

## РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ОТЦЕПА ПО ТОРМОЗНОЙ ПОЗИЦИИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ МЕТОДОМ ПРИПАСОВЫВАНИЯ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Регулирование скорости скатывания отцепов на сортировочной горке является одной из основных функций систем горочной автоматики. От ее успешного выполнения зависит бесперебойность и безаварийность технологического процесса сортировочной станции. Для осуществления регулирования необходимы методы анализа движения вагона на тормозных позициях, позволяющие определять скорость отцепа при выходе из тормозной позиции. Также расчету подлежит сила, с которой вагонный замедлитель воздействует на колесные пары и которая обеспечивает требуемую скорость отцепа.

Вопросам динамики отцепа на сортировочной горке посвящена обширная литература. Значительный цикл работ выполнен Х. Т. Турановым и его сотрудниками. Но в этих работах, тем не менее, не предложены соотношения, связывающие скорость отцепа на тормозной позиции и силу давления вагонного замедлителя в явном виде. Таким образом, полученные результаты не позволяют выполнить анализ движения вагона по тормозной позиции с точки зрения управления его скоростью. Поэтому ставится задача получить расчетные методы, дающие возможность такой анализ выполнять.

Для решения поставленной задачи на основании работ Г. М. Розенблата записываются уравнения движения колесной пары. При этом учитывается, что вагонный замедлитель может воздействовать на первую тележку по ходу движения, на обе тележки и на вторую тележку по ходу движения четырехосного вагона. Поэтому рассматриваются уравнения движения свободной колесной пары и заторможенной колесной пары.

Уравнения движения заторможенной пары имеют вид

$$\begin{aligned} J \frac{\dot{v}}{r} &= 2F_T r + 2kP, \\ m\dot{v} &= -2F_T - 4\mu P + S + mg \cos i, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $J$  – момент инерции колесной пары,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $v$  – скорость поступательного движения пары,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $r$  – радиус колеса,  $\text{м}$ ;  $F_T$  – сила трения колеса пары о рельс,  $\text{Н}$ ;  $k$  – коэффициент пропорциональности,  $\text{м}$ ;  $P$  – сила давления замедлителя,  $\text{Н}$ ;  $m$  – масса колесной пары,  $\text{кг}$ ;  $\mu$  – коэффициент трения;  $S$  – сила взаимодействия колесной пары с кузовом вагона,  $\text{Н}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $i$  – уклон горки,  $\text{рад}$ .

Уравнения движения незаторможенной пары

$$\begin{aligned} J \frac{\dot{v}}{r} &= 2F_T r, \\ m\dot{v} &= -2F_T + S + mg \cos i. \end{aligned} \quad (2)$$

В (1) и (2) первое уравнение описывает вращательное движение колесной пары, а второе – поступательное движение колесной пары.

Далее записывается уравнение движения кузова вагона

$$m_B \dot{v} = -S_1 - S_2 - S_3 - S_4 - m_B g \cos i, \quad (3)$$

где  $m_B$  – масса кузова вагона,  $\text{кг}$ ;  $S_1, S_2, S_3, S_4$  – силы взаимодействия кузова вагона с соответственно первой, второй, третьей и четвертой колесными парами,  $\text{Н}$ .

Условия движения отцепа меняются в зависимости от того, на сколько колесных пар воздействует замедлитель. Поэтому вводятся участки движения и координаты их начал: тормозится первая тележка по ходу движения, координата  $x_{п1}$ ; тормозятся обе тележки, координата  $x_{п2}$ , тормозится вторая тележка по ходу движения, координата  $x_{п3}$ ; отцеп покидает тормозную позицию, координата  $x_{п4}$ .

Для первого и третьего участков из первых уравнений в (1) и (2) выражается сила трения и подставляется во второе уравнение. Из второго уравнения находится сила взаимодействия колесной пары с кузовом вагона и подставляется в уравнение (3). Для второго участка используются только уравнения (1), а преобразования остаются теми же. В результате получаются уравнения для неизвестного ускорения движения отцепа по участку  $a = \dot{v}$ :

– для первого и третьего участков

$$\left(m_B + 4m + \frac{4J}{r^2}\right)\dot{v} = \left(\frac{4kP}{r} - 8\mu\right)P + (4m + m_B)g \cos i; \quad (4)$$

– для второго участка

$$\left(m_B + 4m + \frac{4J}{r^2}\right)\dot{v} = \left(\frac{8kP}{r} - 16\mu\right)P + (4m + m_B)g \cos i. \quad (5)$$

На практике необходимо определить скорость отцепа на выходе из тормозной позиции. В рамках принятых предположений о характере сил, воздействующих на отцеп, ускорение отцепа изменяется только при переходе с участка на участок. В точках перехода необходимо выполнять припасовывание решений. Условие припасовывания заключается в том, что скорость входа на участок  $j$  равна скорости покидания предыдущего участка. С учетом сказанного выше для вычисления скорости входа на участок  $j$  может использоваться простейшая формула кинематики

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}, \quad (6)$$

где  $s$  – перемещение, м;  $v_0$  – начальная скорость, м/с;  $a$  – ускорение, м/с<sup>2</sup>.

Применительно к движению отцепа по тормозной позиции из (6) получается расчетная формула для скорости отцепа при входе на участок тормозной позиции

$$v_{п, j} = \sqrt{v_{п, j-1}^2 + 2(x_{п, j} - x_{п, j-1})a_{j-1}}, \quad (7)$$

где  $v_{п}$  – скорость входа на участок тормозной позиции, м/с.

Скорость входа на первый участок есть скорость входа отцепа на тормозную позицию. Она считается известной. Скорость входа на четвертый участок есть скорость покидания отцепом тормозной позиции, является нормируемым параметром и должна быть обеспечена на тормозной позиции путем соответствующего управления вагонным замедлителем.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы.

Для анализа движения вагона по тормозной позиции сортировочной горки с целью обеспечения работы систем горочной автоматики возможно и необходимо рассматривать это движение как плоское, с учетом вращательного движения колесных пар. Такой подход представляется более адекватным, нежели использующийся до настоящего времени подход, в котором движение вагона рассматривается как движение материальной точки.

В полученные уравнения движения отцепа явно входит сила давления замедлителя. Эта сила является основной характеристикой работы замедлителя. Поэтому полученные уравнения и расчетные соотношения позволяют непосредственно определить влияние замедлителя на ускорение и скорость вагона и обеспечить требуемое регулирование этой скорости.

В статье явно выписаны формулы для расчета скорости вагона при прохождении различных участков тормозной позиции и описан расчет скорости вагона методом припасовывания решений для отдельных участков тормозной позиции, на которых условия движения вагона различны. К сожалению, этот вопрос недостаточно освещен в предшествующих публикациях.

Вывод. Разработанные методы расчета кинематических характеристик движения отцепа по тормозной позиции могут найти применение при разработке математического обеспечения микропроцессорных и компьютерных горочных автоматических централизаций и для разработки программно-математического обеспечения АСУ сортировочных станций. Актуальность этой проблемы подтверждается, в том числе публикациями в научно-практической периодике, журнале «Автоматика, связь, информатика».