

УДК 656.2

Сарбаев Сугирали Шакирович – д.т.н., профессор (Алматы, КазАТК)
Айқумбеков Муслим Нурымович – преподаватель (Алматы, КазАТК)

ОТКЛОНЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПОГРЕШНОСТЯМИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ И ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ЭВМ

Численные методы используются только при интегрировании основного уравнения движений. Отклонение расчетной скорости движения поезда и пройденного пути возникает вследствие допущения постоянства сил, действующих на поезд, в пределах малых приращений времени Δt . Численно оценить отклонения искомых величин вследствие данного допущения достаточно сложно. Точность вычислений при $\Delta t \rightarrow 0$ повышается. При этом происходит существенное увеличение числа вычислительных операций, приводящих к снижению быстродействия модели. Оптимальное значение времени интегрирования Δt должно быть определено эмпирически.

Погрешность вычислений на ЭВМ, как правило, получается апостериорно и зависит от округления чисел, выполнения арифметических операций с приближенными числами. Данная погрешность зависит от разрядности ЭВМ и представления данных в модели. С целью снижения этой погрешности используют ряд известных рекомендаций [1]:

1) Сложение округленных чисел с разным порядком и последующее округление результата целесообразно производить в порядке их возрастания. В этом случае малые числа, постепенно складываясь и округляясь, могут серьезно сказаться на общей сумме. Применительно к разработанной модели движения данная рекомендация может быть использована при определении тормозной силы поезда с учетом параметров отдельных экипажей. Сложение значений - «тормозных сил», действующих на экипажи, при рассмотрении переходного процесса пневматического торможения следует начинать с хвоста поезда.

2) Вычитание округленных чисел влияет на результат более серьезно, чем сложение. Особую погрешность вносят задачи, связанные с решением систем линейных алгебраических уравнений, где увеличение точности может резко изменить результат. То же самое происходит при определении корней уравнений, В данном случае рекомендуется избегать вычитания близких чисел, заменять вычитание другими преобразованиями, особенно, когда разность выступает в роли делителя или многократного множителя. Данная рекомендация может быть учтена при использовании методики определения действительных тормозных параметров поезда.

3) Умножение и деление округленных чисел увеличивает неточность, особенно при многократном выполнении операций. Следует, например, складывать многочлены, вычислять полиномы по схеме Горнера и т.д.

Численно определить отклонения расчетных параметров движения грузового поезда с использованием разработанной методики в настоящий момент достаточно сложно. В основном это связано с отсутствием необходимых эмпирических данных.

Никифоровым Б.Д. и др. с использованием иной методики были рассчитаны отклонения расчетной скорости движения поезда ΔV и пройденного пути ΔS_T для полного служебного торможения поезда, состоящего из 50 четырехосных полувагонов и крытых вагонов, на площадке при начальной скорости 80 км/ч [2]. Отклонения соответственно составили $\Delta V = 7,5$ км/ч, $\Delta S_T = 40$ м. В этой же работе с использованием теории чувствительности были определены параметры, оказывающие наибольшее влияние на значения ΔV и ΔS_T .

Анализ показал, что наибольшие значения ΔV и ΔS вызваны отклонениями числа тормозных колодок, замедления $\Delta \zeta$ от действия удельной единичной силы и веса состава ΔQ . Совершенно очевидно, что полученный результат вызван тем, что в работе оценка погрешностей производилась применительно к существующим (на тот момент) системам автоматического управления торможением поездов, в которых отсутствие программного уровня управления приводило к необходимости задания ограниченного числа программных траекторий [2]. Применительно к рассматриваемой модели отклонения ΔV и ΔS в наибольшей степени будут вызваны разбросом параметров тормозных устройств экипажей. В связи с этим, особое внимание необходимо обратить на методику определения действительных тормозных параметров поезда.

Немаловажное значение при определении отклонений ΔV и ΔS имеет погрешность измерения текущих параметров движения поезда. Отклонение начальной скорости ΔV_0 приводит к отклонению значений скорости на последующих шагах интегрирования уравнения движения поезда не только за счет того, что величина текущей скорости движения является функцией скорости, определенной на предыдущем шаге, но и за счет того, что величина удельного основного сопротивления движению ω_0 и тормозная сила B_T также зависят от скорости. В свою очередь значение ΔV интегрально определяет отклонение ΔS_T . Погрешность измерения текущей координаты локомотива ΔS_0 может составлять до нескольких десятков метров, что сопоставимо с отклонением тормозного пути ΔS_T грузового поезда. С одной стороны погрешности ΔV_0 и ΔS_0 приводят к нежелательному отклонению расчетных параметров движения поезда. С другой стороны с помощью искусственного завышения начальной скорости движения или изменения значения текущей координаты локомотива S_0 возможен более простой учет отклонения расчетной траектории движения поезда.

Процесс торможения поезда условно можно представить в виде двух стадий: переходной стадии во время изменения давления в тормозных цилиндрах (ТЦ) экипажей, в зависимости от времени и длины состава, и стадии, когда давление в тормозных цилиндрах всех вагонов достигает установившегося значения.

Выше было отмечено, что для уточнения расчетной траектории движения поезда, в первую очередь, следует уточнить математические модели, описывающие переходный процесс торможения поезда.

Усилие пружины авторегулятора, приведенное к штоку ТЦ, в зависимости от типа привода находят по выражениям:

- для рычажного привода

$$F_2^p = (F_p + \mathcal{K}_2 \cdot l_p) \cdot \left(\frac{b-c}{a+c} \right), \text{кН} \quad (1)$$

- для стержневого привода

$$F_2^p = (F_p + \mathcal{K}_2 \cdot l_p) \cdot \left(\frac{b}{a} \right), \text{кН} \quad (2)$$

где F_p - усилие предварительного натяга пружины регулятора, кН; \mathcal{K}_2, l_p — жесткость пружины регулятора и ее сжатие; a, b, c - размеры плеч рычагов тормозной передачи и привода авторегулятора, мм.

Значения параметров, входящих в выражения (1-2) для различного типа подвижного состава приведены в работах.

Выражение (3) для определения действительного нажатия на тормозную колодку может быть представлено в виде:

$$K(t) = A \cdot P_{ц}(t) - B, \quad (3)$$

где A , B – коэффициенты, зависящие от конструктивных особенностей тормозной системы экипажа и материала используемых тормозных колодок.

Параметры A и B являются неизменными для отдельных типов экипажей, поэтому их значения могут быть определены заранее.

Следует отметить, что при проектировании подвижного состава применяется унификация тормозных устройств. Так, для пассажирских и четырехосных грузовых вагонов с колодочным тормозом и одним тормозным цилиндром используются цилиндры с внутренним диаметром 356 мм; для восьмиосных же грузовых вагонов этого диаметра оказывается недостаточно, поэтому на них применяют тормозные цилиндры с внутренним диаметром 400 мм. Рычажные передачи тележек всех четырехосных грузовых вагонов тоже одинаковы. Не отличаются рычажные передачи тележек пассажирских вагонов (кроме габаритов РИЦ), унифицированы рычажные передачи тележек восьмиосных полувагонов и цистерн.

Унификация тормозного оборудования позволяет существенно упростить процедуру определения значений коэффициентов A и B для различных типов экипажей.

Выражение позволяет в общем виде описать тормозную передачу локомотивов и вагонов с учетом их конструктивных особенностей.

Режим включения воздухораспределителей (груженный, средний, порожний) можно учесть зависимостью:

$$P_{ц}(t) = b_{реж} \cdot P_{ц.гр}(t) + a_{реж}, \quad (4)$$

где $a_{реж}$, $b_{реж}$ – коэффициенты, учитывающие различные режимы включения воздухораспределителя; $P_{ц.гр}(t)$ – давление в тормозном цилиндре для груженого режима в зависимости от времени и длины поезда.

Общее выражение для определения усилия нажатия:

$$K(t) = A \cdot b_{реж} \cdot P_{ц.гр}(t) + A \cdot a_{реж} - B$$

Режим включения воздухораспределителя выбирается в зависимости от типа используемых тормозных колодок и от загрузки вагона. Режимы воздухораспределителей на грузовых вагонах, в зависимости от загрузки, включают следующим образом: при чугунных колодках груженный режим ставят при загрузке вагона более 6 т на ось, средний – от 3 до 6 т (включительно), порожний – до 3 т на ось; при композиционных колодках средний режим ставят при загрузке вагона на ось более 6 т, порожний – до 6 т на ось включительно.

Рассмотренная методика позволяет найти действительные нажатия тормозных колодок, в зависимости от конструктивных параметров вагонов, режимов включения воздухораспределителей и величины давления в тормозных цилиндрах.

В настоящее время экипажи оборудуются автоматическими регуляторами режимов торможения, которые настраивают давление воздуха в тормозном цилиндре, в зависимости от загрузки вагона, и поддерживают коэффициент тормозного нажатия колодок на заданном уровне с наименьшими отклонениями. Благодаря авторежиму исключается необходимость вручную переключать режимы воздухораспределителей и появляется возможность увеличить эффективность торможения {при соответствующем передаточном числе рычажной передачи}. Воздухораспределитель грузового типа при наличии авторежима закрепляется на постоянном режиме: среднем при оснащении экипажей композиционными тормозными колодками и груженом при оснащении вагонов чугунными колодками.

Представленная модель из всех известных моделей более точно описывает переходный процесс пневматического торможения поезда. Однако данная модель имеет ряд недостатков, приводящих к погрешности определения расчетной траектории движения поезда, а именно:

1. В модели для определения величины суммарного нажатия тормозных колодок поезда в каждый момент времени переходного процесса торможения используется значение удельного нажатия колодок N_0 , которое определяется как отношение суммы установившихся нажатий всех колодок поезда к длине поезда. Из этого следует, что данная модель адекватно описывает переходный процесс торможения лишь однородного поезда, а также поезда, в котором вагоны с различными параметрами распределены вдоль его длины равномерно. Для поезда же, состоящего из нескольких групп вагонов, отличающихся своими тормозными параметрами, вычисления с использованием данной модели приведут к неточности определения траектории движения в начальный период торможения. Далее за счет интегрирования будет происходить накопление ошибки по пути и скорости.

2. Выходным параметром модели является суммарное нажатие тормозных колодок поезда K , соответствующее моменту времени переходного процесса торможения. Тормозная сила поезда в каждый момент времени торможения определяется суммой сил, создаваемых тормозными колодками всех вагонов. В связи с тем, что коэффициент трения тормозных колодок является функцией нажатия и скорости движения поезда [см. 6.30)], то при использовании рассматриваемой модели для определения тормозной силы поезда необходимо находить значение среднего нажатия тормозных колодок. Поскольку, распределение усилий нажатий тормозных колодок вагонов вдоль длины поезда при пневматическом торможении неравномерное, использование модели приводит к дополнительной погрешности расчетных параметров движения.

Указанные недостатки известной модели можно устранить путем полного исключения усреднения параметров отдельных экипажей поезда.

Выводы:

Предложен способ определения и учета действительных тормозных характеристик поезда, заключающийся в предварительном измерении значений замедления поезда в различных режимах его движения и нахождении постоянных коэффициентов, входящих в эмпирические зависимости для определения величины удельной тормозной силы b_T и удельного основного сопротивления движению ω_0 .

ЛИТЕРАТУРА

1 Понарин А.С. Математические модели в трассировании железных дорог. Дисс. На соискание уч. степени канд. техн. наук. Екатеринбург, 1995, 142 с.

2 Никифоров Б.Д., Головин В.И., Кутыев Ю.Г. Автоматизация управления торможением поездов М., Транспорт, 1985, 263 с.