РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Сборник трудов
Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию двух основополагающих кафедр МГУПС (МИИТ), – «Железнодорожные станции и узлы» и «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте»

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА И УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

Москва, 16–17 октября 2014 г.

Под общей редакцией д.т.н. Морозова В.Н. и д.т.н. Пазойского Ю.О.

МОСКВА
ВИНИТИ РАН
2015

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТОРМОЖЕНИЯ ОТЦЕПОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ

Таранец О.И., к.т.н., доцент
ДНУЖТ, Днепропетровск, Украина

Важным звеном в работе сортировочных станций, от эффективности функционирования которого существенно зависят эксплуатационные показатели, являются сортировочные горки. Повышение перерабатывающей способности сортировочных горок и качества расформирования возможно за счет интенсификации процесса расформирования составов на базе автоматизации технологических процессов, а также выбора оптимальных режимов роспуска составов. Оптимальное управление роспуском требует определения таких режимов торможения отцепов, при которых будет обеспечено лучшие условия их разделения на стрелках и допустимая скорость следования одного отцепа к другому на сортировочных путях. Режимы торможения отдельных отцепов должны обеспечивать максимально возможные интервалы на стрелках для всех неблагоприятных по условиям разделения пар отцепов за счет оптимального их распределения по всему составу. Таким образом, задача определения оптимальных режимов торможения отцепов является достаточно актуальной.

Для каждого отцепа существует область допустимых режимов торможения (ОДР), конфигурация и площадь которой определяются его параметрами скатывания. На трехпозиционных горках режим торможения отцепа, который скатывается, можно представить вектором $h=(h', h'', h''')$ энергетических высот, которые погашаются на верхней (ВТП), средней (СТП) и парковой (ПТП) тормозных позициях. При этом, из трех указанных компонентов вектора h только два являются независимыми, так как третий может быть определен при условии обеспечения заданной скорости отцепа в точке прицеливания. В связи с этим ОДР Ω может быть представлена выпуклым многоугольником на плоскости, а произвольный режим $h \in \Omega$ – вектором $h=\{h', h''\}$.

Ограничения, которые образуют ОДР, определяются тремя группами факторов:
- тормозной мощностью замедлителей тормозных позиций;
- режимом скатывания отцепов на спускной части горки;
- требованиями прицельного регулирования скорости отцепов.

При решении задачи оптимизации режимов торможения отцепов для условий регулируемого скатывания необходимо учитывать установленные ограничения, установленные на величину скорости выхода отцепов из тормозных позиций ВТП $(v'_{\min}, v'_{\max})$ на СТП $(v''_{\min}, v''_{\max})$, где скорость выхода отцепа с ПТП является зависимой от скорости выхода из СТП и должна удовлетворять требованиям прицельного торможения. Вектор значений $v=\{v', v''\}$ можно рассматривать как точку на плоскости, при этом все множество точек образует область Ω возможных скоростей выхода отцепа из тормозных позиций спускной части горки (ОДШ).

В качестве основного метода, который используется для оптимизации режимов торможения отцепов выбран итерационный метод. Этот метод позволяет найти в составе, который расформировывают, группы последовательных отцепов, близких по условиям разделения, и установить для них такие режимы торможения, при которых интервалы на разделительных стрелках для всех пар отцепов группы одинаковы. Это достигается путем увеличения минимальных интервалов между отцепами за счет их уменьшения в смежных парах.

Итерационный метод основан на локальной оптимизации режима торможения среднего отцепа критической группы из трех смежных отцепов, обусловленной на каждом шаге итерации. Критической считается группа отцепов, для которой абсолютная величина разности интервалов на разделительных стрелках во второй и в первой парах отцепов $|f_i(q_i)|$ максимальная:

$$f_i(q_i) = \delta t_i(q_i, q_{i+1}) - \delta t_{i-1}(q_{i-1}, q_i)\ ,\ i \in [2, n-1]\ . \tag{1}$$

Оптимальным для среднего отцепа критической группы является тот режим торможения q_i, при котором наименьший из интервалов δt_i , δt_{i+1} достигает максимума:

$$\delta t_i^* = \max_{q_i \in Q_i} \min\{\delta t_{i-1}(q_i), \delta t_i(q_i)\}\ . \tag{2}$$

Недостатком этого метода является то, что он не позволяет учесть отклонения фактических параметров отцепов от расчетных значений и неточность реализации тормозными позициями заданных режимов торможения при выборе оптимальных режимов торможения.

Увеличение интервалов между отцепами необходимо для обеспечения резервов времени на разделительных элементах, которые будут достаточными для разделения отцепов в условиях отклонения фактических параметров отцепов от расчетных значений и неточной реализации тормозными позициями заданных режимов торможения. При этом величина интервалов на разделительных элементах рассматривается как ограничение и возникает необходимость оценки величины δt_i . При известных параметрах отцепов и точной реализации замедлителями заданных режимов торможения интервал времени между отцепами должен быть достаточным для изменения состояния разделительного элемента $t_{\text{ре}}$ (перевод стрелки затормаживания или растормаживание замедлителя):

$$\delta t_{\text{г}} \geq t_{\text{ре}}\ . \tag{3}$$

При случайных параметрах отцепов и неточной реализации замедлителями заданных режимов торможения интервал времени между i и $i-1$ отцепами $\delta t_{\min,i}$ должен включать дополнительный резерв времени $t_{\text{рез},i}$ для компенсации погрешности в определении моментов увольнения и занятия ими разделительных элементов:

$$\delta t_{\min,i} = t_{\text{ре}} + t_{\text{рез}} t_i\ . \tag{4}$$

В стохастических условиях критерий оптимизации, можно представить как:

$$\delta t_i(r_i, r_{i+1}, \sigma_i) = t_{0i} + t_{i+1}(r_{i+1}, \sigma_i) - \tau_i(r_i, \sigma_i) - q_{x1}(r_{i+1}, \sigma_i) - q_{x2}(r_i + 1, \sigma_i)\ . \tag{5}$$

Для критической группы отцепов абсолютная величина разности интервалов на разделительных стрелках во второй и в первой парах отцепов $|f_i(q_i)|$ максимальная, тогда получим:

$$fi = \delta t_i(r_i, r_{i+1}) - \delta t_i(r_{i-1}, r_i) - q_{x1}\sigma_{i-1} - q_{x2}\sigma_i, \in [2, n-1]\ . \tag{6}$$

Исследования показали, что на разделительных элементах от вершины горки до ПТП и от ПТП к точке прицеливания значение величины интервала между отцепами значительно отличаются.

Установлено, что величина интервала между отцепами на разделительном элементе является случайной величиной, которая нормально распределена.

Случайная величина гарантированного интервала между отцепами является также случайной величиной с нормальным законом распределения и задается функцией Лапласа:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2e^2}}\ , \tag{7}$$

где μ, σ – параметры распределения.

Величины интервалов между отцепами являются зависимыми случайными величинами, для нахождения параметров случайной величины гарантированного интервала используем методы теории вероятностей:

$$M(\delta t_i + \delta t_{i+1}) = M[\delta t_i] + M[\delta t_{i+1}]\ ,$$

$$M[\delta t_i] + M[\delta t_{i+1}] = M[\delta t_{\text{г}}]\ , \tag{8}$$

$$\sigma[\delta t_i + \delta t_{i+1}] = \sqrt{D[\delta t_i + \delta t_{i+1}]} = \sigma[\delta t_{\text{г}}]\ , \tag{9}$$

подставив известные значения, получим

$$\mathrm{M}[\delta t_{\Gamma}] = 6,835 + 1,277 = 8,112$$

$$\sigma[\delta t_{\Gamma}] = \sqrt{0,271 + 1,277} = 1,244$$

Если принять вероятность попадания случайной величины гарантированного интервала в некоторый отрезок, т.е. $p(\delta t_{\Gamma}^{\min} < \delta t_{\Gamma} < \delta t_{\Gamma}^{\max}) = 0,005$,
Получим

$$p(\delta t_{\Gamma}^{\min} < \delta t_{\Gamma} < \delta t_{\Gamma}^{\max}) = \int_{\delta t_{\Gamma}^{\min}}^{\delta t_{\Gamma}^{\max}} f(\delta t_{\Gamma}) = F(\delta t_{\Gamma}^{\max}) - F(\delta t_{\Gamma}^{\min}) . \quad (10)$$

Нормальную функцию обычно обозначают Ф(t)

$$t = \frac{\delta t_{\Gamma} - M[\delta t_{\Gamma}]}{\sigma[\delta t_{\Gamma}]} . \quad (11)$$

Так как случайная величина интервала между отцепами имеет нормальный закон распределения, то величина гарантированного интервала между отцепами является также нормально распределенной случайной величиной с параметрами:

$$M[\delta t_i] + M[\delta t_{i+1}] = M[\delta t_{\Gamma}] , \quad (12)$$

$$\sigma[\delta t_i + \delta t_{i+1}] = \sqrt{D[\delta t_i + \delta t_{i+1}]} = \sigma[\delta t_{\Gamma}] . \quad (13)$$

Основным недостатком существующих методов оптимизации режимов торможения отцепов является то, что они не позволяют учитывать отклонения фактических параметров отцепов от расчетных значений и неточности реализации тормозными позициями заданных режимов торможения при выборе оптимальных режимов торможения.

Выполненные исследования показали, что учет влияния случайных факторов, которые действуют на отцеп в процессе скатывания при оптимизации режимов торможения отцепов позволяет повысить точность регулирования скорости между отцепами.

Применение предложенного критерия оптимизации режимов торможения отцепов обеспечивает уменьшение вероятности неразделений отцепов с 0,005 до 0,002.