

значительно повышают безопасность роспуска составов за счет сокращения штата регулировщиков скоростей – одной из самых опасных профессий на железной дороге. При этом объемы работы станций остаются весьма низкими и составляют 1553 вагона в сутки (это один из самых низких показателей по дороге).

Вместе с тем значительный объем переработки вагонопотока приходится на станции, горочные комплексы которых не имеют автоматизации, в том числе (вагонооборот средним в сутки за первый квартал 2002 г.): сортировочные Витебск (СПВ, АСУСС есть) – 1700, Орша (СПВ, АСУСС есть) – 1700, Гомель (СПВ, АСУСС есть) – 1600; участковые Калинковичи (СПВ, АСУСС есть) – 2000, Полоцк (СПВ, АСУСС нет) – 1100, Осиповичи – 1150 (АСУСС нет), Лунинец (СПВ, АСУСС нет) – 1000.

Наибольший же объем переработки вагонопотока (вагонооборот средним в сутки) осуществляет сортировочными станциями: Минск–Сортировочный (АСУСС есть) – 3474, Барановичи–Центральные (АСУСС нет) – 2358, Молодечно (СПВ, АСУСС есть) – 2130. Кроме того, вопросы перераспределения потоков важны при решении вопросов реконструкции горочных комплексов станций, когда на сортировочных путях находятся не только работники, участвующие в технологическом процессе (регулировщики скоростей, стрелки ВОХР и т.д.), но и сотрудники службы путевого хозяйства.

В качестве примера альтернативных маршрутов на Белорусской железной дороге можно рассмотреть следование вагонопотока из Гродно в Россию. Возможны следующие варианты: 1) Мосты – Лида – Молодечно – Полоцк (расстояние 559 км) и 2) Волковыск – Барановичи – Минск – Орша (расстояние 655 км). На первый взгляд, вариант 1 более предпочтителен, однако переработка вагонопотоков на станциях Молодечно и Полоцк (неавтоматизированных) более трудоемка. Для станции Молодечно указанный поток является угловым, что усложняет его переработку, кроме того, планируется производить переустройство горочного комплекса. На станции Полоцк окончание формирования составов происходит в непосредственной близости от путей пассажирской станции, что также усложняет работу. На альтернативном ходу 2, который несколько длиннее, таких проблем нет.

Перераспределение сортировочной работы не должно производиться механическим путем. Этот процесс требует пересчета плана формирования поездов на основе экономических критериев. Следует, однако, учитывать, что перераспределение сортировочной работы между станциями неизбежно влечет изменение загрузки железнодорожных участков. И если для двухпутных ходов это проблемой не является, то для однопутных данный вопрос весьма актуален. График движения поездов для однопутных участков строится с таким расчетом, чтобы максимально сократить количество остановок поездов под скрещение. Увеличение их загрузки приведет к увеличению числа скрещений, что заведомо повысит вероятность возникновения внеграфиковой ситуации.

Если рассматривать вышеприведенный пример, вагонопотопоток по первому варианту следует только по однопутным участкам, во втором же случае – более половины приходится на двухпутные ходы.

Таким образом, проблема совершенствования системы поездообразования является не только экономической, но и оказывает существенное влияние на безопасность перевозочного процесса. В методическом решении задачи оптимизации ПФ уровень безопасности следует рассматривать как одно из важнейших ограничений.

УДК 656.212.5:681.3

СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ

И. В. ЖУКОВИЦКИЙ

Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта

Основной технологической зоной сортировочной станции является зона роспуска (сортировочная горка). Именно на сортировочной горке производится расформирование состава. Здесь отдельные группы вагонов (отцепы) состава, подлежащего расформированию, отцепляются от него и скатываются на заданные пути накопления (сортировочные пути) под воздействием собственной силы тяжести. Регулирование скорости скатывания осуществляется путем сосредоточенного торможения на двух (а в более развитых системах – на трех или даже четырех) тормозных позициях. Цель управления, во-первых, обеспечить необходимый интер-

вал между скатывающимися отцепами, чтобы предотвратить нагон последующим отцепом предыдущего и, во-вторых, обеспечить докатывание отцепа до стоящего на пути накопления состава и соударения с ним со скоростью, не превышающей допустимую (принцип "прицельного торможения").

Сосредоточенное управление скоростью скатывания отцепов требует, в первую очередь, разработки систем управления тормозными позициями, которые обеспечивали бы требуемые показатели качества реализации целевой функции. В докладе показаны способы синтеза цифровых регуляторов скорости скатывания отцепов с горки, которые позволяют реализовать их параметрическую оптимизацию и рассчитать задающие воздействия для широкого диапазона характеристик объектов управления (отцепов) с учетом статистического разброса и нестационарности характеристик как самих объектов, так и исполнительного органа.

Рассматривается техническая структура цифровой системы управления торможением отцепа на тормозной позиции. Участок тормозной позиции оборудован вагонозамедлителями нажимного типа. Устройство управления замедлителем (УУЗ) обеспечивает ступенчатое изменение усилия нажатия тормозных балок (ступени торможения). Выдача команд на УУЗ (выбор ступени торможения) производится цифровым регулятором на базе управляющей микроЭВМ. В качестве сигнала обратной связи в этом регуляторе используется измеренное (с помощью радиолокационного скоростемера) значение скорости отцепа.

В результате анализа статических и динамических характеристик исполнительного органа (замедлителей нажимного типа тормозной позиции) и технической структуры локального регулятора, разработана структурная схема цифровой системы регулирования. Показано, что данная цифровая система управления является стохастической, существенно нелинейной импульсно-релейной системой с переменной структурой, переменными параметрами и запаздыванием. Поставлена задача параметрической оптимизации такой системы. За критерий оптимальности принят минимум среднеквадратического отклонения фактической скорости выхода отцепа из тормозной позиции от заданной. А под параметрами настройки системы предложено понимать уравнения $V_{гpk}^u(S, P)$ и $V_{гpk}^b(S, P)$, которые описывают поверхности, разделяющие пространство допустимых состояний $\Omega_{доп}$ на три непересекающиеся области, внутри каждой из которых выбирается соответствующее этой области управление $u \in (u_0, u_1, u_2)$. Здесь V, S, P — соответственно скорость отцепа, путь отцепа и давление воздуха в цилиндрах замедлителя; u_0, u_1, u_2 — команды на включение более низкой, оставление прежней и включение более высокой ступени торможения замедлителей тормозной позиции.

Так как выбор управляющего воздействия возможен лишь при дискретных значениях P , соответствующих k -й ступени торможения, то на вышеупомянутых поверхностях достаточно будет найти лишь уравнения кривых $V_{гpk}^u$ и $V_{гpk}^b$. При этом условие выбора управляющего воздействия в процессе управления запишется следующим образом:

$$u(V, S, P_k) = \begin{cases} u_0, & \text{если } V < V_{гpk}^u; \\ u_1, & \text{если } V_{гpk}^u < V < V_{гpk}^b; \\ u_2, & \text{если } V > V_{гpk}^b. \end{cases} \quad (1)$$

Для оптимизации параметров настройки данной системы выбран дискретный вариант метода динамического программирования. При этом производится квантование координат пространства состояния $\Omega_{доп}$.

Оптимизация производится по шагам — квантам пути — в направлении, обратном естественному движению отцепа.

На n -м шаге для каждой точки (S_n, P_k, V) отыскиваем управление $U_{n,kl} \in (u_0, u_1, u_2)$, обеспечивающее минимальное значение среднеквадратического отклонения ошибки скорости выхода отцепа из замедлителя $\epsilon_{n,k,l}^* = \min \{ \sigma_{n,k,l}^{u_0}, \sigma_{n,k,l}^{u_1}, \sigma_{n,k,l}^{u_2} \}$. Для отыскания $\sigma_{n,k,l}^{u_r}$ ($r = 0, 1, 2$) используются результаты предыдущих шагов с учётом стохастичности процесса:

$$\sigma_{n,k,l}^{u_r} = \int_{-\infty}^{+\infty} g_n^{u_r}(V) \epsilon(V) dV,$$

где $g_n^{u_r}(V)$ — плотность распределения скорости отцепа в конце n -го шага для управления u_r .

Пересечение $\sigma_{n,k}^{u_0}(V_i)$ с $\sigma_{n,k}^{u_1}(V_i)$ и $\sigma_{n,k}^{u_1}(V_i)$ с $\sigma_{n,k}^{u_2}(V_i)$ определяют "точки переключения" $V_{гр,n,k}^H$ и $V_{гр,n,k}^B$, принадлежащие граничным поверхностям, которые используются в алгоритме управления (1). Совокупность точек $V_{гр,n,k}^H$ и $V_{гр,n,k}^B$ ($n = 1, \dots, R$; $k = 0, \dots, 4$) для всех R шагов алгоритма оптимизации образует "матрицы переключений":

Для получения набора линий переключения совокупность точек, представляющих столбцы этих матриц, сглаживаются полиномами r -й степени:

$$V_{гр,k}^H(S) = \alpha_{0k} + \alpha_{1k}S + \alpha_{2k}S^2 + \dots + \alpha_{rk}S^r;$$

$$V_{гр,k}^B(S) = \beta_{0k} + \beta_{1k}S + \beta_{2k}S^2 + \dots + \beta_{rk}S^r,$$

где $k = 0, \dots, 4$ – степень торможения.

Исследования показывают, что для практических целей линии переключения достаточно представить в виде полиномов 3-й степени. Таким образом, параметры настройки регулятора представлены матрицами коэффициентов вышеупомянутых полиномов.

В процессе расчётов были найдены области пространства состояния, внутри которых результат управления (значение целевой функции) практически не зависит от выбора управляющего воздействия. Область, внутри которой ошибка управления (целевая функция) одинакова (с точностью до некоторого малого налёт заданного значения) при нескольких значениях управляющего воздействия (в частном случае – при любом управляющем воздействии), названа «областью безразличного управления».

УДК 656.225.071.81

ОЦЕНКА ПРОДОЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТРУБ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ НА ПЛАТФОРМЕ ПРИ СОУДАРЕНИЯХ ВАГОНОВ

А. В. ЗАВОРОТНЫЙ, И. А. ВОРОЖУН

Белорусский государственный университет транспорта

Для перевозки пяти труб диаметром 1420 мм на железнодорожной платформе целесообразно использовать многооборотные реквизиты крепления. В разработанных схемах в качестве реквизитов крепления используют стальные канаты с натяжными устройствами. Посредством натяжных устройств создается предварительное натяжение канатов как в поперечной, так и в продольной обвязках уже на стадии размещения и закрепления труб на платформе. В процессе выполнения маневровых работ (соударениях вагонов) величина предварительного натяжения канатов может изменяться и влиять на величину продольных перемещений труб. В разработанном устройстве канаты продольной обвязки через упругие регулируемые элементы связаны с рамой платформы. Эти упругие элементы позволяют выравнивать усилия в ветвях канатов при перемещениях труб всех ярусов.

В рассматриваемой математической модели процесса соударения платформы, загруженной тремя ярусами труб, с группой из трех неподвижных груженых вагонов все тела считаются абсолютно твердыми телами, а элементы продольных и поперечных обвязок, а также междувагонных связей обладают упругими свойствами и имеют линейные характеристики. Силы сухого трения между трубами, а также труб по опорам считаем условно приложенными в продольном диаметральном сечении труб. Изменением углов наклона элементов продольного крепления труб в процессе соударения вагонов пренебрегаем. Движение механической системы рассматривается в продольной вертикальной плоскости на прямом горизонтальном участке пути от положения, которое она занимала в момент накатывания на группу из трех неподвижных груженых вагонов. Продольные линейные перемещения поперечной обвязки трубы верхнего яруса, двух труб среднего яруса, промежуточных опор, двух труб нижнего яруса, платформы и трех груженых вагонов обозначим через $x_1, \dots, x_9$ соответственно. Таким образом, рассматриваемая система будет иметь девять независимых координат. Следовательно, движение механической системы с учетом принятых допущений будет описываться системой из девяти дифференциальных уравнений второго порядка.

Разработанная математическая модель позволяет оценить величину наибольших продольных перемещений труб в зависимости от величины предварительного натяжения упругих элементов крепления.