

крутящего момента на валу / А.С. Фролов, И.А. Колябин // Б.И. –1980, -№ 43. 3. А. с. 1525492 СССР. Преобразователь крутящего момента / В.Г. Шепелевич, Д.В. Степанов, А.Ю. Шульпенков и др.// Б.И. –1989, -№ 44.

УДК 656.212.5

А. О. Шимановский, О. С. Коломникова

## АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОРМОЗНОЙ ПУТЬ ВАГОНОВ ПРИ РОСПУСКЕ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

*Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Беларусь*

Наблюдающиеся в настоящее время при работе сортировочных горок повреждения сцепных устройств, вызванные чрезмерной скоростью соударения вагонов, а также сходы вагонов с рельсов требуют анализа факторов, приводящих к браку при выполнении сортировочных работ.

При роспуске вагонов с горки скорость отцепа после прохождения третьей тормозной позиции должна быть такой, чтобы движущийся с горки отцеп как можно ближе подъезжал к вагонам, уже находящимся на сортировочном пути. С другой стороны, скорость соударения вагонов не должна превышать допустимого значения, установленного Правилами технической эксплуатации [3]. Необходимая скорость входа отцепа на пути сортировочного парка обеспечивается подбором длительности срабатывания вагонных замедлителей, способ определения которой зависит от уровня автоматизации горки.

В настоящее время на отечественных железных дорогах встречаются как автоматизированные, так и механизированные горки. На первых значения ускорений отцепов определяются с помощью специальных устройств в процессе движения по скоростному уклону. На других эти параметры принимаются на основе среднестатистических значений для конкретных типов вагонов и нагрузок на ось.

Значения сил сопротивления движению отцепа могут существенно отличаться от среднестатистических значений. Это, в частности, может быть связано с неодинаковыми техническими характеристиками вагонов, степенью их загрузки, неточностями указания массы перевозимого груза в сопроводительных документах и т.п. Выполненный нами анализ результатов экспериментальных исследований, приведенных в [1], показал, что оценка среднеквадратичного отклонения приведенной силы сопротивления может составлять до 40% математического ожидания величины. При условии, что силы сопротивления не могут быть

отрицательными, получаем, что не выполняется условие применимости нормального закона распределения этих сил. В тоже время теория учета сил сопротивления основана именно на гипотезе о нормальном распределении значений сил сопротивления движению вагона.

Существующая вероятность отклонения сил сопротивления конкретных вагонов от среднестатистического значения позволяет в случае роспуска вагонов на механизированных горках лишь приближенно оценивать длину тормозного пути. При его расчете необходимо использовать заниженные значения ускорений при торможении с целью недопущения соударения вагонов с чрезмерно высокой скоростью.

Принцип работы устройств для прицельного торможения на автоматизированных горках таков: при движении по специальному прямолинейному участку спускной части горки определяются силы сопротивления, действующие на отцеп. Они считаются при этом постоянными. Затем с использованием найденных значений сил сопротивления и с учетом длины пути, который должен пройти вагон до остановки, рассчитывается требуемое значение скорости вагона на выходе с третьей тормозной позиции.

Ошибка в расчетах сил сопротивления может привести к недоезду отцепа до расчетной точки или к соударению вагонов с чрезмерно большой скоростью, что может привести к повреждению вагона или груза.

Основным недостатком применяемого на практике для автоматизированных горок метода определения сил сопротивления движению отцепа является малая длина участка, на котором производится измерение. При используемом в настоящее время трехпедальном способе [2] измеряется время прохождения первой колесной парой отцепа через три последовательных положения, в которых установлены датчики. Причем длина прямолинейного участка, на котором производится измерение, составляет 14 м. Затем по известной длине участка между измерительными приборами определяется ускорение движения отцепа. Далее с учетом известного угла наклона пути на выбранном участке измерения находится средняя удельная сила сопротивления движению отцепа.

Однако одноразовость процесса нахождения ускорения приводит к появлению различного рода неточностей. Они могут быть вызваны как погрешностью измерения времени, так и наличием или отсутствием случайных факторов: порывов ветра, смазкой на путях и т.п. Кроме того, при движении отцепа из нескольких вагонов по участку с переменным уклоном в расчетах может появиться значительная ошибка из-за отсутствия учета изменения уклона. В частности, это может наблюдаться при роспуске сцепов из нескольких вагонов (их может быть до 7).

Для анализа факторов, приводящих к некорректной работе технических устройств горки, рассмотрим движение отцепа, состоящего из нескольких четырехосных вагонов, по спускной части горки, имеющей переменный уклон. Его расчетная схема приведена на рис. 1.

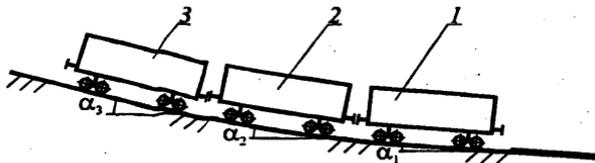


Рис. 1. Расчетная схема отцепа

С использованием принципа Даламбера-Лагранжа уравнение движения отцепа может быть записано в виде

$$\sum_{i=1}^n G_i \delta h_i - \sum_{i=1}^n \Phi_i \delta s - 4n M^\phi \frac{\delta s}{R} - F_{\text{сопр}} \delta s = 0,$$

где  $G_i$  – вес  $i$ -го вагона;  $n$  – число вагонов в отцепа;  $\delta h_i$ ,  $\delta s$  – соответственно вариации высоты центра тяжести и перемещения  $i$ -го вагона;  $\delta h_i = \alpha_i \delta s$  (с учетом малости уклона рельсового пути);  $\Phi_i$  – сила инерции  $i$ -го вагона,  $\Phi_i = m_i a_1$ ;  $m_i$  – масса  $i$ -го вагона;  $a_1$  – ускорение центра масс отцепа при движении по наклонному пути;  $M^\phi$  – момент сил инерции колесной пары,  $M^\phi = I_{\text{кп}} \frac{a_1}{R}$ ;  $I_{\text{кп}}$  – момент инерции колесной пары относительно ее оси;  $R$  – радиус колеса колесной пары вагона;

$F_{\text{сопр}}$  – приведенная сила сопротивления движению отцепа.

Отсюда находим выражение силы сопротивления:

$$F_{\text{сопр}} = \sum_{i=1}^n m_i g \alpha_i - \left( \sum_{i=1}^n m_i + 4n I_{\text{кп}} / R^2 \right) a_1. \quad (1)$$

Для случая движения по горизонтальному пути сортировочного парка ускорение торможения из уравнения (1) выражается так

$$a_2 = a_1 - \frac{\sum_{i=1}^n m_i g \alpha_i}{\sum_{i=1}^n m_i + 4n I_{\text{кп}} / R^2}.$$

Таким образом, ошибка в нахождении ускорения  $a_2$ , а также погрешность расчета скорости выхода отцепа с третьей тормозной позиции могут быть вызваны как неточностью определения ускорения  $a_1$ , так и недостаточно точным учетом параметров горки и подвижного состава.

Расчеты показали, что учет изменения уклона горки при спуске трех и более вагонов приводит к увеличению расчетного значения сил сопротивления движению. При этом расчетное ускорение движения по горизонтальному участку может оказаться заниженным в два и более раз. Это в свою очередь приводит к образованию окон и дополнительной маневровой работе.

Еще один фактор проявляет себя вне зависимости от типа горки. При роспуске с горки цистерн вследствие изменения скорости цистерны появляются колебания жидкости внутри ее котла. Поскольку масса перевозимой жидкости сопоставима с массой порожней цистерны, то при движении цистерн может наблюдаться их подергивание, вызванное перетеканием жидкости. Ускорение вагона оказывается переменной величиной, колеблющейся вокруг среднего значения. Причем амплитуда колебаний может достигать 60% от среднего ускорения торможения (в зависимости от уровня заполнения цистерны) [4].

Это приводит, в частности, к тому, что ускорение при проходе цистерны через устройство для определения ускорения трехпедальным способом может существенно отличаться от среднего значения. Следовательно, цистерна может оказаться либо недостаточно заторможенной либо переторможенной на вагонном замедлителе. С другой стороны, эффект относительного перемещения жидкости в цистерне может привести к неудачному срабатыванию вагонных замедлителей вследствие того, что тормозные силы оказываются переменными и действие замедлителей, направленное на остановку вагона, может оказаться как недостаточным, так и чрезмерным.

С целью более точного определения ускорения на автоматизированных горках целесообразно выполнять замер ускорения несколько раз с целью определения закона его изменения.

Таким образом, учет описанных факторов даст возможность усовершенствовать процесс прицельного торможения вагонов при роспуске их с горки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов П.Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава. – М.: Транспорт, 1966. –178 с.
2. Модин Н.К. Безопасность функционирования горочных устройств. – М.: Транспорт, 1994. – 173 с.
3. Правила технической эксплуатации Белорусской железной дороги. – М.: Транспорт, 1994. – 161 с.
4. Шимановский А., Плескачевский Ю., Кракова И. Влияние перетекания жидкости в цистернах на их динамику при переходных режимах движения// *ЛУЖЕЛ, The 7<sup>th</sup> International Scientific Conference of Railway Experts.*– Yugoslavia, Vrnjačka Banja, October 04 – 06.– Београд, 2000.– С. 404-407.