозных позиций.

Работы по созданию АРС ведутся с 60-х годов XX века. При этом, эксплуатационные испытания первых отечественных систем автоматизации расформирования составов на горках АРС ЦНИИ и АРС ГТСС показали низкое качество интервального и прицельного регулирования скорости отцепов, высокую погрешность реализации заданных скоростей выхода и существенную долю вмешательства операторов в работу систем. Анализ результатов функционирования этих систем, приведенный в работах [1-5], позволил выявить основные причины низкого качества работы: жесткая структура и специфика используемой элементной базы, учет ограниченного числа влияющих на процесс факторов, недостаточно точные и малонадежные средства сбора и переработки информации, упрощенные технологические принципы (алгоритмы) определения необходимых режимов торможения отцепов и примитивные методы их реализации. Полученные результаты определили пути совершенствования технической базы, разработки теоретических и методологических основ систем управления расформированием составов. Основные идеи такого принципа регулирования реализованы в разработанных на новой технической базе и внедренных системах АСУ РСГ и КГМ. Опыт эксплуатации этих систем [6,7] показал, что они успешно реализуют функции управления маршрутами, регистрацию действий операторов и диагностику исполнительных элементов. Вместе с тем, функции интервального и прицельного регулирования практически не используются и реализуются операторами в ручном режиме. Это свидетельствует о недостаточном качестве системы управления этими процессами, а основными причинами являются: несовершенство технологических алгоритмов, недостоверная информация и неполный учет влияющих факторов, несовершенные способы реализации управляющих воздействий, недостатки технических средств регулирования.

С целью улучшения технико-экономических показателей сортировочного процесса во ВНИИАС (Россия) была разработана «Концепция механизации и автоматизации технологических процессов сортировочных станций» [7], предусматривающая решение указанных проблем. В рамках реализации этой концепции ведутся работы по созданию и внедрению новых систем [8]: АРС ТРАКТ, УУПТ, КГМ-ПК. Совершенствование этих систем, прежде всего, связано с использованием новых технических средств: современных промышленных компьютеров, замедлителей ВЗПГ и РНЗ-2М, новых скоростемеров РИС ВЗ-М, тензометрических весомеров, системы контроля занятости путей на базе индуктивно-проводных датчиков.

Оборудование сортировочных горок автоматизированными системами управления роспуском составов представляет также интерес и для Западно-Европейских фирм, которые внедряют свои продукты на рынке стран СНГ и Балтии. Так, например фирмой SIEMENS по проекту «Kreta IX» уже выполнена автоматизация сортировочной горки станции Вайдотай (Литва) [9] общей стои-

мостью 75,9 млн. лит (21,2 млн. Евро), и подписан меморандум о взаимопонимании, который предполагает автоматизацию станций Черняховск и Лужская-Сортировочная (Россия) [10].

Техническое обеспечение сортировочных горок Украины в настоящее время является изношенным и морально устаревшим. Наиболее совершенной системой на Украине является эксплуатируемый более 20 лет КГМ, которым оборудована Западная горка станции Красный Лиман. Другие сортировочные горки оборудованы системами, эксплуатируемыми 30-40 лет. Таким образом, вопросы модернизации и реконструкции сортировочных горок являются весьма актуальными. При этом, независимо от путей решения указанной проблемы, предусматривающих разработку собственных либо приобретение готовых систем у зарубежных производителей, актуальными являются вопросы оценки эффективности внедрения новой техники для автоматизации управления роспуском составов и оценки алгоритмов их управления. Явно недопустимым является положение, когда неприемлемость технических и технологических решений по автоматизации сортировочных процессов становится очевидной после введения и длительной эксплуатации дорогостоящих систем.

3. Моделирование скатывания отцепов в условиях неопределенности их ходовых характеристик и условий внешней среды

В современных условиях анализ конструкции и технического оснащения сортировочных горок выполняется на основании скатывания расчетной группы отцепов при известных параметрах отцепов и условиях внешней среды. Подобный подход дает возможность оценить лишь работоспособность сортировочной горки и не позволяет определять технико-экономические показатели их функционирования, ставить и решать задачи совершенствования их конструкции, технического оснащения и алгоритмов управления. В соответствии с [11] для оценки конкурирующих вариантов конструкции сортировочных горок необходимо выполнять имитационное моделирование роспуска потока составов на горке с помощью ЭВМ. При этом, показатели работы горок, стоимость их сооружения и эксплуатации существенно зависят от эффективности работы систем управления расформированием составов. Однако в настоящее время отсутствует не только программное обеспечение, которое может решать указанные задачи, но и соответствующая нормативная база, математические модели и методический подход в целом. В этих условиях задачи разработки математических моделей для технико-эксплуатационной оценки качества интервального и прицельного регулирования скорости отцепов на сортировочных горках являются весьма актуальными.

Интервальное регулирование представляет собой сложную оптимизационную задачу, окончательно в настоящее время не решенную. Погрешности определения и реализации заданных скоростей выхода в реальных условиях компенсируются за счет запаса начального интервала между отцепами на вершине горки (за счет потери производительности). Эти же погрешности при реализации прицельного регулирования приводят к образованию окон между вагонами на путях накопления или превышению допустимых скоростей соударе-

ния, что влечет за собой повреждение грузов и вагонов.

В отличие от интервального регулирования, определение скорости выхода отцепов из парковой тормозной позиции (ПТП) базируется на достаточно простом уравнении, которое является следствием фундаментального закона сохранения энергии:

$$v_{\text{ПТП}} = \sqrt{v_{\text{прц}}^2 - 2a(l_{\text{прц}} - l_{\text{ПТП}})}$$

где $v_{\text{ПТП}}$, $v_{\text{прц}}$ – соответственно скорости отцепа в момент выхода из ПТП и в точке прицеливания;

a – ускорение движения вагона на участке после ПТП;

$l_{\text{прц}}$, $l_{\text{ПТП}}$ – расстояние от вершины горки соответственно до точки прицеливания и точки выхода из ПТП.

Основополагающими вопросами реализации прицельного торможения являются определение координаты точки прицеливания l_x и величины ускорения движения отцепа a на участке l_x . Параметр $a = g'(i - w)10^{-3}$ интегрально включает все составляющие: приведенное ускорение свободного падения g' , уклон пути i , суммарную величину удельного сопротивления движению w .

Сложность оценки технико-эксплуатационных характеристик существующих и проектируемых систем связана с тем, что сортировочные горки работают в условиях неопределенности входной информации. В то же время математические модели процесса скатывания отцепов и методы решения задачи оптимизации режимов торможения, которые на них базируются [12, 13], основываются на предположении, что значения величин $w_{\text{ск}}$, $w_{\text{св}}$, w_0 , w_T являются известными до начала скатывания.

В этой связи для учета случайности характеристик отцепов и условий их скатывания усовершенствована базовая имитационная модель сортировочной горки. В соответствии с [11] случайная величина w_0 имеет гамма распределение с параметрами α и β , которые зависят от весовой категории вагона q

$$F(w_0) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{w_0} e^{-\beta w_0} w_0^{\alpha-1} dw_0,$$

де α , β – коэффициенты гамма-распределения.

При обработке данных перевозочных документов установлено, что в пределах весовых категорий Л, ЛС, С и СТ случайная величина Q_v распределена по равномерному закону. Вес вагонов тяжелой категории Т является случайной величиной, значение которой в отдельном эксперименте может быть промоделировано при помощи выражения

$$Q_{v(T)} = Q_T + Q_{\text{вп}} - \xi,$$

де Q_T , $Q_{\text{вп}}$ – соответственно тара и грузоподъемность вагона;

ξ – случайная величина недогруза вагона, которая имеет показательный закон распределения.

Случайное значение $w_{\text{ск}}$ в соответствии с [11] имеет закон Эрланга. Для его моделирования используется выражение:

$$w_{\text{ск}}(v) = v^2 \sum_{j=1}^{m_{\text{отц}}} q_{\text{в}j} \sum_{i=\alpha_j}^{\omega_j} \frac{C_{\text{ски}}}{l_{\text{ски}}},$$

де v – скорость скатывания отцепа, м/с;

$m_{\text{отц}}$ – количество вагонов в отцепе;

$q_{\text{в}j}$ – вес отцепа, т;

$l_{\text{ски}}$ – длина участка скатывания отцепа, м.

При этом случайное значение $C_{\text{ски}}$ для отдельной стрелки или кривой определяется по формуле [11]:

$$C_{\text{ски}} = -\frac{0,56\theta + 0,23\varphi_n}{8} \ln \prod_{k=1}^8 R_k,$$

де θ_n – тип n -го элемента ($\theta_n=0$ – кривая; $\theta_n=1$ – стрелка);

φ_n – угол поворота кривой n -го элемента, град;

R_k – случайные числа, распределенные равномерно в интервале $[0, 1]$.

Скорость ветра $v_{\text{в}}$ и скорости выхода отцепа из тормозных позиций $v_{\text{вых}}$ моделируются как случайные величины с нормальным законом распределения. Значения всех случайных параметров устанавливаются до начала моделирования скатывания, но являются неизвестными для системы управления тормозными позициями. В разработанной модели скатывание отцепов рассматривается как вероятностный процесс, характеристики которого получают на основании серии параллельных опытов выполняемых при разных начальных значениях датчика случайных чисел.

4. Исследование процессов прицельного регулирования скорости отцепов методами имитационного моделирования

Одной из задач, решаемых при помощи разработанной модели, является оценка системы управления прицельным регулированием скорости отцепов на парковых тормозных позициях (ПТП). При отсутствии на сортировочной горке устройств для уточнения ходовых характеристик отцепов, нормативная скорость подхода скатывающихся отцепов к вагонам на сортировочных путях достигается за счет нормирования скорости выхода вагона с ПТП в соответствии с его весовой категорией и расстоянием до точки прицеливания. Подобная технология реализуется при ручном управлении тормозными позициями, когда ходовые свойства отцепов определяются на основании сортировочных листов и визуально, по результатам скатывания.

В качестве показателей качества реализации прицельного регулирования скорости с соответствии с [1] приняты вероятность превышения установленной ПТЭ скорости подхода отцепов к вагонам, стоящим на сортировочных путях $p_{\text{п}}$ и средняя величина окна $\bar{l}_{\text{ок}}$, которая приходится на один расформированный вагон. В качестве управляемого параметра принята скорость выхода отцепов с парковой тормозной позиции $v_{\text{ПТП}}$. Для определения зависимостей $p_{\text{п}}(v_{\text{ПТП}})$ и $\bar{l}_{\text{ок}}(v_{\text{ПТП}})$ выполняется серия вычислительных экспериментов по 300 опытов в каждом, заключающихся в моделировании скатывания отцепов на расстояние $l_{\text{прц}}$ при заданной $v_{\text{ПТП}}$ и случайных параметрах отцепов и условий скатывания.

При моделировании скатывания принято, что расстояние $l_{\text{прц}}$ известно точно до начала скатывания. Графическое изображение результатов одного вычислительного эксперимента по скатыванию одновагонных отцепов легкой весовой категории на расстояние $l_{\text{прц}}=500$ м от вершины горки и заданной скорости выхода с ПТП $v_{\text{ПТП}}=3,5$ м/с, реализуемой с точностью $0,1$ м/с, представлено на рис. 1. По результатам экспериментов построены зависимости $p_{\text{п}}(v_{\text{ПТП}})$ и $\bar{l}_{\text{ок}}(v_{\text{ПТП}})$, которые приведены на рис. 2, а и 2, б соответственно.

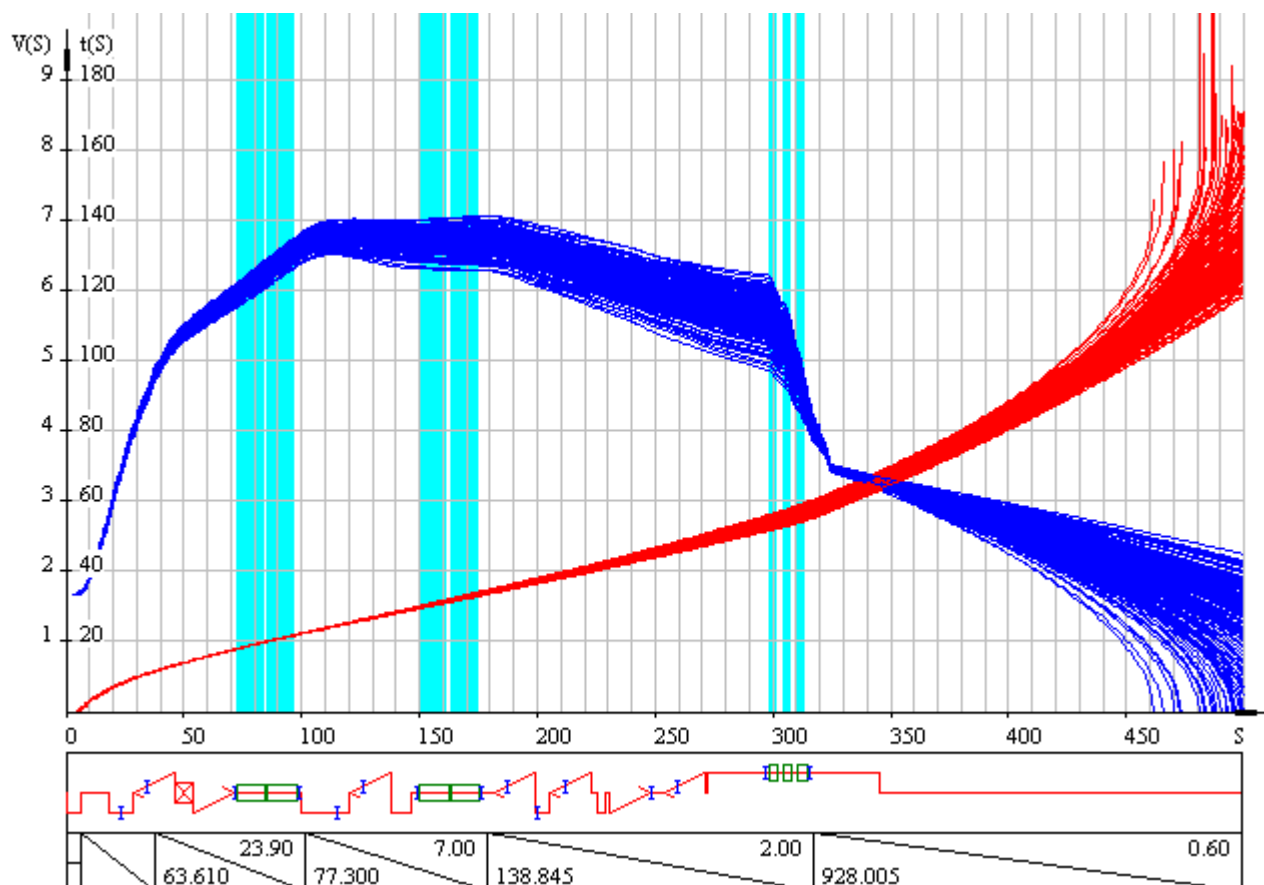


Рисунок 1 – Кривые скорости и времени скатывания вагонов легкой весовой категории на расстояние 500 м от вершины горки

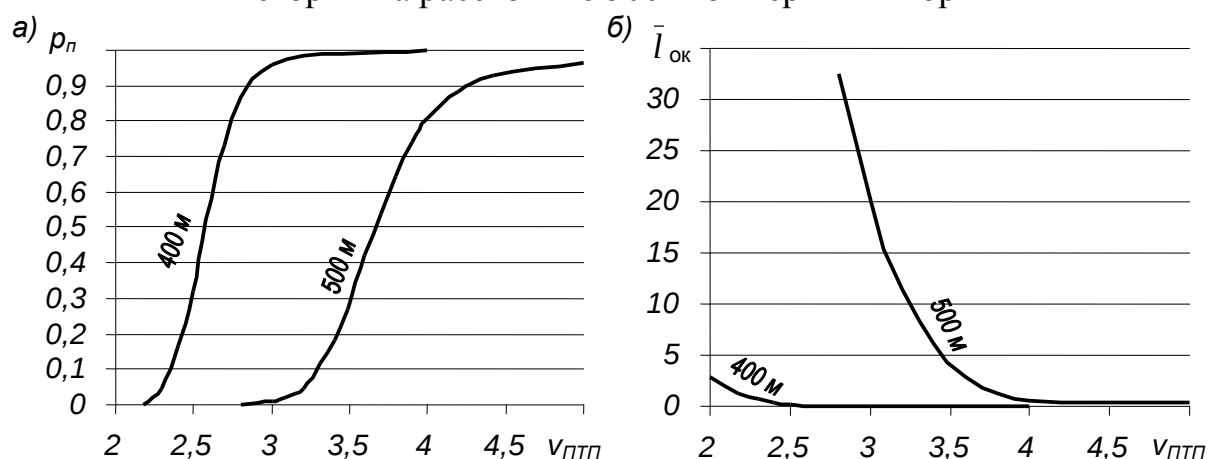


Рисунок 2 – Зависимости показателей качества прицельного регулирования скорости вагонов легкой весовой категории от заданной скорости выхода вагонов с парковой тормозной позиции: а – вероятность превышения установлен-

ной ПТЭ скорости подхода к вагонам, стоящим на сортировочных путях; б-
средняя
величина окна

Анализ рис. 2, а, б показывает, что между величинами p_n и $v_{ПТП}$ существует прямая, а между величинами $\bar{l}_{ок}$ и $v_{ПТП}$ обратная зависимость. При этом улучшения одного из показателей качества прицельного регулирования скорости приводит к ухудшению другого. Это позволяет для сравнения конструкций горки и систем управления прицельным регулированием скорости скатывания отцепов использовать зависимости $p_n(\bar{l}_{ок})$. На рис. 3, а и 3, б приведены такие зависимости для вагонов легкой и тяжелой весовой категории при скатывании на разное расстояние от вершины горки.

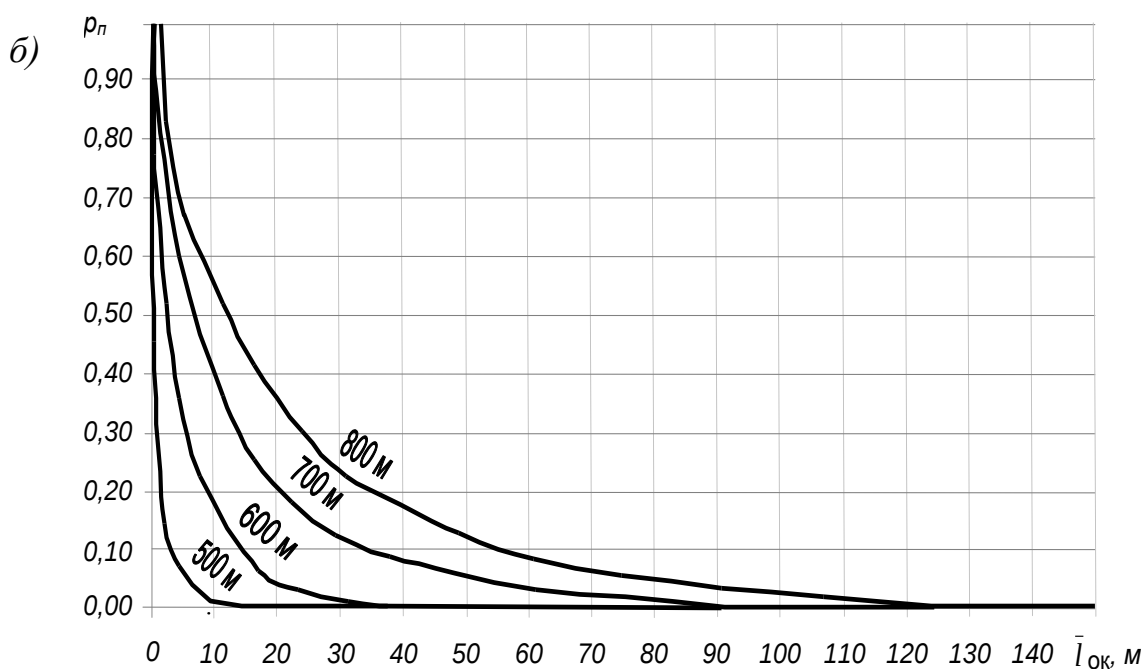
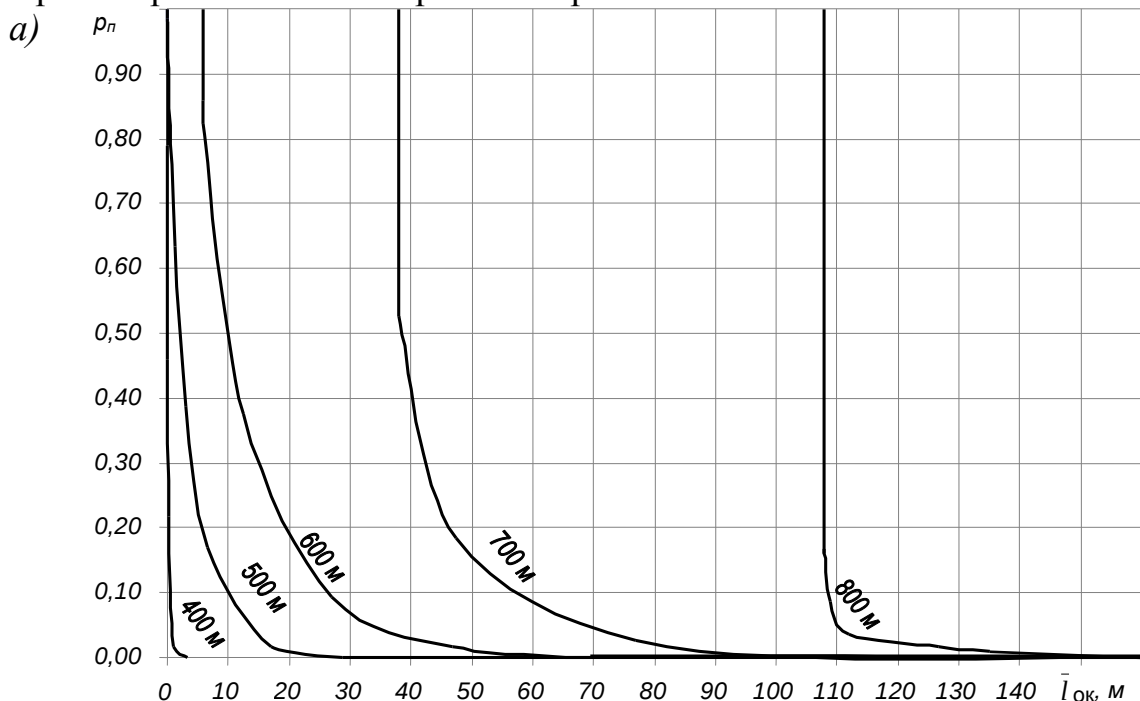


Рисунок 3 – Зависимость между величиной «окна» и вероятностью превышения нормативной скорости в точке прицеливания при регулировании скорости выхода вагонов из ПТП по весовой категории: а) весовая категория Л; б) весовая категория Т

В [1] рекомендуется принять следующие значения показателей качества прицельного регулирования скорости отцепов $p_{\text{п}}=0,1$ и $\bar{l}_{\text{ок}}=3$ м. Анализ зависимостей представленных на рис. 3 показывает, что эти показатели существенно зависят от весовой категории отцепов. В условиях отсутствия системы уточнения ходовых характеристик рекомендуемые значения показателей качества для одновагонных отцепов могут быть достигнуты только при незначительном расстоянии до точки прицеливания. При расстояниях свыше 400 м для вагонов легкой и свыше 500 мм для вагонов тяжелой весовой категории достижение нормативного значения одного из показателей влечет за собой выход другого за нормативные пределы. Это подтверждается результатами наблюдений за работой существующих горок [14] для которых вероятность превышения нормативной скорости соударения отцепов составляет более 0,6. Учитывая наличие зависимости между величинами $p_{\text{п}}$ и $\bar{l}_{\text{ок}}$ для оценки качества прицельного регулирования скорости скатывания отцепов можно использовать только одну из них при фиксированном значении другой. Ввиду того, что величина $p_{\text{п}}$ связана с безопасностью движения и получить ее экономическую оценку затруднительно, целесообразно фиксировать значение именно этой величины (например на уровне $p_{\text{п}}=0,1$ [1]), а сравнение выполнять по величине $\bar{l}_{\text{ок}}$, которая связана с расходом маневровых локомотиво-часов на ликвидацию окон.

Вычислительные эксперименты показали, что из-за значительной погрешности при расчете скорости выхода одновагонных отцепов из тормозной позиции увеличение точности реализации этой скорости парковой тормозной позицией не позволяет улучшить показатели прицельного регулирования. Отсутствие улучшения показателей качества прицельного регулирования скорости вагонов легкой весовой категории было также зафиксировано при имитации взвешивания, когда скорость выхода отцепа из парковой тормозной позиции устанавливалась в соответствии с его точным весом, а не с весовой категорией.

Одним из методов повышения качества прицельного регулирования скорости скатывания отцепов является уточнение их ходовых характеристик. Необходимую информацию обычно получают на основании анализа времени прохождения контрольных точек. Для анализа эффективности устройства системы уточнения ходовых характеристик отцепов реализован следующий алгоритм управления парковой тормозной позицией. В пределах между пучковой и парковой тормозной позицией устраиваются три контрольные точки. Далее на основании скатывания контрольных отцепов заполняется множество $\mathbf{R}$ в котором каждый элемент $r_i \in \mathbf{R}$ описываются структурой

$$r_i = \{t'_{1i}, t'_{2i}, v'_{\text{ПТП},i}\},$$

где t'_1, t'_2 – соответственно продолжительность движения i -го контрольного отцепа между первой и второй и второй и третьей контрольными точками;

$v'_{\text{ПТП}}$ - нормативное значение скорости выхода контрольного отцепа из

парковой тормозной позиции.

При моделировании скатывания отцепов режим его торможения на парковой тормозной позиции выбирается из условия

$$v_{ПТП} = v'_{ПТП,i} \text{ при } (t'_{1i} - t_1)^2 + (t'_{2i} - t_2)^2 \rightarrow \min ,$$

где t_1, t_2 – продолжительность движения отцепа между контрольными точками.

Сравнение показателей качества прицельного регулирования скорости в условиях наличия и отсутствия системы уточнения ходовых характеристик приведено на рис. 4. При построении графиков принято, что $p_{п}=0,1$. Анализ полученных зависимостей показывает, что внедрение системы уточнения ходовых характеристик позволяет существенно повысить качество прицельного регулирования одновагонных отцепов при скатывании на расстояния 500-700 м от вершины горки.

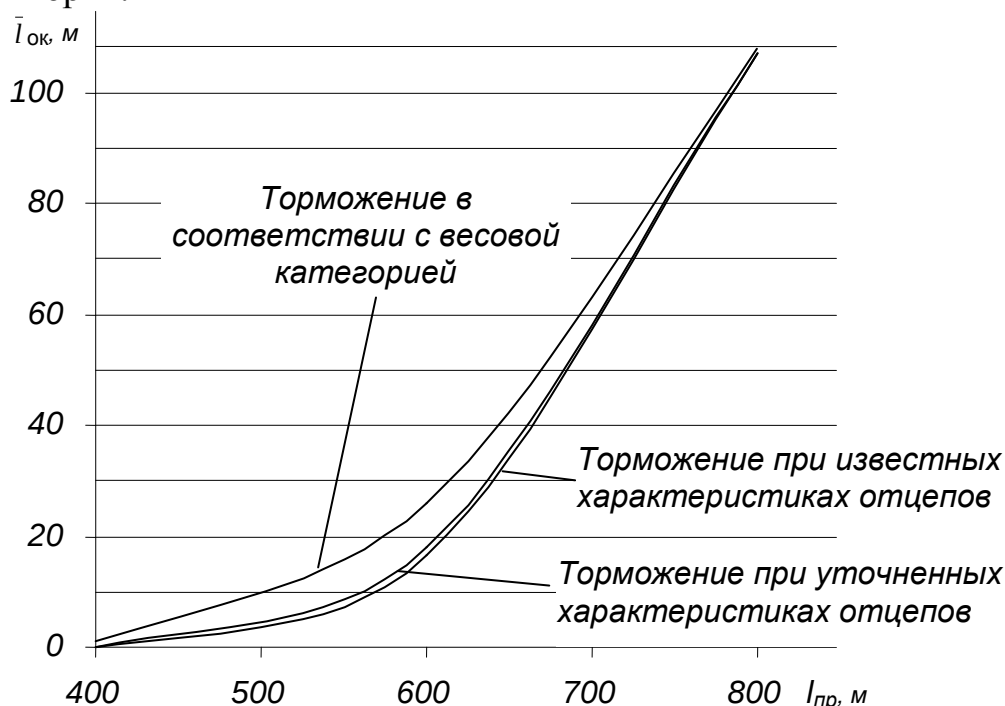


Рисунок 4 - Зависимости средней величины окна от расстояния до точки прицеливания при уточнении ходовых характеристик одновагонных отцепов

Существенное влияние на показатели качества прицельного регулирования скорости скатывания отцепов оказывает количество вагонов в отцепе. Для иллюстрации на рис. 5 представлены зависимости средней величины окна, приходящегося на один расформированный вагон для отцепов легкой весовой категории. Уменьшение величины окон происходит как за счет отнесения окон на большее число вагонов и уменьшения зоны нерегулируемого скатывания, так и за счет повышения прогнозируемости ходовых характеристик отцепа при увеличении в нем числа вагонов. Анализ полученных зависимостей показывает, что для отцепов, длина которых превышает 5 вагонов рекомендуемые [1] значения показателей прицельного регулирования скорости скатывания могут быть достигнуты и при условии отсутствия системы уточнения ходовых характеристик отцепов. Более того, эффективная работа таких систем для многова-

гонных отцепов представляет значительную сложность так, как длина зон неуправляемого скатывания отцепов между тормозными позициями является незначительной.

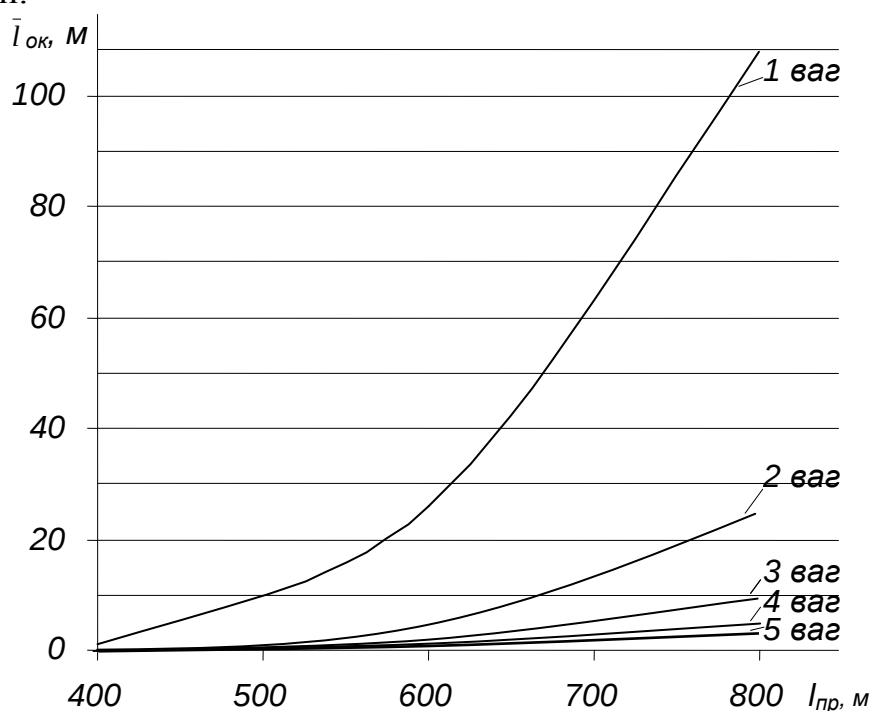


Рисунок 5 - Зависимости средней величины окна от расстояния до точки прицеливания для отцепов из разного количества вагонов легкой весовой категории

Выводы

Выполненные исследования показывают, что оценка качества прицельного регулирования скорости скатывания отцепов может основываться только на статистическом подходе. Для реализации данного подхода усовершенствована имитационная модель скатывания отцепов которая позволяет учитывать неопределенность ходовых свойств отцепов и условий внешней среды. В качестве основного критерия оценки качества прицельного регулирования скорости скатывания отцепов целесообразно принять среднюю величину окна в сортировочном парке при фиксированном значении вероятности превышения установленной ПТЭ скорости подхода отцепов к вагонам, стоящим на сортировочных путях. Предложенные методы и модели могут использоваться как для технико-эксплуатационной оценки существующих горок, так и для оценки эффективности технического обеспечения и алгоритмов управления систем проектируемых АРС при автоматизации сортировочных горок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях / Ю.А. Муха, И.В. Харланович, В.П. Шейкин и др. – М.: Транспорт, 1985. – 248 с.
2. Муха Ю.А., Бобровский В.И. Исследование точности прицельного регулирования на сортировочных горках, оборудованных системами АРС. // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа, вып. 168/9. Днепропетровск, 1975. –с. 55-64

3. Муха Ю.А., Бобровский В.И., Яневич В.З., Бледный А.М. Участие горочных операторов в управлении сортировочным процессом на автоматизированных сортировочных горках. // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа, вып. 181/10. Днепропетровск, 1976. –с. 41-56
4. Бледный А.М., Бобровский В.И. Экспериментальная оценка качества интервального и прицельного регулирования скорости движения отцепов на сортировочной горке, оборудованной системой АРС ГТСС. // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях. Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 229/15. – Днепропетровск: ДИИТ, 1983. –с. 48-59
5. Механизация и автоматизация формирования поездов./ Ю.А. Муха, В.А. Король, Н.М. Иванков и др.; Под общ. Ред. Ю.А. Мухи. – К.: Техніка, 1987.
6. В.Ф. Маркин. К высокому уровню автоматизации горочных процессов // Автоматика, телемеханика и связь, 1996. №1 с. 29 – 30.
7. А.Г. Савицкий. Концепция автоматизации и механизации процессов на сортировочных станциях // Автоматика, связь, информатика, 2000. №4 с. 49 – 52.
8. В.М. Кайнов. Программа обновления и развития технических средств сортировочных станций и горок // Автоматика, связь, информатика, 2001. №1 с. 2–5.
- 9 Модернизация завершена // Литовский курьер on-line №18 (740) 30 Апреля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kurier.lt>
10. Горка-автомат // Гудок.RU 21.05.2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gudok.ru>
11. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207 - 89. - М.: Транспорт, 1992. - 104 с.
12. Бобровский В.И. Поиск оптимальных режимов торможения на проектируемых сортировочных горках // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1999. – №5. – с. 50 - 54.
13. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. –№ 3(42). – Харків, 2003, с. 3-8
- 14 Сокол Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики): Монография / Э. Н. Сокол – 2 изд. доп. – К. Транспорт Украины, 2004 – 368 с.